



**HAL**  
open science

# Transport multimodal de marchandises

David Meunier

► **To cite this version:**

David Meunier. Transport multimodal de marchandises. Économie et finance quantitative [q-fin]. École des Ponts ParisTech, 2005. Français. NNT : . tel-04548296

**HAL Id: tel-04548296**

**<https://enpc.hal.science/tel-04548296v1>**

Submitted on 16 Apr 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**THESE**

pour obtenir le grade de  
**DOCTEUR DE L'ENPC**

**Discipline :** *Sciences Economiques*

---

Présentée et soutenue publiquement  
par

**David MEUNIER**

le 14 octobre 2005

---

**Titre :**

**TRANSPORT MULTIMODAL DE MARCHANDISES :  
JEU DES ACTEURS ET INTERVENTION PUBLIQUE**

---

*Directeur de thèse :*  
**Bernard CAILLAUD**

---

**JURY**

Monsieur **Bernard CAILLAUD**, ICPC, Directeur de PSE

Monsieur **Marc IVALDI**, Directeur d'Etudes à l'EHESS, Toulouse, rapporteur

Monsieur **Patrick NIERAT**, ITPE, Chercheur à l'INRETS

Monsieur **Stef PROOST**, Professeur à l'Université Catholique de Leuven, rapporteur

Monsieur **Emile QUINET**, IGPC, Professeur Honoraire à l'ENPC, président du jury



X

**ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES**

---

**THESE**

pour obtenir le grade de  
**DOCTEUR DE L'ENPC**

**Discipline :** *Sciences Economiques*

---

Présentée et soutenue publiquement  
par

**David MEUNIER**

le 14 octobre 2005

---

**Titre :**

**TRANSPORT MULTIMODAL DE MARCHANDISES :  
JEU DES ACTEURS ET INTERVENTION PUBLIQUE**

---

*Directeur de thèse :*

**Bernard CAILLAUD**

---

**JURY**

Monsieur **Bernard CAILLAUD**, ICPC, Directeur de PSE

Monsieur **Marc IVALDI**, Directeur d'Etudes à l'EHESS, Toulouse, rapporteur

Monsieur **Patrick NIERAT**, ITPE, Chercheur à l'INRETS

Monsieur **Stef PROOST**, Professeur à l'Université Catholique de Leuven, rapporteur

Monsieur **Emile QUINET**, IGPC, Professeur Honoraire à l'ENPC, président du jury





## Remerciements

Je remercie Bernard Caillaud, qui a bien voulu accepter de diriger cette thèse menée dans le cadre particulier de la formation continue, qui plus est sur un sujet hybridant aspects théoriques et appliqués.

Je remercie également Anne Perrot et David Encaoua pour avoir soutenu cette démarche de recherche sortant quelque peu du contexte classique, ainsi que pour leurs enseignements en économie industrielle et théorie des jeux, et avec eux je remercie l'ensemble des enseignants du DEA EIME de Paris I.

Je remercie tous les membres du jury, et plus particulièrement Emile Quinet pour ses conseils et pour les coopérations de recherche qui m'ont permis d'élargir ma démarche personnelle.

J'adresse une pensée amicale et toute ma gratitude aux membres de PSE et du LEI que j'ai côtoyés et appris à apprécier durant cette thèse, chercheurs et doctorants, notamment Bernard, Emmanuel, Basak, Frédéric, Miren, Jérôme, Anne, Etienne, Yves, Dominique, David, ainsi que Nadine.

Je remercie toutes les personnes qui m'ont accordé des entretiens, parfois à titre confidentiel. J'ai beaucoup appris grâce à leurs expériences professionnelles très diverses, et à travers les analyses plus globales qu'elles ont bien voulu me livrer.

Cette thèse n'aurait pas été possible sans le soutien actif du Ministère de l'Équipement, et notamment de certains de ses représentants parmi lesquels François Marendet et Claude Gressier. L'intégration de la recherche dans la formation continue est encore très rare en France, l'attitude du Ministère en faveur de ma démarche personnelle offre une nouvelle preuve de sa volonté d'évolution dynamique.

L'attitude très positive de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, et notamment le soutien de Nicolas Bouleau, m'ont été très précieux.

Je remercie toutes les autres personnes et amis qui m'ont aidé et soutenu lors de cette thèse, sans oublier bien entendu Danièle, mes enfants et mes parents pour avoir supporté les contraintes pratiques de cette période de recherche.



## Avant-propos

Le transport multimodal de marchandises désigne ici tout transport de marchandises s'effectuant par au moins deux modes de transport successifs. Ce thème a été jusqu'ici peu exploré en tant que tel, il s'agit de le prendre comme sujet d'étude à l'aide de diverses approches théoriques, inspirées notamment de l'économie industrielle, en analysant le jeu des acteurs concernés et leurs interactions avec l'intervention publique.

Le but de la thèse est de fournir des éclairages sous des angles nouveaux, non pas de traiter le thème des transports multimodaux de marchandises dans sa globalité.

En particulier, l'objet de la thèse n'est pas de se prononcer sur l'opportunité du développement des transports multimodaux de marchandises, que ce soit par rapport à la congestion routière ou sur un plan plus global, ni d'en faire la promotion, pas plus que de la combattre. La thèse ne vise pas non plus à analyser toutes les dimensions du transport multimodal de marchandises. Notamment, les aspects technico-économiques relatifs aux coûts, à la coordination technique, à la technologie, ne sont abordés qu'indirectement. Au-delà d'une approche introductive sur les trafics multimodaux actuels en France, ce sont surtout les différenciations qualitatives du transport multimodal de marchandises pour ses clients, les aspects stratégiques et le positionnement de la puissance publique qui sont au centre de la thèse.

La thèse se veut donc plutôt complémentaire des approches technico-économiques classiquement utilisées en matière de transport, que celles-ci portent sur le champ plus réduit du transport intermodal de marchandises ou sur un champ modal, qu'elles privilégient des approches en termes de coût généralisé de transport, de viabilité technico-économique d'un service multimodal de marchandises, ou d'optimisation.





## Résumé de la thèse

La thèse vise à :

- contribuer à l'analyse théorique du jeu des acteurs du transport multimodal de marchandises (TMM), en faisant appel notamment à l'économie industrielle
- replacer diverses modalités pratiques d'intervention publique dans les cadres théoriques étudiés.

Le chapitre I tire de l'observation de trafics de TMM des faits stylisés, et en extrait les problématiques théoriques de la thèse.

Le chapitre II propose un cadre théorique simple, représentant les modalités de choix entre un risque de référence et un risque modifié par une action de prévention. Deux types d'actions de prévention sont considérés. Des résultats contrastés de statique comparative selon le degré d'aversion au risque sont établis, ainsi que des considérations normatives. Les acteurs pouvant mener des actions de réduction ou de report du risque, dans une logique d'assurance au sens large du terme, l'impact de ces actions sur le choix de prévention est analysé.

Le chapitre III vise à mieux cerner les comportements collectifs de choix de « technologie » dans un cadre concurrentiel (choix emblématique : transport routier ou TMM). Deux modèles de concurrence en oligopole sont considérés : avec effets concurrentiels localisés, et avec effets globaux. Il est montré qu'il peut y avoir multiplicité d'équilibres, avec des degrés d'utilisation variables de la technologie alternative. L'analyse de deux étapes-clé est menée : la toute première adoption, et le franchissement d'un seuil de viabilité de la technologie nouvelle (question essentielle pour le TMM).

Les chapitres II et III se concluent par des considérations sur leur utilisation pratique pour le TMM.

Le dernier chapitre se concentre plus particulièrement sur les modalités d'action publique en matière de TMM, et sur l'organisation fonctionnelle du dispositif public. Au-delà des actions publiques interprétées à travers les cadres théoriques des chapitres précédents, sont traités notamment : les « autoroutes de la mer », et les fonctions d'une agence relative aux infrastructures, considérées d'un point de vue inspiré par la théorie des incitations. Une analyse du dispositif public concernant le TMM est menée, à partir des constats et considérations des autres chapitres, et de parallèles avec les dispositifs relatifs à d'autres problématiques complexes en matière de transports.



# Table des matières

Remerciements .....	iii
Avant-propos .....	v
Résumé de la thèse .....	vii
 <b>Chapitre I</b>	
« Analyse des transports multimodaux de marchandises » .....	1
<b>1 Examen des sources disponibles en France .....</b>	<b>2</b>
1.1 Les sources routières .....	3
1.2 Les sources ferroviaires .....	4
1.3 Les sources portuaires et maritimes .....	5
1.4 Les sources relatives au réseau fluvial.....	6
1.5 Les sources aériennes .....	6
1.6 Les sources douanières.....	6
1.7 Les approches plus multimodales .....	7
1.7.1. Les schémas de service collectifs de transport.....	7
1.7.2. L'enquête ECHO.....	8
1.7.3. Un effort de diagnostic : le rapport PREDIT (2000).....	8
1.8 Constat global.....	9
<b>2 Estimations quantitatives et qualitatives .....</b>	<b>9</b>
2.1 Ordres de grandeur .....	9
2.1.1 Le mode maritime .....	10
2.1.2 Le mode ferroviaire.....	11
2.1.3 Le mode fluvial .....	11
2.1.4 Recalage des estimations.....	11
2.2 Comparaison des tendances d'évolution.....	13
2.3 Nature des trafics :.....	14

<b>3. Etudes de cas .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Le Havre Shuttles (LHS).....</b>	<b>16</b>
3.1.1 Genèse et évolution de LHS.....	16
3.1.2 La ligne Le Havre-Strasbourg .....	17
3.1.3 Projet de ligne PAH/Milan et évolution majeure des relations CNC/LHS.....	18
<b>3.2 Un exemple de service de feeder maritime non dédié : le cas EFL.....</b>	<b>19</b>
3.2.1 Eléments factuels et technico-économiques.....	19
3.2.2 Historique de EFL.....	20
3.2.3 Les clients : chargeurs, armateurs et transitaires.....	20
3.2.4 Offres de transport concurrentes .....	22
3.2.5 Interactions particulières d'EFL.....	22
<b>3.3 Quelques éléments sur le transport rail-route en France et en Europe .....</b>	<b>23</b>
3.3.1 Le transport rail-route en France: CNC et Novatrans .....	23
3.3.2 Le transport rail-route en Europe : éléments d'historique et rôle de l'UIRR .....	25
 <b>4 Offre de services multimodaux et attitudes face au multimodal .....</b>	 <b>26</b>
<b>4.1 Eléments de diagnostic plus généraux et proposition de typologie.....</b>	<b>27</b>
4.1.1 Eléments de diagnostic sur les services multimodaux .....	27
4.1.2 Eléments sur le transport routier .....	28
<b>4.2 Quelques éléments sur l'attitude de grands acteurs par rapport au transport multimodal .....</b>	<b>29</b>
4.2.1 Actions de la SCNF sur le multimodal.....	29
4.2.2 Actions de RFF sur le multimodal .....	30
4.2.3 Actions des ports et de VNF pour le multimodal.....	30
4.2.4 Actions des armateurs pour le multimodal en France .....	31
4.2.5 Actions de chargeurs pour le multimodal.....	31
 <b>5 Synthèse du chapitre et sélection des pistes de recherche .....</b>	 <b>32</b>
 <b>6 ANNEXE : détail des estimations quantitatives des trafics multimodaux de marchandises .....</b>	 <b>34</b>
<b>6.1 Ordres de grandeur .....</b>	<b>34</b>
6.1.1 Le mode maritime .....	34
6.1.2 Le mode ferroviaire.....	36
6.1.3 Le mode fluvial .....	38
6.1.4 Recalage des estimations.....	39
<b>6.2 Comparaison des tendances d'évolution.....</b>	<b>42</b>

## Chapitre II

« Comportement de prévention, assurance, et degré d'aversion au risque »	45
<b>1. Transport multimodal de marchandises et risque</b>	<b>46</b>
1.1. Chargeur direct et risque associé au transfert sur le multimodal	46
1.2. Chargeur nouveau et risque multimodal	47
1.3. Intermédiaire de transport et risque multimodal	48
1.4. Offreur de service multimodal et risque	49
1.5. Transporteur routier et risque multimodal	49
1.6. Armateur et risque multimodal	50
1.7. Puissance publique et risque multimodal	50
<b>2. Modèle de décision de prévention</b>	<b>53</b>
2.1. Comportement de l'agent en prévention de type I	55
2.1.1. Agent non assuré	57
2.1.2. Agent assuré	66
2.2. Analyse d'une technologie de prévention de type II	75
2.2.1. Agent non assuré	75
2.2.2. Agent assuré	78
2.3. Une approche normative	81
2.3.1. Prévention de type I	82
2.3.2. Prévention de type II	84
2.4. Commentaires sur les résultats	87
<b>3. Possibilité d'une utilisation pratique du modèle théorique pour les services multimodaux de marchandises</b>	<b>90</b>
<b>Résumé des hypothèses du chapitre II</b>	<b>93</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>94</b>
ANNEXE 1 Démonstration du lemme 3 (partie 2.1.1.1.) et de la proposition n°1 (partie 2.1.1.2.)	95
ANNEXE 2 Analyse des cas IARA et DARA (parties 2.1.1.3. et 2.3.1.2.)	98
ANNEXE 3 Choix d'un critère simple d'intérêt collectif (partie 2.3.)	101

## Chapitre III

« Adoption d'innovation et intermédiaires en oligopole » .....	105
Introduction.....	105
1. Typologie de la littérature existante.....	107
2. Un modèle kaldorien .....	111
2.1. Présentation générale.....	111
2.2. Présentation du modèle.....	112
2.3. Annonce de résultats .....	113
2.4. Résolution du modèle .....	116
2.4.1. Premières propriétés et éléments d'interprétation .....	119
2.4.2. Intérêt collectif et individuel d'un changement de stratégie.....	122
2.4.3. Adoption insuffisante du point de vue collectif pour $K$ élevé .....	125
2.5. Analyse de la stabilité d'un profil de stratégies .....	127
2.6. Simulations.....	129
2.7. Examen des étapes-clef .....	130
2.8. Résumé des hypothèses et notations .....	133
3. Un modèle chamberlinien .....	134
3.1. Résolution du modèle de base.....	135
3.2. Adaptation du modèle au choix de technologies .....	137
3.3. Seuil de viabilité avec double entrée .....	143
3.4. Conclusions de l'analyse sans externalités locales .....	145
4. Analyse à partir des étapes-clef .....	146
5. Applicabilité aux cas réels .....	147
6. Limitations et possibilités de développement ultérieurs .....	151

<b>7. ANNEXE sur le modèle kaldorien.....</b>	<b>153</b>
7.1. Ecriture et propriétés des coefficients $\gamma_i$ .....	153
7.2. Propriétés des suites associées .....	154
7.2.1. Propriétés des suites $\mu_i$ et $V_i$ .....	154
7.2.2. Propriétés remarquables des $\gamma_i^a$ .....	156
7.3. Hypothèse de non-captivité d'une frange de marché .....	159
7.4. Vérification de la croissance du marché de N avec le nombre d'adopteurs.....	160
7.5. Obtention et simplification des écritures de $S_c(\beta)$ et $W(\beta)$ .....	161
7.6. Profils de stratégies stables.....	165
7.7. Analyse et simulations en dynamique.....	166
<b>8. ANNEXE sur le modèle chamberlinien .....</b>	<b>171</b>
8.1. Résolution du modèle de base.....	171
8.2. Analyse des équilibres en stratégies pures .....	174

## Chapitre IV

### «Evolution de la gouvernance du transport multimodal de marchandises»... 179

<b>1. La politique de subvention du transport rail-route en France .....</b>	<b>181</b>
1.1 Les aides à l'infrastructure : .....	181
1.2 Les aides spécifiques aux transporteurs routiers : .....	181
1.3 Les aides à l'innovation et l'incitation à l'accès aux techniques rail-route .....	181
1.4 Les aides à l'exploitation.....	182
<b>2 Les autoroutes de la mer .....</b>	<b>184</b>
2.1 Transposer le modèle autoroutier en maritime ? .....	184
2.1.1 En termes de fonction et de niveau de service, tout d'abord.....	184
2.1.2 Au niveau du modèle économique de développement .....	185
2.2 Analyse de ce type d'intervention à travers les cadres théoriques des chapitres précédents	186
2.2.1. Sous l'angle « produit de type autoroutier ».....	186
2.2.2. Sous l'angle « développement de type autoroutier ».....	187
2.3 Des limites au parallèle avec la référence autoroutière.....	188

<b>3</b>	<b>Externalisation d'investissements en infrastructures de transport.....</b>	<b>190</b>
3.1	Quelles fonctions peuvent être dévolues à une agence d'investissements pour les infrastructures de transport ?.....	190
3.2	Croisement des hypothèses de référence .....	191
3.3	Rôle et champ de l'agence d'infrastructures.....	193
3.4	Objectifs publics conflictuels et multi-principaux .....	194
3.5	Des asymétries d'information, et des contrats incitatifs ? .....	195
3.6	En définitive, que peut apporter la création d'une agence ? .....	197
3.7	<b>Le cas particulier de l'Agence de Financement des Infrastructures de Transports de France</b>	<b>198</b>
3.7.1	Définition des missions .....	198
3.7.2	Définition des degrés de liberté et des ressources .....	199
3.7.3	Parallèle avec d'autres structures existantes .....	201
3.7.4	AFITF et multi-principaux .....	202
3.7.5	AFITF et multimodalité marchandises.....	203
<b>4.</b>	<b>L'approche publique sur la multimodalité : cohérence et complexité.....</b>	<b>204</b>
4.1	Multimodalité et schémas de service collectifs de transport.....	205
4.2	Processus de décision publique sur un sujet complexe.....	207
4.3	Interactions entre dispositifs techniques au niveau des schémas de services collectifs .....	208
4.4	<b>Construction d'une approche globale : l'exemple du bruit et de la sécurité.....</b>	<b>210</b>
4.4.1	L'exemple du bruit.....	211
4.4.2	L'exemple de la sécurité .....	212
4.5	La construction d'une approche publique sur la multimodalité .....	215
	<b>Bibliographie</b>	<b>.219</b>
	<b>Glossaire</b>	<b>231</b>
	<b>Abréviations et principaux sigles</b>	<b>237</b>







# Chapitre I

## Analyse des transports multimodaux de marchandises

Face à l'augmentation continue du nombre de poids lourds sur les routes, et à l'augmentation de la congestion sur certains itinéraires, il est naturel de s'interroger sur les raisons pour lesquelles le transport multimodal de fret n'est pas plus développé en France. En effet, malgré des politiques publiques qui s'affichent fortement en faveur des modes alternatifs à la route, que ce soit au niveau européen, national, régional ou local, on n'observe que peu de signaux de rééquilibrage modal, voire même, les signaux émis dans le grand public sont plutôt négatifs, comme la diminution des trafics de fret ferroviaires observée ces dernières années.

Dans ce premier chapitre, il s'agira, d'une part, de tenter une approche de la réalité des trafics multimodaux de marchandises, en passant par une analyse du dispositif d'observation actuel de ces trafics, et, d'autre part, de mener une analyse plus qualitative des dynamiques d'évolution des trafics multimodaux. Ceci passera notamment par de petites études de cas, qui ont été sélectionnées en fonction de la disponibilité des informations sur le jeu des acteurs, sans chercher à représenter l'intégralité des services multimodaux. Ces études de cas permettront, en entrant assez loin dans le détail de certains services, de mettre en lumière certains mécanismes déterminants pour le succès et le développement des services. Cette analyse qualitative permettra de distinguer, d'un côté des problématiques technico-économiques classiques et, pour la suite de la thèse, des aspects pouvant mériter des développements théoriques.

Les problématiques technico-économiques plus classiquement utilisées dans le domaine du transport ne seront pas développées dans les chapitres ultérieurs, car les bases théoriques utilisées pour les traiter sont bien connues et déjà bien intégrées par le domaine des transports, notamment dans le cadre des méthodes d'évaluation de projets. Ceci ne signifie pas pour autant que ces problématiques sont suffisamment traitées dans la recherche appliquée et dans les études « opérationnelles » visant, par exemple, à apprécier les trafics. En effet, les approches sont restées très cloisonnées par mode, et beaucoup de travail reste à faire sur les déterminants socio-économiques « classiques » conditionnant le choix entre solutions (multi)modales<sup>1</sup>.

L'analyse des études de cas permettra de mettre en exergue certains aspects théoriques sur lesquels les études de trafic et l'évaluation de projets de transport ne se sont pas trop penchées, et qui vont au-delà du calcul simple de coûts généralisés de transport. Ce sont ces questions extraites des études de cas qui structureront les deux chapitres suivants. Ces chapitres transcrivent des développements théoriques qui seront systématiquement confrontés à des considérations pratiques à la fin de chaque chapitre.

Le dernier chapitre tentera d'illustrer comment ces approches théoriques pourraient aider à enrichir les analyses liées aux interventions publiques en matière de transport multimodal, et développera une analyse du dispositif plus global qui fonde et conditionne l'action publique sur un sujet complexe comme le transport multimodal de marchandises.

---

<sup>1</sup> Eléments de calcul des coûts généralisés de transport, segmentations de la demande, intégration d'avantages non liés à l'exécution du transport comme les facilitations douanières.

### **Transports multimodaux de marchandises : quelques définitions préalables**

Le terme « transport multimodal de marchandises » couvre, de façon large, tout transport de marchandises par au moins deux modes de transport différents<sup>2</sup>.

Au sein de cette famille, certains transports donnent lieu à des définitions plus précises, qui sont souvent confondues :

- le transport intermodal est un mouvement de marchandises (sur une même unité de charge ou sur un même véhicule<sup>3</sup>) par différents modes de transport successifs sans qu'il y ait manutention des marchandises elles-mêmes lors du changement de mode. Cela recouvre notamment le transport de conteneurs et le transport de poids lourds ou semi-remorques à bord de navires ou de trains
- le transport combiné est un transport intermodal dans lequel la majeure partie du voyage s'effectue par chemin de fer, par voie navigable intérieure ou par mer et où les trajets de départ et d'arrivée exécutés par route sont aussi courts que possible. Cela recouvre notamment le transport de conteneurs « maritimes » en chaîne mer-fer-route, et le transport combiné « rail-route » par conteneurs, caisse mobile ou semi-remorques.

Le glossaire en annexe précise les définitions des termes techniques spécifiques ou utilisés dans un sens particulier pour le transport de marchandises.

## **1 Examen des sources disponibles en France**

A l'examen des principales sources permanentes de données sur le transport de marchandises, une évidence s'impose : ces sources sont historiquement organisées selon une logique modale, visant essentiellement la mesure d'un niveau de production du mode de transport considéré, selon un critère de poids total manœuvré (manutentionné ou transporté).

La base SITRA-M du Service Economique et Statistique du Ministère de l'Equipement, des Transports, de l'Aménagement du Territoire, du Tourisme et de la Mer, constitue le principal système d'information national sur les transports de marchandises en France. Cette base est alimentée par des sources modales : l'enquête TRM pour les transports routiers de marchandises sous pavillon français, la SNCF pour le transport ferroviaire, VNF (Voies Navigables de France) pour le transport effectué par voie fluviale, et, pour les transports internationaux hors transit, les Douanes françaises. Il ne s'agit pas d'une base multimodale, mais d'une base pluri-modale, qui compile des éléments fournis par chaque mode, chacun pour son propre compte.

A l'échelle régionale, certains Observatoires Régionaux des Transports (ORT) donnent des éléments parfois plus multimodaux à l'échelle de la région et de ses échanges extérieurs, mais il n'y a pas réellement de compilation de leurs approches, souvent hétérogènes, et la logique de leurs travaux reste essentiellement segmentée par mode.

---

<sup>2</sup> Définition de la CEMT (Conférence Européenne des Ministres des Transports). Les définitions données ici sont établies d'après le Glossaire des Statistiques de Transport, Eurostat, CEMT, CEE-ONU, Deuxième Edition

<sup>3</sup> routier, ferroviaire, bateau ou navire

L'enquête auprès des chargeurs permet de disposer de certains éléments de recalage, de façon plutôt qualitative.

Dans la mesure où tant SITRA-M que les ORT conservent une logique de segmentation modale quasi-systématique, et comme certaines sources modales ne sont pas utilisées par SITRA-M, nous examinerons tout d'abord les sources d'origine modale, puis la source douanière, pour terminer par des approches plus nettement multimodales.

### *1.1 Les sources routières :*

Le principal recueil sur le transport routier est l'enquête TRM, qui consiste en un sondage des camions de 3,5 tonnes et plus de poids total autorisé en charge (PTAC) et tracteurs routiers, de moins de 15 ans d'âge, immatriculés en France.

Il faut tout d'abord noter que TRM ne couvre que les transporteurs nationaux, laissant de côté tout le transport assuré par les transporteurs étrangers, transport international mais aussi transport de cabotage national depuis l'ouverture plus complète à la concurrence européenne. Dans la mesure où les trafics multimodaux intéressent plus particulièrement la longue distance et l'international, c'est donc un pan important du marché potentiel qui n'est pas observé par TRM. Cependant, certains pays européens mènent des enquêtes similaires à TRM, qui pourraient permettre des recoupements et des estimations consolidées. Ce travail a été lancé récemment par le Ministère des Transports mais n'est pas disponible à ce jour.

En outre, les trajets sont « parcellisés » au sens où une origine-destination débute et finit à chaque rupture d'attelage routier, et non à chaque chargement/ déchargement de la marchandise. De même, un trajet international ne se définit pas dans TRM comme un franchissement de frontière par la marchandise, mais par le véhicule (en cas de changement de véhicule à la frontière, par exemple, le trajet sera comptabilisé comme intra-national).

Il y a donc un biais très systématique minimisant le poids des transports de marchandises à longue distance et des transports de marchandises internationaux.

Par ailleurs, qu'en est-il des informations multimodales dont disposent les transporteurs interrogés par TRM ? S'il est vrai que le transporteur routier n'a pas toujours la connaissance de la chaîne multimodale dans laquelle il se trouve éventuellement impliqué, il dispose cependant d'informations privilégiées, qui ne sont pas exploitées actuellement, car elles ne sont même pas recueillies.

#### **D'autres sources statistiques routières existent.**

L'enquête sur les poids lourds aux frontières a été progressivement améliorée et peut maintenant fournir quelques éléments multimodaux, dans la mesure où, par exemple, la codification du point origine ou destination du véhicule, s'il est situé sur une place portuaire, distingue maintenant entre zone portuaire et ville portuaire. Cependant, pour des raisons pratiques, ce recueil ne concerne principalement que les transits routiers alpins et pyrénéens et il n'est susceptible de capter qu'une faible part des chaînes multimodales. Cette enquête est pourtant exemplaire car elle reflète une préoccupation nouvelle pour les aspects multimodaux, et relève d'une vision logistique qui commence à se démarquer des visions cloisonnées par mode de transport.

Les enquêtes origine-destination qui consistent à interroger des transporteurs routiers, en général en cours de trajet, fournissent des informations précieuses qui peuvent être très détaillées. Mais elles ne sont menées que de façon ciblée, en raison de leur coût notamment, et elles pourraient difficilement donner lieu à une exploitation sous l'angle multimodal à l'échelle nationale.

### *1.2 Les sources ferroviaires :*

Du côté ferroviaire, les données agrégées disponibles concernent surtout les tonnes et tonnes-kilomètres transportées. Dans SITRA-M, il s'agit des tonnes « taxées » (tarifées) transportées par wagons complets. Le fichier SITRA-M est exploitable pour identifier le trafic international « en suivant le véhicule » comme pour TRM, mais aussi « en suivant la marchandise », tout au moins pour ce qui relève de la lettre de voiture internationale couvrant le trajet ferroviaire.

La traction ferroviaire des trafics rail-route est identifiée, toujours en tant que « segment de marché du mode ferroviaire » et non dans une approche multimodale. Il n'y a donc pas d'information statistique sur les trajets routiers correspondant à ces acheminements rail-route, ni sur le poids réel des marchandises transportées, les statistiques de traction ferroviaire additionnant le tonnage des marchandises à celui des contenants et des véhicules (conteneurs, caisses mobiles, semi-remorques, tracteur routier, ...). Les données recueillies par l'UIC (Union Internationale des Chemins de fer) auprès des divers opérateurs ferroviaires, dont la SNCF, permettent en principe d'obtenir avec un décalage d'environ 2 ans, des estimations de certains indicateurs, qui identifient notamment la traction ferroviaire des trafics rail-route. Les données UIRR (Union Internationale des sociétés de transport combiné Rail Route) sont plus précises pour le rail-route, sans pour autant être très détaillées. Pour les autres trafics multimodaux, aucune exploitation statistique n'est présentée par la SNCF.

La difficulté d'accès à des données détaillées SNCF est bien connue. Il est fort possible que les données réellement recueillies et interprétées au sein de la SNCF soient adaptées à une logique multimodale, ce serait d'ailleurs naturel pour l'éclairage de la démarche commerciale de cette entreprise. Mais elles ne sortent pas de la SNCF.

Une difficulté technique est à noter à propos des trafics multimodaux mer-fer : la distinction des trafics issus de places portuaires est relativement aisée, s'agissant la plupart du temps de terminaux ferroviaires spécifiques. Mais à l'intérieur de ces trafics, certains proviennent directement de marchandises venant d'être débarquées de navires, d'autres ont connu un stockage plus ou moins long (charbon) voire ont été modérément transformées (automobiles, bois). D'autres trafics portuaires sont des matières premières utilisées dans la production de produits intermédiaires ou finis (sidérurgie, raffineries) et, enfin, certaines entreprises établies sur les sites portuaires ont une activité au moins partiellement indépendante des acheminements maritimes.

Les modalités de coordination technique des modes de transport jouent également un rôle. Ainsi, un navire de transport de céréales à l'export peut contenir l'équivalent du contenu d'une ou plusieurs dizaines de trains. Ces trains ne pouvant être acheminés et traités simultanément, le stockage intermédiaire est nécessaire. Pour autant, il s'agit bien d'une chaîne logistique unique, conditionnée dans son intégralité par une dynamique d'échange international.

Ce petit développement autour de certains circuits industriels et logistiques impliquant le ferroviaire et le maritime montre que la définition même de « trafic multimodal mer-fer » n'est pas si évidente : jusqu'à quelle durée de stockage ou jusqu'à quelle nature de transformation de produit considère-t-on la chaîne multimodale ?

Ce type de difficulté méthodologique explique en partie l'absence de recueil multimodal mer-fer structuré et pérenne. Cependant, cela n'est pas insurmontable.

### *1.3 Les sources portuaires et maritimes :*

Le caractère très international du mode maritime fait qu'un recueil statistique de type TRM n'est pas envisageable auprès des transporteurs nationaux (les armateurs français transportent moins de 15% des marchandises transitant par les ports français). La principale source statistique est constituée par les statistiques portuaires.

Ces statistiques visent surtout à cerner l'activité de manutention et s'intéressent aux quantités chargées et déchargées. Tant que les marchandises transportées par mer étaient principalement acheminées par origine-destination maritimes directes, cette logique de recueil ne posait pas de problème. Avec le développement croissant des nouvelles solutions logistiques, cette logique s'avère de plus en plus inadaptée.

Tout d'abord, le transport par conteneurs, qui est celui dont la croissance est la plus soutenue depuis de nombreuses années, a vu l'apparition de chaînes « mer-mer », en raison des fortes économies d'échelle permises par la standardisation du conditionnement en conteneurs et des possibilités techniques de construction de navires plus gros. Dans ces chaînes, un gros navire porte-conteneurs (PC) relie quelques ports principaux par façade maritime, les conteneurs étant chargés ou déchargés sur de plus petits porte-conteneurs (appelés « feeder » dans la terminologie maritime) assurant les liaisons terminales avec des ports de moindre magnitude, qui ne pourraient justifier économiquement l'arrêt des grands PC. Ceci revient à dire, par exemple, qu'un conteneur chargé sur un feeder à La Rochelle peut être déchargé au Havre pour rembarquer sur un gros PC à destination de l'Amérique du Nord.

Dans les statistiques actuelles, ce conteneur sera comptabilisé 3 fois, ce qui occulte totalement la réalité logistique de l'organisation du transport. Or la partie « feeder » du transport est particulièrement intéressante d'un point de vue multimodal car, si le trajet transocéanique ou maritime longue distance ne peut avoir d'alternative routière, il en est tout autrement de ce trajet feederisé. Autrement dit, si la conteneurisation maritime continue à privilégier la concentration des escales, avec des PC de plus en plus gros, il y a un fort enjeu sur l'acheminement terminal, qui peut renforcer les trafics routiers ou privilégier au contraire des modes alternatifs, dont le maritime par les feeders, mais aussi le rail ou le fluvial.

En pratique, les marchandises transportées par mer, une fois considérées comme débarquées, ne sont plus suivies dans les statistiques portuaires nationales, qu'elles reprennent la mer ou prennent le train, la barge ou tout autre moyen d'acheminement. Il semblerait cependant que, dans le nouveau logiciel national de recueil d'informations statistiques portuaires, quelques rubriques concernant l'acheminement terrestre des marchandises et le transbordement entre navires puissent faire leur apparition. Il restera à les remplir effectivement, quand l'information sera disponible.

#### *1.4 Les sources relatives au réseau fluvial :*

Voies Navigables de France (VNF) établit des statistiques détaillées. Le transport fluvial est resté très administré jusqu'à la réforme du tour de rôle en 1996, et des données extrêmement fines étaient recueillies par les bureaux d'affrètement. Ces données auraient permis de reconstituer en grande partie les chaînes multimodales comportant un maillon fluvial. A ce jour ne subsiste officiellement qu'un type de données multimodal : les trafics dits « fluvio-maritimes » c'est-à-dire ceux assurés par un navire apte à naviguer en mer mais respectant un gabarit lui permettant de remonter le cours des fleuves suffisamment en amont.

En pratique, certaines personnes conservent une bonne vision des générateurs de trafic et seraient capables de fournir des estimations correctes, mais pas sous forme de recueil statistique formalisé.

#### *1.5 Les sources aériennes :*

La Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) dispose de statistiques détaillées mais l'essentiel de l'activité des aéroports se focalise sur le transport de voyageurs, à l'exception de rares plates-formes comme Vatry. Les éléments disponibles pour le fret aérien sont rares et peu détaillés.

Le fret aérien comporte le fret avionné, mais aussi le fret camionné qui circule par la route mais avec une Lettre de Transport Aérien (LTA). Les tonnages transportés par voie aérienne, de l'ordre de 1,5 à 2 millions de tonnes, sont concentrés à 80% sur la plate-forme de Roissy. Ces trafics concernent, outre le fret postal et les messageries express concernés par la multimodalité air-rail avec le TGV notamment, des marchandises à haute valeur ajoutée. Pour leur acheminement terminal, celles-ci privilégient en règle générale le transport routier par sa flexibilité et sa rapidité. Par ailleurs, une partie de ce fret aérien se fait par des avions transportant des passagers, avec des logiques de coûts et d'effets externes marginaux.

Ce cas très particulier de multimodalité met en avant le critère de délai de transport et sera considéré ici comme trop spécifique pour être inclus dans l'analyse. Il faut cependant noter que le développement de modes longue distance plus rapides, TGV fret ou nouveaux navires (cf. le projet Fastship qui vise à réduire le temps de traversée transatlantique à trois jours et demi) peut présenter un enjeu important en termes environnementaux, notamment pour la réduction de l'effet de serre, s'il permet de réduire l'appel au transport aérien spécifique. En effet, une tonne transportée par voie aérienne peut produire de l'ordre de cent fois plus de gaz à effet de serre que la même tonne transportée par navire.

#### *1.6 Les sources douanières (trafics internationaux uniquement):*

Les Douanes constituent la seule source non modale sur les trafics internationaux de marchandises, car leur logique est extérieure au transport. Il s'agit au départ d'une logique de perception de droits dans les échanges internationaux, qui a évolué avec l'ouverture du commerce international et la réduction voire la suppression corrélatives des droits de douane. La logique du recueil statistique douanier est maintenant plutôt à caractère macroéconomique, et vise en premier lieu à mesurer les échanges en valeur, ce qui reste en continuité avec sa logique historique puisque les droits perçus sont en très grande partie ad valorem.



Les préoccupations de transport sont donc secondaires dans la logique douanière et, bien que les Douanes françaises aient probablement mieux intégré ces préoccupations que d'autres Douanes, les décisions communautaires successives ont très fortement diminué l'intérêt des statistiques douanières en matière de transport. En outre, les modalités techniques de recueil conduisent à des distorsions entre une mesure de type douanier et une mesure de type transport. Ainsi, seul le poids net de la marchandise sera considéré par le douanier.

Avant l'ouverture du marché intérieur européen en 1993, il était possible d'extraire des statistiques douanières des éléments très intéressants, par exemple des mesures de l'hinterland des ports français. Ceci permettait d'identifier et de quantifier des flux susceptibles d'utiliser des chaînes multimodales non exclusivement routières dans leur partie terrestre.

Une analyse comparative des mesures faites par diverses sources d'information sur les trafics, notamment les sources portuaires et douanières, a été menée il y a quelques années à la demande de la Direction du Transport Maritime et du Littoral du Ministère de l'Équipement, des Transports, de l'Aménagement du Territoire, du Tourisme et de la Mer (METATM). Cette étude a montré des différences importantes entre les sources, à l'échelle du passage portuaire, de l'ordre de plusieurs dizaines de pour cent, voire des rapports de 1 à 5 sur des données détaillées par type de marchandises. La tendance générale était une nette sous-estimation des trafics physiques réels par les sources douanières.

En définitive, les statistiques douanières disponibles depuis l'ouverture du marché intérieur européen en 1993 apparaissent comme biaisées et difficilement exploitables pour une approche multimodale des transports internationaux. Elles restent cependant utiles à l'heure actuelle, et permettent de suivre, même si c'est de façon de plus en plus déformée, l'évolution des parts modales dans le trajet principal des transports internationaux hors Union Européenne.

## *1.7 Les approches plus multimodales :*

### **1.7.1 Les schémas de service collectifs de transport :**

La loi instituant l'élaboration des schémas de service collectifs (loi LOADT de 1999 dite « loi Voynet ») comportait l'affichage très volontariste d'une politique de transports privilégiant les transports alternatifs à la route. Un travail novateur s'en est suivi, qui a amené à mettre en contact des composantes administratives, d'étude, et de professionnels, habituellement très cloisonnés selon les modes de transport. Diverses initiatives ont vu le jour, qui permettent de disposer de quelques évaluations des trafics multimodaux, certes approximatives mais sans réel précédent. Il s'agit surtout d'ordres de grandeur, en l'absence de recueils statistiques existants, comme cela a été vu dans la première partie de cette analyse.

La SNCF a intégré dans ses modèles de projection de trafic à long terme, pour la première fois, des hypothèses résultant d'un examen plus détaillé des trafics de conteneurs relevant de l'acheminement terrestre des conteneurs transitant par les places portuaires, en utilisant les statistiques détaillées internes à la SNCF. Ce travail n'a pas été mené, malheureusement, pour les trafics non conteneurisés, qui représentent pourtant la majeure partie, en tonnage, des trafics ferroviaires transitant via des places portuaires. Les résultats obtenus pour les conteneurs sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus par la source symétrique, la Direction des Transports Maritimes, des Ports et du Littoral, du METATM.

Enfin, il faut signaler l'existence du dispositif de suivi des schémas de services collectifs de transports<sup>4</sup>, qui intègre notamment le suivi de l'évolution des parts modales intéressant certains axes ou pôles importants pour le transport en France. Ce recueil trouvera son utilité sur la durée, s'agissant d'évolutions qui se produisent à l'échelle d'années plutôt que de mois. Il demeure établi dans une logique pluri-modale, c'est-à-dire de comparaison entre modes, mais malgré cette ambition restreinte et certaines incohérences des mesures effectuées, son existence mérite d'être saluée.

### **1.7.2 L'enquête ECHO :**

Cette enquête consiste à suivre de façon très détaillée de multiples envois de marchandises, avec une connaissance fine sur leur nature, les choix du mode principal de transport et des chaînes multimodales éventuelles, les déterminants du choix, etc . Il s'agit d'un rare exemple de recueil conçu avec une optique multimodale, et visant à améliorer la connaissance qualitative et à mieux connaître les déterminants des choix logistiques. Outre un certain nombre d'indications quantitatives utiles, des résultats uniques sont attendus sur les aspects qualitatifs et en particulier sur la logique de choix entre chaîne multimodale ou transport purement routier, et sur la logique de choix entre chaînes multimodales alternatives.

Cette enquête était initialement programmée pour 2002/2003, ses résultats étaient attendus pour alimenter la présente thèse. Malheureusement, divers événements ont conduit à un fort décalage dans le temps de l'enquête, et le recueil s'est achevé trop tardivement pour permettre une utilisation de ses résultats dans le cadre de la thèse.

### **1.7.3. Un effort de diagnostic : le rapport PREDIT sur la mesure du transport intermodal (2000) :**

Cette étude a été réalisée pour le PREDIT (programme de recherche du METATM) par le bureau d'études Taylor Nelson Sofres Consulting. Quelques-unes de ses conclusions méritent d'être mentionnées, d'autant qu'elles corroborent l'analyse menée ci-dessus :

*« Aucun acteur de la chaîne de transport (chargeur, commissionnaire de transport, opérateur de transport, gestionnaire d'infrastructure, douane) ne dispose de la totalité des informations relatives au transport intermodal. Tous disposent cependant d'informations utiles pour construire un système d'information intermodale. Certains acteurs ont une information beaucoup plus riche que les autres : ceux qui organisent la chaîne de transport (commissionnaires de transport ou chargeurs), ceux qui construisent des statistiques (principalement les ports), et enfin la douane, même si le contenu transport de cette information douanière est relativement pauvre, d'autant qu'elle est facultative et donc de qualité médiocre. »*

Sur les données ferroviaires, l'étude constate que les privatisations et la concurrence accrue entre les opérateurs en Europe font que les informations transmises par les acteurs au METATM ou à l'UIC sont de moins en moins détaillées. Cela ne s'est guère arrangé depuis, comme le montre l'étude menée pour le compte de l'UIC par KombiConsult en 2003, qui a apparemment éprouvé quand même beaucoup moins de difficultés du côté allemand que du côté français, alors même que la concurrence y est effective et plus développée qu'en France.

<sup>4</sup> Reformaté depuis en « suivi des axes et pôles stratégiques de la politique des transports ».

Il est également intéressant de noter que l'étude PREDIT proposait 3 scénarios d'amélioration. A notre connaissance, aucune action notable n'a été menée depuis.

### *1.8 Constat global :*

Le système actuel d'observation des transports en France reste extrêmement cloisonné selon les modes. Chaque source a un système adapté à son objectif historique (mesure de la valeur marchande pour les Douanes, mesure de la manutention pour les ports, ...), quand bien même ses enjeux et objectifs ont fortement évolué depuis. Il n'existe pas de recueil régulier réellement multimodal, malgré des évolutions positives constatées récemment, dans la foulée des schémas de service collectifs de transport. Ces évolutions positives restent dispersées, il n'y a pas d'évolution structurée et cohérente du système d'observation qui permette la robustesse et la pérennité de ces avancées (pas de clarification/ harmonisation des objectifs, pas ou peu de modalités de coordination multimodale des dispositifs d'observation modaux, en dehors de la coordination classique destinée à comparer les modes entre eux, essentiellement avec la typologie des marchandises - catégories NST -).

En conséquence, faute de données suffisantes, et même faute de l'existence d'un dispositif de recueil capable d'observer des chaînes multimodales, il s'est avéré impossible d'avoir une approche quantitative détaillée du thème de recherche.

La phase d'observation pratique de la recherche a été orientée vers une approche qualitative plutôt que quantitative, à travers des études de cas et des entrevues avec divers types d'acteurs du transport. Les rares ordres de grandeur disponibles sont cependant indiqués ci-après, en proposant des ordres de grandeur corrigés tenant compte des incohérences et imperfections des sources initiales.

## **2 Estimations quantitatives et qualitatives**

### *2.1 Ordres de grandeur*

En l'absence, au plan national, de recueils de données correctement structurés pour permettre la mesure des trafics multimodaux, il faut procéder par recoupements et par extrapolations afin d'obtenir des ordres de grandeur permettant d'avoir une vision un peu globale des trafics multimodaux.

Les relevés modaux faussent la réalité de façon importante :

- sous-estimation de la nature internationale des trafics (notamment des trafics de transit)
- sous-estimation de la nature multimodale des plates-formes
- surestimation des tonnages de marchandises réellement transportés.

Il nous faut cependant partir de ces statistiques modales faute de mieux. On retiendra en général deux chiffres significatifs pour les quantités analysées, tout en sachant que cette précision apparente est illusoire. Les analyses réalisées sont présentées plus en détail en annexe. Commençons tout d'abord par le mode qui capte la majeure partie des tonnages transportés à longue distance, le mode maritime.

### 2.1.1 Le mode maritime

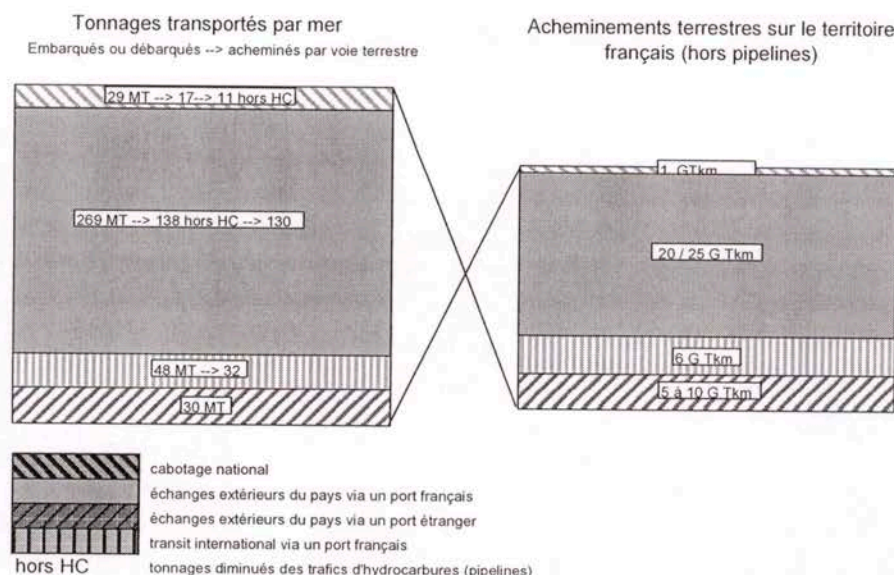
Les statistiques portuaires détaillées les plus récentes disponibles indiquent que 346 millions de tonnes ont été comptabilisées comme passant via les ports français en 2002<sup>5</sup>. Il convient de distinguer les trafics intra-nationaux, les trafics d'échange et les trafics de transit, d'estimer les doubles-comptes et de faire quels autres corrections techniques. Les trafics d'hydrocarbures méritent un traitement à part, dans la mesure où leur acheminement terrestre se fait en large partie par oléoduc ou gazoduc.

On obtient alors les ordres de grandeur suivants en milliards de tonnes km (G t km), pour les acheminements terrestres (hors oléoducs et gazoducs) :

- acheminement terrestre des trafics de transit international : 6 G t km
- acheminement terrestre des trafics d'échange : 20 à 25 G t km
- acheminement terrestre des trafics de cabotage national : 1 G t km .

On aboutit donc à une trentaine de milliards de tonnes km, pour 170 millions de tonnes réellement acheminées par voie terrestre, hors gazoducs et oléoducs.

Pour compléter l'analyse, il convient de souligner qu'il existe également des trafics d'échanges extérieurs de la France, et des trafics transitant simplement par la France, qui arrivent par voie maritime dans des pays voisins et sont acheminés par voie terrestre. Ces trafics peuvent également donner lieu de façon privilégiée à des acheminements terrestres non routiers. Le dispositif statistique actuel ne permet pas d'identifier ces trafics de transit, ils se retrouvent intégrés aux trafics de transit, routier ou ferroviaire, comptabilisés dans les statistiques de ces modes. En ce qui concerne les trafics d'échange, la source douanière fournissait jusqu'en 1992 des éléments très importants, mais leur qualité n'a cessé de se dégrader depuis. Les dernières estimations retranscrites par la DTMPL sont de l'ordre de 30 millions de tonnes, ce qui correspond à l'ordre de grandeur de l'indicateur, symétrique, des trafics de transit international passant par un port français et acheminés par voie terrestre.



Voyons maintenant les trafics ferroviaires, en nous référant toujours à l'année 2002.

<sup>5</sup> Annuaire statistique détaillé 2002 établi par la DTMPL du METATM.

### **2.1.2 Le mode ferroviaire**

Le total transporté par rail en 2002 est de l'ordre de 128 millions de tonnes représentant 50 milliards de tonnes km, selon les statistiques SNCF. Au sein de ces trafics ferroviaires, on trouve des acheminements terrestres de trafics maritimes, ou des chaînes intermodales rail-route. On peut également y trouver plus marginalement du multimodal aérien-rail (messagerie essentiellement) et certains trafics ponctuels relevant de chaînes rail-fluvial. En France, le rail flottant (trains à bord de navires) a disparu, ce qui n'est pas le cas en Europe, même s'il est maintenant extrêmement réduit (liaison Sassnitz (Allemagne) / Klaipeda (pays baltes)).

Nous nous intéresserons aux deux premiers types de trafics multimodaux empruntant le rail, qui représentent l'essentiel de ces tonnages et parcours. Ces deux types de trafic ne sont d'ailleurs pas exclusifs l'un de l'autre, il existe un trafic important de conteneurs acheminés par voie maritime puis par rail-route en desserte terrestre.

Voyons tout d'abord le transport combiné rail-route (conteneurs, caisses mobiles, semi-remorques,...) . Il représentait en 2002 de l'ordre de 12 milliards de tonnes km. Il faut noter, comme pour les statistiques portuaires, que le poids à vide des véhicules routiers transportés est compté dans ces indicateurs, de même que le poids à vide des conteneurs.

L'analyse détaillée montre une certaine incohérence des sources de données, dès lors qu'il s'agit de distinguer des trafics multimodaux au sein des trafics ferroviaires. Des estimations SNCF ont cependant été faites de façon plus détaillée en 1999 pour le transport combiné rail-route à partir des gares portuaires, et sur cet exercice ciblé les estimations ferroviaires et portuaires se rejoignent en ordre de grandeur, autour de 2 milliards de tonnes km.

### **2.1.3 Le mode fluvial**

Le mode fluvial peut s'intégrer à des chaînes empruntant le mode maritime, et également le routier ou le ferroviaire. En-dehors des colis lourds ou de quelques trafics très spécifiques, c'est le multimodal maritime/fluvial qui représente l'essentiel des trafics. En outre, il est encore plus difficile d'obtenir des éléments sur les trafics fluvial/route et fluvial/ferroviaire, qui ne sont pas mesurés. Aussi l'on ne s'intéressera ici qu'à la part du maritimo/fluvial au sein des 7 milliards de tonnes km comptabilisés pour le trafic fluvial en France.

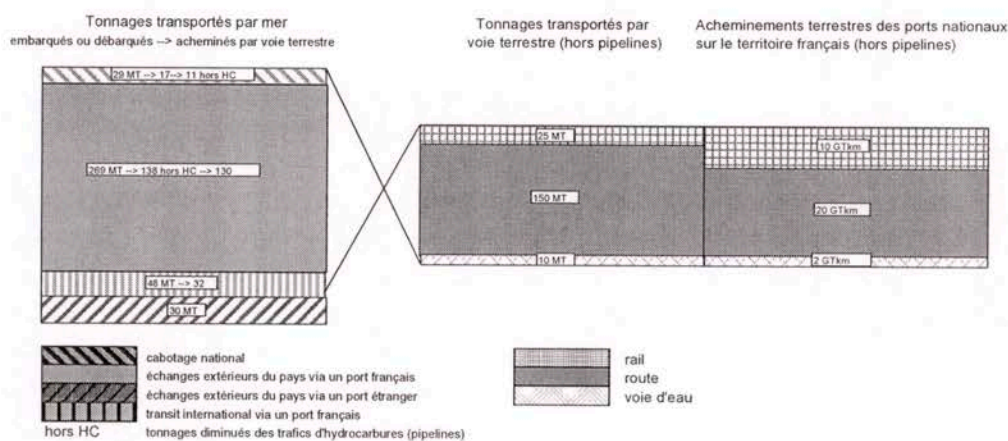
### **2.1.4 Recalage des estimations :**

En comparant et analysant les différences entre les diverses sources nationales et locales citées ci-dessus, ainsi que d'autres, plus confidentielles, on aboutit en définitive, avec les multiples imprécisions évoquées ci-dessus, aux estimations suivantes pour le transport multimodal réalisé sur le territoire français :

- mer/rail : une dizaine de milliards de tonnes x km dont de 2 à 3 pour l'intermodal conteneurisé
- mer/fluvial : 2 milliards de tonnes x km dont environ 0,2 pour le transport intermodal conteneurisé
- rail/route : une douzaine de milliards de tonnes x km pour le transport intermodal rail-route (trajet ferroviaire) et 1 milliard pour le transport routier terminal
- mer/route : une vingtaine de milliards de tonnes x km.

Il conviendrait de mentionner le transport mer/mer, dans la mesure où il permet d'éviter des reports sur la route pour le transport terminal<sup>6</sup>, qui est estimé à 2 milliards de tonnes km, ainsi que le transport fluvio-maritime<sup>7</sup>, de l'ordre de 0,3 milliards de tonnes x km.

Rappelons que les estimations des acheminements portuaires excluent les vrac liquides acheminés par oléoducs et gazoducs.



	Parcours par mode de transport (G Tkm)			
	mer	rail	voie navigable	route
<b>Acheminement terminal des trafics maritimes *</b>	2	10	2	20
<b>Rail-route</b>		12 **		2
<b>Fluvio-maritime</b>			0,3	

\* ports nationaux uniquement

\*\* dont 2 G tonnes km en acheminement de trafics de ports nationaux.

<sup>6</sup> Les stratégies de concentration sur des ports principaux, essentiellement pour les conteneurs, pourraient s'accommoder de dessertes secondaires terrestres. Ce sont des questions de coût, de culture maritime et probablement de volonté de maîtrise des acheminements qui guident les armateurs vers les logiques de « feederisation » (lignes maritimes de courte et moyenne distance, reliant ports principaux et ports « secondaires »).

<sup>7</sup> Assuré par des petits navires aptes à naviguer en mer comme à remonter les fleuves, desservant ainsi en profondeur le territoire sans nécessiter de transport routier. Ce trafic se développe notamment avec le bassin méditerranéen et avec les pays à façade maritime de l'est de l'Europe et la Russie.

En outre, il conviendrait de prendre en compte les acheminements terrestres sur le territoire français relatifs aux échanges extérieurs effectués via un port étranger, que l'on peut très grossièrement estimer à 2 ou 3 G tonnes km en mode ferroviaire, autant en fluvial et un peu plus en routier. Il conviendrait également de comptabiliser les trafics multimodaux purement terrestres empruntant le ferroviaire (non identifiables à ce jour).

Ces estimations des trafics multimodaux sont à rapporter aux ordres de grandeur des trafics globaux par mode terrestre en France, qui sont de l'ordre de 260 G tonnes km pour le transport routier par poids lourds, 50 pour le transport ferroviaire et 7 pour le fluvial.

**Les acheminements multimodaux non routiers permettent donc actuellement d'éviter plus de 10% de transports supplémentaires par poids lourds. Et les acheminements routiers terminaux des trafics multimodaux (essentiellement constitués des acheminements de trafics maritimes de longue distance) représentent de l'ordre de 10% des trafics routiers actuels de poids lourds.**

Il faut noter que ces estimations ne prennent en compte le cabotage maritime d'échange passant par un port français qu'à travers ses transports terminaux en France, alors que ce cabotage maritime évite sur son trajet principal des transports routiers supplémentaires, sur le réseau français et européen. Ces estimations n'incluent pas non plus le cabotage maritime de transit ne passant pas par un port français. Or ces types de cabotage maritime ont des parts de marché comparables et parfois supérieures à la route sur des trajets longue distance (exemple: sur la coupure des franchissements pyrénéens, la part du maritime est de 49%, supérieure à celle de la route qui est de 47%). Ces indications confirment que, sur les trafics de longue et très longue distance, le pourcentage des trafics routiers évités par les chaînes multimodales est nettement plus élevé que les 10% globaux cités ci-dessus. Ces trafics longs sont plus adaptés ou plus adaptables aux solutions multimodales, qui peuvent alors parfois faire jeu égal voire dominer la route en parts de marché.

## 2.2 *Comparaison des tendances d'évolution*

La tendance générale en ce qui concerne le trafic multimodal mer/fer s'est traduite par une augmentation au cours des années 1990, un point culminant au début des années 2000, et une chute importante ces dernières années. Pour le multimodal mer/fluvial, on observe une dynamique positive depuis une dizaine d'années, qui profite d'une partie des trafics sortis du mer/fer, notamment en ce qui concerne les acheminements de conteneurs qui croissent très fortement, tant en Seine que sur le Rhône.

Pour le trafic multimodal mer/mer, après avoir stagné à un bas niveau depuis le début des années 1990, il a repris une forte croissance depuis 4 ou 5 ans, notamment en raison de l'évolution de la politique du port du Havre en faveur de la feederisation<sup>8</sup>. Le trafic rail/route, après une bonne progression dans les années 1990, a eu tendance à stagner puis à chuter fortement ces dernières années.

---

<sup>8</sup> Il s'agit, pour le trafic conteneurisé, du développement de lignes maritimes « secondaires » en correspondance avec des lignes maritimes transcontinentales, utilisant des porte-conteneurs plus petits appelés « feeders ». Les termes techniques sont explicités dans le glossaire figurant en annexe.

### 2.3 *Nature des trafics :*

Nous avons vu plus haut les difficultés pour mesurer les trafics multimodaux. Approcher leur part de marché est encore plus hasardeux, car la difficulté de mesure porte également sur le dénominateur. En effet, il faut considérer un marché potentiel pertinent. Ainsi, identifier la part de marché du rail-route en la rapportant aux parcours totaux routiers en France a peu de sens : usuellement, on utilisera par exemple les parcours routiers correspondant à des trajets supérieurs à 500 km. Ceci nous amène à évoquer la nature des trafics susceptible d'être intéressés par des solutions de transport multimodales.

Il ne s'agira pas ici d'analyser cette segmentation de marché en détail, mais de fournir quelques indications au lecteur. En effet, les outils théoriques pour analyser les parts de marché captables existent et sont assez classiques. Ces outils utilisent, sous une forme ou sous une autre, une notion de coût de transport généralisé et, selon le degré de finesse du découpage adopté et selon le choix méthodologique effectué, ils conduisent ensuite à une affectation entre modes ou itinéraires de type « tout ou rien », ou à une règle d'affectation du type logit par exemple. La difficulté principale de ces outils réside en pratique dans l'obtention de données fiables et suffisamment détaillées. Une utilisation pertinente de ces outils conduit à expliquer un grand nombre de comportements. Pour autant, même quand ils peuvent être utilisés, il demeure parfois une grande dispersion entre les comportements de choix qui devraient être observés selon ces outils et ceux qui se réalisent effectivement.

Pour en revenir à la notion de « marché pertinent » pour les solutions multimodales, on peut tout d'abord mentionner la nature des trafics en jeu. Les références statistiques utilisent les catégories NST, plus ou moins détaillées, qui distinguent par exemple les produits métallurgiques, éventuellement sub-divisés par types de produits. Les paramètres qui influent classiquement sur le choix de la solution de transport sont plus homogènes quand on va vers des catégories plus fines. Mais corrélativement la précision des données quantitatives disponibles sur ces trafics plus ciblés diminue très fortement.

Souvent, la valeur unitaire des marchandises est vue comme un indicateur de la valeur du temps associée à la marchandise, ainsi les marchandises à faible valeur seraient plus susceptibles d'emprunter des modes plus lents mais moins coûteux. Si ce type de constat est globalement assez correct, il faut cependant souligner que le degré d'intérêt potentiel pour telle ou telle solution de transport ne dépend pas intrinsèquement de la nature de la marchandise. Il résulte en fait des termes des offres en présence. Ainsi, il y a une dizaine d'années, il aurait paru tout à fait impensable que des tourteaux de soja se trouvent acheminés en conteneurs.

Certaines évolutions de l'offre de transport sont venues modifier des équilibres, tout en brouillant d'ailleurs la visibilité pour les observateurs. Ainsi, le développement de la conteneurisation n'a pas été accompagné d'une adaptation des outils d'observation (exemple des conteneurs feederisés). Mais ce développement du conteneur a également introduit une forme d'opacité sur la mesure de la nature de la marchandise, en substituant à une information précise sur la nature et le tonnage de marchandise une information plus floue. Cette information se résume souvent au tonnage global transporté par conteneur, en incluant d'ailleurs souvent la tare du conteneur, au sein d'une catégorie statistique fourre-tout de la nomenclature NST établie par EUROSTAT.



Du point de vue technique, le « marché pertinent » est une notion floue, qui ne peut pas s'apprécier par des trafics agrégés en tonnages. Il est plus judicieux de raisonner par type de trafics, ou « filière de marchandises », en arbitrants le niveau de désagrégation de la demande considéré en fonction de la qualité des données disponibles. Il est dommage à ce sujet que les sources statistiques ne donnent quasiment jamais les fourchettes d'imprécision correspondant à leurs niveaux de détail de données.

Une filière pourra être représentée par les caractéristiques quantitatives de la demande potentielle qu'elle représente : organisation de la production, taille des lots, cycles éventuels, régularité de la production et des approvisionnements, ou au contraire fluctuations fortes, délais de commande du transport et anticipation,.... S'y ajoutent des éléments qualitatifs et techniques (conditionnement, fragilité, ), organisationnels (schéma logistique : stockage, « customisation », externalisations / contractualisations, système d'informations, ), procéduraux (douanes, contrôles santé/sécurité/sûreté, ), et, bien sûr, des éléments économiques et financiers (part du transport dans la compétitivité du produit, obsolescence, assurances, ), mais aussi environnementaux.

Ces éléments peuvent tous être plus ou moins déterminants, et on peut se ramener, pour les traiter, à des éléments de coût généralisé permettant d'agréger leurs effets. Mais ce faisant, le modélisateur se met à la place d'un décideur unique qui optimiserait globalement le choix en fonction des coûts et avantages. Or nous verrons plus loin que l'éclatement entre décideurs, la diversité d'appréciation ou de pouvoir des décideurs, notamment du point de vue des risques ou des conséquences concurrentielles, peut avoir un effet tout aussi déterminant que l'ampleur des différences de coût généralisé de transport.

### **3 Etudes de cas**

Le choix des analyses de cas présentées ici privilégie la diversité des combinaisons modales, et la disponibilité des sources d'information. Divers entretiens approfondis ont été menés, dont certaines citations apparaissent en italique dans le texte. Au titre des transports multimodaux fer-mer, le cas des dessertes ferroviaires du port du Havre constitue une référence intéressante à de multiples égards, tant pour le succès de certaines lignes nouvelles que par le jeu d'acteurs particulier qui s'y est joué et son évolution dans le temps, à travers la structure Le Havre Shuttle.

Au titre des transports multimodaux mer-mer et mer-route, la ligne de cabotage EFL est abordée, bien qu'elle ne soit plus en service, car elle illustre les problèmes de viabilité de telles lignes, viabilité économique et stratégies des acteurs apparaissant indissociables.

Le cas du rail-route pose un problème aigu d'accès à l'information. Cependant il aurait été difficile de l'ignorer dans ces analyses de cas. L'analyse porte plus particulièrement sur la différenciation des stratégies des principaux acteurs français du secteur, CNC et Novatrans.

Enfin, afin de compléter ces coups de zoom par une approche plus transversale sur certains grands acteurs du transport en France, seront fournis quelques éléments sur l'évolution de l'attitude de grands acteurs par rapport au transport multimodal.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> L'attitude des pouvoirs publics sera évoquée dans le chapitre IV.

### 3.1 *Le Havre Shuttles (LHS)*

#### 3.1.1 Genèse et évolution de LHS :

##### Genèse : la menace ERS

Vers 1996, l'opérateur ERS<sup>10</sup> annonce un projet de liaison ferroviaire par navette entre Rotterdam et Lyon. Le port du Havre est très fortement inquiet par ce projet. En effet, à cette époque les dessertes Marseille/Lyon et l'image du port de Marseille étant relativement peu compétitives, le port du Havre avait une position privilégiée sur Lyon bien qu'il soit beaucoup plus éloigné de Lyon que Marseille. Avec ce projet de navette, Le Havre risquait de se retrouver vis-à-vis de Rotterdam dans la position que Marseille avait vis-à-vis du Havre sur Lyon, d'autant que l'opérateur de référence pour le combiné ferroviaire du Havre, CNC, pratiquait alors une tarification très supérieure à celle envisagée par ERS pour sa navette.

Le port autonome du Havre a pris l'initiative de rassembler les acteurs économiques présents au Havre, clients ou prestataires, pour envisager une réaction face à la « menace ERS » en faisant valoir que, sur le moyen terme, un basculement sur Rotterdam ferait perdre des trafics à tous. Une fois les trafics installés à Rotterdam, les acteurs concurrents présents là-bas (armateurs, commissionnaires de transport – CT -, etc ) risquaient de prendre le dessus sur leurs homologues français ayant apporté initialement le trafic. D'où l'idée de contacter la CNC pour voir comment monter une navette directe compétitive.

##### Le projet de navette : conception et mise en place

Navette ou point nodal ? : une navette est un train direct régulier, c'est la solution la plus économique pour des liaisons pôle à pôle, quand le trafic est suffisant. Le passage par le point nodal correspond à une stratégie de CNC consistant à agréger les trafics en un point pour mieux massifier, mais au coût d'un arrêt et d'une rupture de charge supplémentaires, et avec des coûts fixes importants.

La CNC a finalement accepté de lancer une navette avec des modalités tarifaires incitatives, à condition que les clients potentiels soient engagés par écrit sur des volumes, les tarifs étant proposés uniquement aux clients adhérents. C'est clairement une forme d'assurance contre le risque de demande qui était exigé par la CNC. En outre, la CNC voulait un interlocuteur unique face à elle, et a donc demandé la constitution d'un groupement d'adhérents qui est devenu plus tard LHS.

Sur le type d'axe Le Havre/Lyon, les clients principaux sont les armateurs, les CT/transitaires restent en retrait. Le groupement initial était donc essentiellement armatorial. A noter que les représentants havrais de Maersk et Nedloyds étaient dans le groupement, bien que les mêmes armateurs soient par ailleurs partie prenante à ERS (la raison en était que, s'ils étaient hors du groupement, ils ne pouvaient avoir accès aux tarifs de la navette réservés aux adhérents). On peut identifier ici l'importance stratégique de conditions ou tarifs préférentiels consentis aux adhérents.

In fine (conséquence de cette réaction havraise ou /et de problèmes internes du côté ERS ? ?), le projet de navette ERS a été abandonné.

---

<sup>10</sup> opérateur ferroviaire regroupant 4 grands armateurs : Nedlloyds, P&O, Maersk, Sealand – les 2 premiers ont fusionné en 1997, les 2 autres en 2000- et NS, l'équivalent néerlandais de SNCF

### **Fin des tarifs réservés et conséquences de la suppression du groupement :**

Début 1997, CNC annonce que, vu les trafics atteints, il n'est plus besoin d'adhérer au groupement pour bénéficier des tarifs (toujours liés au volume apporté par chacun), le groupement est donc dissous, ses objectifs ayant par ailleurs été atteints (création de navette directe, obtention de tarifs moins élevés).

Mais il s'avère que le transfert sur le point nodal revient « insidieusement » (des trafics sont transférés par CNC de navette directe sur point nodal) et que les tarifs ont tendance à remonter par rapport à ceux pratiqués antérieurement avec le groupement. Le port autonome du Havre (PAH) réagit alors avec la volonté de monter un CT non dépendant de l'opérateur de transport, de type « centrale d'achat », afin de massifier, commercialiser des services nouveaux ou développer des services existants, que CNC et SNCF ne souhaitent pas développer en raison du risque présenté et des coûts de développement. Ce sera LHS.

### **Statut et actionnariat de LHS :**

LHS a initialement pour unique actionnaire l'UMEP (union maritime et portuaire, fédérant la plupart des acteurs présents sur la place du Havre, clients mais aussi prestataires) ; après débats, son statut est celui « *d'une entreprise privée, bâtie sur des objectifs précis et avec un capital assez conséquent pour être solide et crédible* ». Le PAH intégrera le capital de LHS en 1998.

Puis les armateurs veulent entrer au capital pour 10% via leur groupement GHAAM (groupement des havrais des armateurs et agents maritimes) et les transitaires leurs emboîtent le pas, par peur de se retrouver distancés par les armateurs. Cette attitude systématique vis-à-vis des armateurs découlait de la crainte que les armateurs prennent le contrôle de LHS.

### **Positionnement de LHS et de CNC :**

LHS voulait développer de nouveaux services, non concurrents à CNC (pas Bordeaux-Le Havre, par ex), notamment vers l'Est de la France et au-delà, et demander à CNC d'améliorer ses services existants. En quelque sorte, cela amenait une clarification des rôles : à LHS la commercialisation, la facturation et tous les éléments de gestion commerciale des nouveaux services, la CNC restant transporteur. Selon les termes d'un des acteurs de cette période, « *les malentendus débutent alors* ».

Etre réduit au rôle de transporteur, tel que cela est perçu par la CNC, constitue une menace d'être remplacée par un autre prestataire transport si la libéralisation du transport de fret ferroviaire s'effectue. En outre, le trafic de nouveaux services LHS serait partiellement pris sur le trafic diffus CNC alimentant son point nodal.

### **3.1.2 La ligne Le Havre-Strasbourg :**

Principe et tarif : initialement le marché est peu connu, il s'agit d'un trafic nouveau, donc le service débute en étant organisé via le point nodal. L'aide au démarrage se traduit par une subvention LHS forfaitaire pour chaque EVP passant au point nodal, couvrant l'écart entre le tarif affiché et le coût de production estimé par CNC.

A noter que CNC assure que ce coût est linéaire ie marginal, par opposition à un coût dégressif en fonction du volume : il n'y a donc pas d'incitation à la croissance des trafics.

Trafics : 3.500 EVP en 98, 7.000 en 99, 11.000 en 2003

LHS annonce en 1999 qu'elle est prête à reprendre la commercialisation de la navette PAH/Strasbourg, CNC pouvant toujours charger sur la navette (mais en tant que CT client de LHS). Or la CNC veut conserver le lien direct avec le client (pour éviter le risque de changement d'opérateur ultérieur).

A partir de juin 99, il y donc un opérateur (CNC) et 2 CT, LHS (qui a donc un rôle similaire à celui des NVOCC en maritime) et CNC, qui démarchent en parallèle les clients, avec des arguments différents :

- CNC : fait des accords « multiservices » avec certains de ses clients, par exemple en appliquant une ristourne calculée sur le volume total confié à CNC, sur PAH/Strasbourg ou ailleurs
- LHS mise sur l'optimisation logistique, la gestion optimisée du transport routier terminal : « *ce n'est pas compliqué d'utiliser le ferroviaire, LHS s'occupe de le gérer pour vous* » et sur l'information rapide du client sur tout retard (CNC étant supposée informer LHS de tout problème dans l'exécution du transport). Pour certains clients, choisir LHS, c'est le conforter comme CT donc comme contrepoids concurrentiel à CNC (certains clients, fatigués de devoir passer par CNC sans avoir le choix, estiment que « *ça ne peut pas être pire* »). Enfin, LHS utilise l'argument : « *si vous êtes actionnaire de LHS, vous avez intérêt à l'alimenter* ».

Résultats : CMA-CGM passe ses trafics sur LHS, d'autres armateurs suivent et LHS assure 30 à 40% de l'alimentation de la navette.

#### **Conflit entre jeu coopératif et concurrence entre acteurs :**

La question de l'équilibre entre coopération et concurrence se pose à divers niveaux : entre armateurs, concurrents par nature, ou entre armateurs et transitaires. Or tous sont dans LHS car « le besoin de se serrer les coudes pour conforter les parts de marché ou les accroître » a été reconnu (cette analyse stratégique s'est même concrétisée avec la mise en place d'une coopération avec le port autonome de Rouen, malgré l'opposition historique entre les deux places portuaires, qui a heureusement fortement diminué depuis).

En termes de théorie des jeux, il semble que les acteurs soient tombés d'accord sur le fait que le jeu n'est pas à somme nulle, mais à somme positive, s'ils se coordonnent (alors qu'il risque d'être à somme négative si le comportement concurrentiel prévaut, dans une optique à très court terme).

#### **3.1.3 Projet de ligne PAH/Milan et évolution majeure des relations CNC/LHS**

LHS lance un appel d'offres pour une navette sur Le Havre/Milan. L'offre la plus intéressante est celle de Novatrans car il a déjà un service Havre-Novare et s'engage à faire des navettes maritimes à partir d'un certain volume. En outre, conformément à son orientation habituelle, Novatrans était d'accord pour être uniquement transporteur sans être CT. LHS cherchait aussi ainsi à montrer son indépendance vis-à-vis de CNC et à asseoir sa crédibilité comme contrepoids concurrentiel au monopole.

CNC n'apprécie guère que Novatrans soit choisi, sans que LHS ne demande même une contre-proposition à CNC ; en outre, CNC juge LHS « *trop dangereux car il veut concrétiser avec des concurrents* ». D'où un **ultimatum de CNC** : CNC ne proposera pas de nouveau service à LHS sauf si CNC entre au capital de LHS (demande initiale de CNC : prise de contrôle total avec 51%).

En parallèle, l'analyse stratégique du PAH se modifie à l'occasion de son changement de directeur au début 2000 et le PAH conclut un « **accord de partenariat** ». Il semble que le pouvoir d'inertie ou de rétorsion du milieu ferroviaire, ainsi que le contexte de plein développement du projet d'extension du PAH « Port 2000 », aient joué un rôle dans la conclusion de cet accord<sup>11</sup>. Toujours est-il que, in fine, CNC entre avec une minorité de blocage (34%) identique à celle du PAH. Et LHS met en sommeil son rôle de commissionnaire de transport.

La spécificité de LHS est préservée (forte représentation des clients, d'où une pression accrue sur la compétitivité), ainsi que sa marge de manœuvre à terme et le développement à court terme. Mais ceci n'empêche pas que CNC a maintenant un fort contrôle sur LHS et qu'il bénéficie toujours du contexte de monopole et d'asymétrie forte d'information.

En outre demeure le problème crucial du déficit « structurel » de LHS, dans les conditions du transport routier et du transport ferroviaire actuels, ainsi que le problème d'asymétrie d'information et d'absence de maîtrise de la qualité sur le volet ferroviaire.

### 3.2 *Un exemple de service de feeder maritime non dédié : le cas EFL*

#### **3.2.1 Éléments factuels et technico-économiques :**

Le service EFL était un service de feeder, donc dédié au trafic de conteneurs entre port hub desservi par de grandes lignes transocéaniques, et ports « secondaires » terminaux. EFL était centré sur la façade atlantique, plus particulièrement le port de la Rochelle avec le hub du Havre. Il a fonctionné entre 1997 et le début de l'année 2002.

Concept du service EFL : offrir une prestation globale « du navire à la porte », systématiquement, par nécessité commerciale en comparaison avec le service offert par le transporteur routier. La prestation était globale même pour les gros chargeurs tels Michelin qui ont leur propre réseau logistique.

#### Manutention :

Dans le port hub, le feeder va en général d'un terminal à l'autre pour (dé)charger car le coût terrestre est supérieur au coût maritime malgré les attentes. La manutention occasionne au feeder des temps d'attente, d'autant que celui-ci sert également des terminaux derrière l'écluse du Havre, donc le feeder passait de 10 à 12 heures au port du Havre, à comparer aux 36 heures de trajet entre La Rochelle et le Havre. Les manutentionnaires ont en premier lieu des contrats avec les navires-mère et, même si cela a évolué dans le bon sens, ils traitent les 400 EVP du navire-mère avant les 20 ou 30 du feeder.

<sup>11</sup> On retrouverait là un des aspects de l'interaction « multi-marchés », souvent vue comme favorisant la collusion (Berheim et Winston (1990)), mais agissant ici comme levier externe pour une négociation.

#### Fluctuations / imprévus :

En-dehors des fluctuations de la demande, les imprévus ont surtout porté sur :

- les problèmes météo : ces problèmes ont pu couvrir plusieurs semaines de suite, comme pendant l'hiver 2000/2001. En cas de problèmes météo ponctuels, EFL confiait le conteneur à la route et en supportait le surcoût, introduisant une forme d'assurance pour le client face à ce type d'aléa
- les grèves des dockers ou des grutiers : les grèves de 1997/98 et la grève des grutiers du Havre fin 2000 ont coûté beaucoup à EFL.

### **3.2.2 Historique de EFL :**

Il est tout d'abord intéressant de noter que la genèse d'EFL a pu bénéficier d'un investissement amont sur le montage du projet, par un concours de circonstances. Celui qui est devenu le directeur d'EFL a été disponible, à l'issue de la fermeture de la précédente entreprise qui l'employait, pour analyser, étudier et monter le projet pendant 6 mois. Ceci est à mettre en parallèle avec d'autres services de cabotage, dont le manque de préparation a causé la disparition très rapidement.

Le service EFL est lancé en octobre 1997. A noter que, sous la pression de clients impatientes, ce démarrage s'opère avec une prise de risque supplémentaire par les actionnaires, car l'aide communautaire pour le lancement n'était pas encore totalement acquise (montant non négligeable de 0,3 Meuros par an sur 3 ans). Les actionnaires, privés, ont investi de l'ordre de 2 Meuros entre 1998 et 2001.

Les trafics reposaient sur quelques gros clients, et le service s'est avéré fragile en situation de conjonction de facteurs défavorables. En 2001, les trafics étaient conjoncturellement bas chez les principaux clients, et cela faisait suite à de gros problèmes météo pendant l'hiver 2000/2001 ainsi qu'à d'autres facteurs. Les problèmes météo ont occasionné une perte de crédibilité de EFL (commandes déclinées ou ratage de correspondances).

Au vu des difficultés, une restructuration est envisagée fin 2001, avec entrée au capital de la plupart des ports concernés, et une solution de location/gérance par EFL. Mais le conseil d'administration de EFL met la pression sur les ports et la DTMPL, pour les forcer à s'engager, doutant de leur volonté réelle, en annonçant le 1<sup>er</sup> février 2002 qu'il y aura dépôt de bilan en l'absence d'une réaction rapide. Le service s'arrête début février.

Un projet de sauvetage monté ensuite échoue, qui prévoyait des efforts des ports concernés et des aides régionales, et toujours l'exigence d'un soutien clair et définitif du Ministère des Transports.

### **3.2.3 Les clients : chargeurs, armateurs et transitaires :**

Au début, la cible était le trafic intra-national, le marché nordique de feederling était vu par EFL comme une « cerise sur le gâteau ». Mais dans les 2 premières années, c'est ce qui a fait marcher EFL financièrement (les contacts personnels étaient déjà établis, le marché était « mûr »), l'intra-national a été beaucoup plus lent à se mettre en place.

Chargeurs directs :

RHODIA : disposant d'une grosse usine à La Rochelle (Rhône Poulenc, alors) Rhodia était client de CNC en 1996 et l'était encore un peu fin 97 bien qu'ayant basculé ses trafics sur la route « *en réaction à la politique commerciale de CNC* ».

Michelin : EFL a pris une partie des trafics d'importation de gomme de Michelin à CNC, donnant un exemple plus clair de concurrence entre services multimodaux, mais c'est le seul cas concernant EFL, selon EFL.

Les raisons de Michelin pour basculer une partie des trafics sur EFL sont intéressantes :

- des raisons stratégiques : avoir une alternative modale par rapport au train, partager entre 2 modes fiables pour sécuriser un approvisionnement stratégique pour son usine
- des raisons économiques : EFL était un peu moins cher que CNC.

Planetfun : installé fin 1997 à La Rochelle, cette entreprise importe des pièces de vélo de l'Asie du Sud-Est pour les assembler à La Rochelle. La création de EFL était alors un atout pour le choix de localisation de Planetfun à La Rochelle.

Ford : Ford a demandé à EFL d'escaler au Verdon pour acheminer une partie de ses conteneurs de boîtes de vitesses destinées notamment aux Etats-Unis. Les mots d'ordre de la direction de Ford étant : « *diversifiez vos acheminements* », « *réduisez la dépendance à la route* », Ford cherchait une troisième solution au-delà du rail et de la route. Ses contacts avec des armateurs ne l'avaient pas convaincu mais EFL a pu se placer au bon moment.

Avec ces chargeurs, EFL trouvait un gros intérêt de ne pas être soumis à captation ou déformation par l'intermédiaire d'un commissionnaire de transport. A noter que selon EFL, l'accroissement de clientèle s'est fait selon une « *chaîne de la confiance* » : Michelin est venu suite à la bonne expérience de Rhodia, lui-même convaincu par attitude commerciale de EFL, et Ford est venu suite à des contacts avec Michelin, également.

Armateurs : ils constituaient environ 50% de la clientèle EFL.

Transitaires : ils représentaient une très faible part des trafics EFL, EFL visant plutôt les trafics massifiés donc les chargeurs « en direct » et les armateurs. Il est utile cependant de mentionner l'importance des jeux de concurrence entre intermédiaires. Ainsi, le principal transitaire client de EFL était un transitaire qui se voulait « innovant » et qui a su consolider sa position sur un de ses clients grâce à EFL.

Selon EFL, les transitaires non clients ont toujours perçu EFL comme un problème potentiel : en leur confiant des trafics, ils auraient eu l'impression de courir un risque de court-circuit, EFL étant susceptible de servir le chargeur en direct.

A noter que EFL mentionne des éléments culturels et historiques, et une relative solidarité corporatiste, en mentionnant que « *le Sud-Ouest est un marché de transitaires, par tradition* » et « *si on démarché directement un client, on est grillé vis-à-vis de son transitaire et, par ricochet, vis-à-vis des autres* ».



#### Marché du cognac :

Il est utile de dire quelques mots de ce marché particulier, surtout dans la mesure où EFL estimait que si les trafics de cognac avaient partiellement fait appel à EFL plutôt qu'à la route intégralement, EFL aurait pu perdurer. C'est un marché de transitaires uniquement (3 ou 4 gros transitaires dont un qui traite Hennessy, le poids lourd du secteur) pour une marchandise à très haute valeur (1 EQP = 2 MF, jusqu'à 6 à 8 MF). Certains transitaires se seraient engagés à fournir des trafics à EFL si celui-ci s'avérait compétitif par rapport à la route, mais auraient finalement renoncé en pensant que le surplus dégagé par l'appel à EFL aurait été perdu pour eux, car cela se serait vu chez les chargeurs tôt ou tard.

A noter que EFL a espéré à un moment que, dans la mesure où la région envisageait d'aider les producteurs de cognac à stocker (en raison de la surproduction) pour éviter une chute des cours, la région aurait pu conditionner cette aide à l'utilisation d'EFL de façon significative par les producteurs, afin d'assurer une cohérence de ses actions économiques. On voit là que des éléments d'incitation extérieurs au transport peuvent apparaître.

#### **3.2.4 Offres de transport concurrentes :**

CNC : dans l'expérience de EFL à travers ses clients, CNC n'a pas d'« *attitude commerciale* » excepté quand la concurrence apparaît, et alors « *c'est la guerre car CNC refuse toute concurrence* ».

Routiers : il y a eu des réactions concurrentielles, mais pour EFL ces réactions ont été « *économiquement raisonnables car ce sont des entreprises privées* » (pas de guerre des prix). Il n'y a pas eu de conflits entre EFL et les transporteurs routiers, jamais de réaction agressive, d'autant que l'offre EFL étant « *navire à porte* », EFL gère le transport routier terminal, donc joue le rôle de client potentiel pour les routiers, qui plus est sur des trafics locaux qui sont plus facilement gérables socialement et par rapport au code du travail.

#### **3.2.5 Interactions particulières d'EFL :**

Manutentionnaires : leur raisonnement est à très court terme, axé sur le chiffre d'affaires ; pendant 3 ans, EFL a été relativement mal traité par les manutentionnaires du Havre, cela a changé seulement vers 2000, sur intervention du Port Autonome.

A noter qu'un manutentionnaire était actionnaire d'EFL (Manuroc, à La Rochelle). Il était intéressé directement par les trafics mais n'aurait pas cherché à faire des marges, et même aurait opéré à prix coûtant voire en perte les premières années.

#### ADEMAR (système informatique douanier et de place portuaire) :

Avec EFL, le conteneur était pré-dédouané sans remise de document papier, sans attente au terminal et à un coût très faible : c'est un avantage par rapport à la route et au rail. Les procédures douanières peuvent être un atout commercial plutôt qu'un problème, pour les trafics multimodaux internationaux. A noter que, depuis lors, ADEMAR a fusionné avec le système marseillais PROTIS, sous le sigle AP+.



### 3.3 *Quelques éléments sur le transport rail-route en France et en Europe*

#### **3.3.1 Le transport rail-route en France: CNC<sup>12</sup> et Novatrans**

Le transport rail-route en France est essentiellement assuré par deux opérateurs, CNC et Novatrans, qui ont des positionnements stratégiques très différents. Il peut donc être intéressant de comparer certaines de leurs caractéristiques.

##### **3.3.1.1 Les clients et les produits :**

Le cas le plus clair et le plus simple est celui de Novatrans, qui se positionne avant tout comme prestataire de service de transport pour le compte de transporteurs routiers. Il vend à ses clients des emplacements sur des wagons ou lots de wagons faisant partie de trains complets affrétés par Novatrans auprès de la SNCF. Novatrans fournit donc un bien substitut au transport par route à moyenne et longue distance sur certains trajets, dans le cadre d'un bien-système de transport porte à porte assuré par le transporteur routier pour son client<sup>13</sup>. Novatrans assure en quelque sorte un rôle de sous-traitant de transport entre quelques terminaux ferroviaires. Novatrans fonctionne essentiellement en trains complets directs et transporte surtout des caisses mobiles.

CNC a un positionnement plus complexe, en étant à la fois transporteur mais aussi commissionnaire de transport, c'est-à-dire organisateur de transport pour le compte du client final. Bien entendu, en tant que commissionnaire de transport, elle se retrouve en concurrence avec d'autres intermédiaires de transport ou avec des transporteurs. Ce double positionnement entraîne des conséquences importantes en matière de tarification, de relations commerciales, de gestion des priorités opérationnelles. Le positionnement plus global de CNC l'entraîne à rechercher le contact avec le client final pour se placer vis-à-vis de lui, quitte à court-circuiter les clients intermédiaires qui auraient initialement confié le trafic à CNC en tant que transporteur.

CNC transporte d'une part des conteneurs maritimes sur leur trajet d'acheminement terrestre à partir des ports, et d'autre part des unités intermodales en transport purement terrestre. S'agissant des conteneurs maritimes, CNC opère dans les ports sous le nom de Naviland European Services. La CNC possède ses propres wagons et offre des prestations de bout en bout, assurant elle-même les pré et post acheminements routiers. Son positionnement l'amène à investir dans de multiples parcs : conteneurs, caisses mobiles, wagons à essieux ou à bogies, et châssis routiers. Novatrans gère surtout un parc de wagons. Tous deux gèrent des terminaux d'interconnexion entre rail et route, avec des investissements en infrastructures et superstructures.

CNC adopte un modèle technique de réseau avec des points nodaux regroupant des trafics pour mieux les massifier. Ce modèle a parfois été imposé à des clients qui auraient souhaité des services directs (cf.. le cas LHS).

---

<sup>12</sup> CNC a changé de positionnement stratégique et de dénomination en octobre 2005 (cf.. 3.3.1.4.).

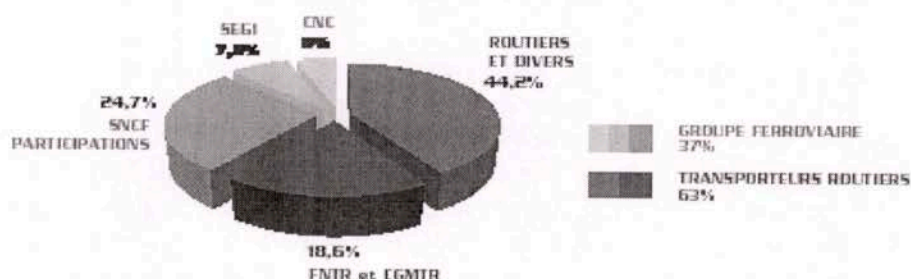
<sup>13</sup> Dans certains cas, le client effectue son transport routier en compte propre, mais même dans ce cas Novatrans le connaît avant tout en tant que transporteur.

### 3.3.1.2 L'actionnariat et la régulation économique

Novatrans a une structure originale dans laquelle les transporteurs routiers sont majoritaires, le monde ferroviaire proprement dit étant représenté par des entités de la mouvance SNCF, avec une minorité de blocage. Sa structure impose à Novatrans d'adopter une logique d'entreprise privée assez classique. Les sociétés similaires à Novatrans sont regroupées au sein de l'UIRR, créée pour donner un pouvoir de négociation plus important vis-à-vis des tractionnaires ferroviaires monopoles nationaux à l'époque, ainsi que pour faciliter des coordinations techniques ou tarifaires.

#### UN ACTIONNARIAT MIXTE

L'actionnariat de Novatrans réunit les deux principaux acteurs du ferroutage.



La CNC est une filiale de la SNCF à travers SNCF Participations, avec une petite participation de Novatrans (1,4%) et de InterFerryBoats (2%), filiale de la SNCB, société nationale des chemins de fer belges, qui est entre autres opérateur rail-route. CNC a rejoint l'UIRR il y a peu (en 2003), en tant que membre associé car son métier se distingue de celui des membres classiques de l'UIRR.

Partie intégrante de la mouvance SNCF, CNC est soumis à la même régulation économique, c'est-à-dire une régulation faible qui conduit à des tensions croissantes entre qualité des prestations, coût et tarif acceptable. Le contexte communautaire et les échos perçus du côté des clients laissent penser que ce modèle est difficilement soutenable.

### 3.3.1.3 Les trafics :

Bien que Novatrans subisse également les conditions difficiles du transport rail-route, notamment la mauvaise qualité de service ferroviaire et les fortes augmentations tarifaires de la SNCF, sa dynamique d'évolution est comparativement plus favorable que celle de CNC. Le modèle économique de Novatrans, qui est tourné vers le client et vise un métier précis, excluant les situations de concurrence avec ses clients, semble plus adapté et plus performant que celui de CNC, aux dires des clients et au vu des évolutions de trafics.

### 3.3.1.4 Evolution récente :

Depuis la rédaction de cette analyse, le diagnostic porté a été largement confirmé, et cela de façon assez étonnante : la réorientation radicale de la stratégie de la SNCF en matière de fret a entraîné directement la CNC dans son sillage, avec des conséquences beaucoup plus rapides et drastiques que celles auxquelles on pouvait s'attendre.

En effet, CNC<sup>14</sup> abandonne le marché du conteneur « continental » pour se recentrer sur le marché du conteneur maritime, et fait l'objet d'une restructuration complète puisque la SNCF pourrait éventuellement y devenir minoritaire, conservant toutefois une minorité de blocage, avec le souhait que les actionnaires majoritaires soient des armateurs.

C'est en fait le modèle économique de Novatrans qui semble être transposé dans le contexte des trafics maritimes. Le modèle technique de CNC est également recentré sur des liaisons directes entre gros centres de génération de trafic et grands ports à conteneurs, avec suppression des points nodaux.

Ce recentrage de CNC sur son rôle de transporteur rend possible la recherche de partenariats stratégiques privilégiés avec des clients majeurs. Cela traduit le basculement d'une situation de quasi-monopole vers une situation dans laquelle pouvoir de marché et liens privilégiés avec des acteurs maîtrisant des trafics majeurs sont supposés mieux positionner CNC face à l'irruption de la concurrence.

### **3.3.2 Le transport rail-route en Europe : éléments d'historique et rôle de l'UIRR**

#### **3.3.2.1 La clientèle du rail-route :**

Au début, c'est la clientèle de l'ensemble des transporteurs routiers qui était visée par les initiateurs du transport combiné rail-route (TC). En pratique, les petits transporteurs n'y ont pas eu recours, ou alors marginalement en transport accompagné, c'est-à-dire en faisant transporter le véhicule routier et son chauffeur sur le train. En effet, le TC non accompagné suppose une organisation et des coûts fixes, ainsi qu'une clientèle du transporteur adaptés qualitativement et quantitativement<sup>15</sup>. En revanche, certains commissionnaires de transport ont saisi cette opportunité pour intégrer la chaîne de transport (achat de semi-remorques ou caisses mobiles et rôle d'opérateur de TC pour compte propre).

De plus, une fois l'organisation interne du transporteur routier adaptée au TC, il est difficile d'en changer à nouveau (investissement organisationnel spécifique), ce qui d'une part crée un lien de dépendance vis-à-vis du TC (dont ont profité les compagnies ferroviaires dans leur dynamique tarifaire) et d'autre part incite à rentabiliser cet investissement une fois consenti. D'où in fine une grande concentration des clients, les clients occasionnels ne faisant appel en Europe qu'au TC accompagné (route roulante, très marginale en France).

#### **3.3.2.2 Les services offerts par les sociétés UIRR :**

Au minimum sont assurés par l'opérateur de TC : l'interface commerciale pour le recours au TC, la prise en charge et la remise locales de l'UTI.

<sup>14</sup> Au moment de l'édition de ce mémoire, CNC a été rebaptisée Naviland Cargo.

<sup>15</sup> organisation du travail plus locale aux deux extrémités, ou nécessité d'assurer des coordinations avec des partenaires ; rotation de tracteurs plus importante à assurer aux extrémités pour assurer une bonne productivité, ce qui suppose aussi d'avoir, sur les trajets assurés par le TC, suffisamment de clients et des sens de trafic assez équilibrés.

Les sociétés UIRR assurent éventuellement le transport terminal ou la fourniture des wagons<sup>16</sup>, mais jamais la traction ferroviaire car il y a sous-traitance aux monopoles ou quasi-monopoles des compagnies ferroviaires nationales. Des tentatives ont eu lieu pour comprimer les coûts au maximum en offrant un service minimum<sup>17</sup> mais ce modèle n'a pas tenu car il était trop dissuasif pour les clients.

### **3.3.2.3 Face aux grands monopoles ferroviaires nationaux , la coopération des opérateurs de transport combiné rail-route à travers l'UIRR :**

Très fortement dépendantes des tarifs de traction ferroviaire, qui représentent la moitié du coût global environ, les sociétés UIRR ont tenté de se coordonner pour avoir plus de poids face aux compagnies ferroviaires et pour mettre en commun des informations détaillées, en tant que (quasi) monopoles nationaux coopérant entre eux pour l'international.

Les coopérations ont visé divers objectifs :

- pouvoir de négociation accru face aux (quasi) monopoles de traction ferroviaires
- réduction commune des incertitudes
- réduction des coûts de coordination (entre sociétés UIRR et vis-à-vis de la traction)
- coordination autour d'incitations positives du client final
- contrepoids à l'influence de la concurrence de ICF (Intercontainer-Interfrigo), soutenue par les tractionnaires.

Concernant le coût de la traction, l'UIRR estime que l'opacité des chemins de fer sur la formation des coûts a interdit toute démarche conjointe entre opérateurs de TC et tractionnaires pour optimiser ces coûts. La structure tarifaire a par contre été objet de nombreux débats, ainsi que le niveau.

## **4 Offre de services multimodaux et attitudes face au multimodal**

Les cas évoqués ci-dessus ont fait apparaître diverses caractéristiques importantes pour l'offre de services multimodaux, internes à l'offre ou en relation avec leur clientèle ou avec leur concurrence.

Il s'agit dans cette partie d'élargir ce type de considérations au-delà des zooms effectués, en introduisant une typologie de l'offre multimodale eu égard à son offre technique et à son positionnement vis-à-vis des clients, puis en fournissant quelques éléments d'information sur le positionnement de certains grands acteurs relativement au transport multimodal.

<sup>16</sup> cela dépend des pays : la DB les fournit mais Novatrans a son parc

<sup>17</sup> Kombiverkher dans les années 1980, dans une optique de coopérative d'achat discount

#### 4.1 *Eléments de diagnostic plus généraux et proposition de typologie*

##### **4.1.1 Eléments de diagnostic sur les services multimodaux**

Les études de cas ont porté sur des cas « non triviaux », non représentatifs des cas où le service multimodal a rapidement échoué ou au contraire connu le succès pour des raisons simples, peu intéressantes du point de vue théorique même si elles ont leur importance d'un point de vue opérationnel. Ces raisons simples peuvent être schématisées de la façon suivante.

Pour les raisons positives :

- clientèle très spécifique voire client unique, avec un partage des risques correct via un contrat spécifique
- base de clientèle pérenne suffisante pour assurer la viabilité pour une fréquence de service donnée
- savoir-faire et culture multimodale du concepteur du service multimodal
- approche par la logistique des clients.

Pour les raisons négatives :

- absence ou insuffisance de l'analyse de la demande
- investissement de départ trop sous-dimensionné
- non prise en compte des dynamiques d'acteurs ou du rythme d'adaptation
- absence de montage de coopérations en amont
- positionnement flou, ou positionnement trop offensif par rapport à des acteurs importants.

Les études de cas présentées indiquent diverses caractéristiques importantes des services de transport multimodaux. Tout d'abord, il s'agit d'investissements en général élevés, en raison de l'importance des coûts fixes des transports massifiés, et de la nécessité d'assurer une fréquence minimale face à la grande souplesse du mode routier concurrent. Pour autant, contrairement à un investissement industriel classique, investissement élevé ne signifie pas perspectives de gain élevées. Au contraire, la concurrence routière ne laisse pas espérer de larges profits. En outre, le risque associé à la création d'un service multimodal est important, d'autant qu'il repose à la fois sur un risque technique lié à la succession d'intervenants de la chaîne multimodale, et à des risques externes importants, portant sur les clients finals mais aussi sur la stratégie des intermédiaires de transport.

La lisibilité de la demande est d'autant moins grande que, à moins de disposer d'une base de trafic bien maîtrisée, ce qui est rare, la demande potentielle est hétérogène et nécessiterait pour être convenablement appréhendée des études de multiples filières de marchandises. En outre, un service de transport multimodal peut se positionner sur divers types de clients, sachant que ce choix de positionnement a un impact sur ses coûts et sur sa demande potentielle, mais aussi sur la modification des positionnements stratégiques de certains acteurs, qui peut influencer en retour sur leur attitude vis-à-vis du service. Il est difficile de raisonner en termes de courbe offre-demande classique pour ces services.

Le type de service et de clientèle peut être synthétisé très schématiquement selon le petit tableau suivant :

Positionnement	Service « maillon de transport »	Service « chaîne de transport »	Service « chaîne logistique »
Clients privilégiés	transporteurs routiers ou autres, commissionnaires de transport, armateurs, logisticiens	chargeurs directs, armateurs, commissionnaires de transport	grands chargeurs directs
Concurrents	transporteurs longue distance	transporteurs longue distance, commissionnaires de transport	logisticiens, commissionnaires de transport, armateurs, transporteurs longue distance
Adaptations	contrats privilégiés, incitations tarifaires, coopération avec des transporteurs routiers	limitation volontaire du démarchage, coopération avec des transporteurs routiers	études spécifiques à la logistique de gros clients

Plus le type de service offert est élevé, plus les coûts mais aussi la valeur ajoutée sont importants, plus la responsabilité et la maîtrise de la prestation globale relèvent de l'opérateur multimodal, plus le service est facilement accessible au client final, plus le travail d'interfaçage entre client et service multimodal est assuré par l'opérateur multimodal, et plus les acteurs passent de la liste des clients à la liste des concurrents.

On voit donc apparaître de fortes interactions, positives et négatives, entre les considérations de viabilité économique, les choix de positionnement dans l'espace des produits et les incitations stratégiques à utiliser le service multimodal par les divers types d'acteurs. Ces constats conduisent à accorder une grande importance aux considérations relatives à la dynamique des interactions stratégiques, ainsi qu'à la perception et la répartition des risques. Ces dimensions d'analyse paraissent importantes, tant pour la réflexion des promoteurs de services multimodaux que pour celle des entités publiques souhaitant mener une politique relative au transport multimodal.

#### **4.1.2 Eléments sur le transport routier**

Le choix d'une solution multimodale se fait en général, actuellement, comme un choix dérogatoire à la solution de référence, le transport purement routier. Il est donc utile de regarder comment le transport routier se positionne dans le rapport de forces entre acteurs du transport.

Les remous médiatiques autour du transport routier ont révélé que, si les actions médiatiques des salariés ou des transporteurs routiers démontrent une capacité de nuisance importante vis-à-vis du grand public et des pouvoirs publics, la réalité de leur positionnement quotidien dans la chaîne économique est au contraire une position extrêmement faible. A titre d'exemple, les manifestations des transporteurs routiers en novembre 2004 ont résulté en particulier de leur incapacité à pouvoir répercuter dans leurs prix les augmentations de coût dues, notamment, à la forte croissance des prix du carburant. De fait, l'interchangeabilité des prestataires, la large ouverture à la concurrence, créent des conditions favorables à un déséquilibre des relations entre prestataires routiers et donneurs d'ordre.

En pratique, les petits aléas intervenant dans la réalisation de la prestation sont essentiellement absorbés par les transporteurs sans espoir d'en recouvrer le coût, même si la cause de l'aléa leur est entièrement étrangère. Ainsi en est-il des attentes avant chargement de poids lourds ou des augmentations brusques de coûts divers.

Les chocs sur la demande sont moins évidents à observer, dans le contexte de croissance des trafics routiers. Mais il est clair que, le transport étant un service et non un produit stockable, les transporteurs routiers vont rechercher des relations contractuelles préférentielles. Cela peut leur permettre de diminuer le risque sur la demande et sur le retour sur investissement, mais bien entendu ces contrats sont remis en concurrence périodiquement. La réduction d'incertitude et la visibilité offertes par ces contrats restent donc de faible ampleur, d'autant que la différenciation de produits est peu envisageable en-dehors de quelques segments de marché. Par ailleurs, pour certains gros transporteurs, une autre façon de sortir de cette faiblesse stratégique peut être l'intégration d'autres fonctions que le transport pur (intermédiation, logistique, ...). Mais nous parlerons ici uniquement de transporteurs routiers « purs » pour simplifier.

En forçant un peu le trait, on pourrait dire que le transport routier, maillon faible stratégiquement parlant, encaisse les chocs et supporte les risques en premier rang. Si le choc est trop important et que l'entreprise disparaît, les conditions de concurrence font qu'elle peut être très rapidement remplacée. Ce rapport de forces déséquilibré se retrouve également au niveau de l'investissement<sup>18</sup> : les exigences de qualité des clients se conjuguent avec une pression extrêmement forte sur les prix.

## *4.2 Quelques éléments sur l'attitude de grands acteurs par rapport au transport multimodal*

### **4.2.1 Actions de la SNCF sur le multimodal**

Au-delà d'un discours général très favorable au développement du transport multimodal, les actions de la SNCF ne sont pas toujours très lisibles et sont même perçues par de nombreux acteurs comme contradictoires avec son discours général. Pourtant la SNCF investit dans le multimodal, par exemple au titre de l'expérimentation menée avec le dispositif Modalhor sur une liaison courte distance avec l'Italie.

Une des raisons du manque de lisibilité des actions de la SNCF en matière de rail-route réside dans l'opacité du monde ferroviaire, notamment en matière tarifaire. Vis-à-vis des ports, la SNCF n'a pas eu jusqu'ici une stratégie de coopération déterminée et systématique, contrairement à son homologue allemande. Vis-à-vis du fret et du rail-route, plus globalement, les récents changements radicaux de stratégie de la SNCF sont surtout perçus comme une volonté de sortir d'une situation chroniquement déficitaire, en optimisant l'offre avant tout, la demande devant s'adapter à l'offre optimisée sur de grands axes dotés de fréquences de desserte plus régulières, avec à la clef des augmentations de tarifs très importantes, sans pour autant garantir une amélioration du niveau de service. Certains clients sont las d'être considérés comme des clients captifs devant tout accepter.

<sup>18</sup> A noter que le contexte peut différer selon les pays : aux Etats-Unis, l'investissement en châssis pour conteneurs maritimes relève essentiellement des armateurs, pas des transporteurs routiers.

Il est trop tôt pour juger des conséquences des réorientations récentes de la SNCF, il reste à espérer que ce contexte stratégique nouveau permettra de dégager une vision du positionnement de la SNCF sur le multimodal qui serait claire, crédible, cohérente avec ses actions et pérenne, en partenariat avec un certain nombre d'acteurs qui n'attendaient que cela il y a encore quelques années.

#### **4.2.2 Actions de RFF sur le multimodal**

Les actions de RFF s'intègrent dans le cadre plus large du fret ferroviaire, qui bénéficie de tarifs et de conditions d'allocation de sillons relativement favorables par RFF, par rapport à ce que ferait un gestionnaire d'infrastructures uniquement préoccupé de sa rentabilité financière à court terme<sup>19</sup>. Des améliorations notables ont été relevées par les clients sur les allocations de sillon, notamment.

En ce qui concerne les investissements, le diagnostic est moins clair, mais il est vrai que la situation financière de RFF l'incite à limiter fortement ses engagements. Certaines réflexions sur les conditions de tarification des nouvelles infrastructures ont pu soulever des questions quant à leur caractère incitatif pour attirer de nouveaux trafics.

#### **4.2.3 Actions des ports et de VNF pour le multimodal**

Les ports ont longtemps cherché surtout à attirer les lignes maritimes, mais depuis une dizaine d'années plus particulièrement, le concept selon lequel « *les trafics se gagnent à terre* » s'est largement diffusé.<sup>20</sup> Beaucoup d'actions de lobbying ont eu lieu pour l'amélioration de la desserte terrestre des ports, et de multiples initiatives concrètes ont vu le jour, dont le cas LHS, évoqué plus haut, n'est qu'un exemple. Plus concrètement, les services de desserte bénéficient d'aides portuaires de natures diverses, que ce soit pour des acheminements maritimes, ferroviaires ou fluviaux, et les ports participent à la réalisation ou à l'amélioration de multiples infrastructures. Les ports ont notamment pris pied dans des structures communes multimodales. Le port autonome de Paris a conçu des tarifs de location d'entrepôts incitant à l'usage du multimodal.

VNF mène des actions multiples qui s'insèrent dans le cadre de sa politique de développement du trafic fluvial. Il mène notamment une action de lobbying intense pour inciter les ports maritimes à mieux traiter les barges fluviales.

---

<sup>19</sup> A noter que les missions de RFF, telles qu'elles sont précisées par décret, couvrent explicitement des éléments multimodaux, à travers les voies ferrées des quais des ports maritimes et de navigation intérieure.

<sup>20</sup> Cela est dû, d'une part, à la forte concurrence entre armateurs pour les transports intercontinentaux, qui les amène à être très réceptifs aux considérations de desserte terrestre, afin d'être globalement plus compétitifs ou pour générer plus de valeur ajoutée. Les armateurs ont de moins en moins de raisons de rester fidèles à leurs « ports historiques ». D'autre part, l'importance des questions de coût, délai et qualité de l'acheminement terrestre s'est très largement accrue par rapport à un transport maritime relativement performant et peu coûteux.



#### **4.2.4 Actions des armateurs pour le multimodal en France<sup>21</sup>**

Au-delà des tentatives de certains armateurs pour ouvrir des lignes de cabotage maritime, avec plus ou moins de succès, et du soutien régulièrement affiché par l'instance représentative des armateurs (Armateurs de France), il faut bien noter que les armateurs sont à l'origine d'une grande part des initiatives récentes d'ouverture de services multimodaux.

Outre l'ouverture récente d'une ligne maritime entre la France et l'Italie alternative à un axe routier surchargé, qui résulte d'une coopération entre un armateur français et un armateur italien (Louis Dreyfus et Grimaldi), il faut mentionner la stratégie de CMA-CGM, armateur français de trafic conteneurisé qui se classe cinquième au plan mondial. CMA-CGM développe des services multimodaux qui servent à l'acheminement d'une partie de ses trafics portuaires, mais sont ouverts largement à d'autres utilisateurs, par des filiales spécialisées dotées d'une certaine autonomie commerciale.

#### **4.2.5 Actions de chargeurs pour le multimodal**

On peut observer une certaine tendance à rechercher plus souvent des solutions de transport multimodales, notamment dans les grandes entreprises industrielles ou de distribution. Cela peut être en lien avec le développement d'une politique environnementale plus globale, ou, de façon moins altruiste, en vue de contribuer à bâtir une image plus positive de l'entreprise.

L'exemple d'Ikea, qui s'est lancé dans le transport multimodal pour compte propre, a montré que des initiatives volontaristes pouvaient voir le jour. Malheureusement, les difficultés pour équilibrer ce concept logistique, dans ses conditions de mise en œuvre, notamment au plan du coût et des équilibres des flux, l'ont conduit à abandonner cette initiative novatrice. Mais d'autres exemples d'innovations, portant sur des navires ou des équipements de manutention, par exemple, sont à porter au crédit de chargeurs<sup>22</sup>.

---

<sup>21</sup> Le positionnement des armateurs par rapport au multimodal sera approfondi à la fin des chapitres II et III.

<sup>22</sup> Ce type d'initiative s'insère dans des coopérations techniques internationales avec des acteurs du transport. A titre d'exemple illustratif : Carmel, entreprise basée à Tel-Aviv qui exporte des produits agricoles, a affrété en 2004 deux nouveaux navires reliant Ashod et Marseille en gagnant une journée sur le voyage grâce à un concept de navire innovant (développé avec des architectes navals allemands) et en quadruplant la productivité de la manutention grâce à des équipements de manutention spécifiques (développés avec un manutentionnaire français). Ces navires « sur mesure » ont permis de capter des trafics tiers, réduisant ainsi les coûts d'exploitation.

## **5 Synthèse du chapitre et sélection des pistes de recherche**

Nos tentatives de quantification du transport multimodal de marchandises ont montré la pauvreté croissante des données disponibles et mis en évidence le rôle de nœud d'information joué par certains acteurs, qui font une utilisation stratégique de leur information. Les ordres de grandeur obtenus montrent que l'importance réelle de ces trafics est sous-estimée, et qu'une prise en compte convenable de ces trafics conduit à réaliser que la part prise par les échanges internationaux et le transit sur le territoire français est plus importante que les chiffres modaux le laissent paraître. Ces défauts et distorsions du système d'observation actuel conduisent, d'une part, à biaiser les projections de trafic à long terme et, d'autre part, à déformer la visibilité sur le potentiel réel des transports multimodaux.

A travers des études de cas et des analyses de stratégies et de discours de certains grands acteurs, l'analyse qualitative a montré que les schémas simples de représentation offre/demande communément utilisés dans la littérature économique théorique et dans son application pouvaient poser problème dans le cas du transport multimodal de marchandises. Ce constat dépasse largement les cas triviaux de manque flagrant de prise d'information sur la demande, de manque de préparation avant lancement de produit nouveau ou autres erreurs notoires, qui sont malheureusement assez souvent rencontrées dans les lancements de services multimodaux de transport.

D'une part, on peut difficilement considérer l'offre de transport multimodal comme un produit fini laissé au libre choix d'un acheteur raisonnant selon un « coût généralisé de transport », cela doit plutôt s'interpréter en termes de « service-système ». Entre le client final du service de transport physique et le prestataire de service physique principal du transport interviennent divers intermédiaires, qui s'occupent essentiellement des aspects informationnels et organisationnels du service, en coordination avec le service informationnel et organisationnel du client. Ces intermédiaires peuvent avoir à la fois un pouvoir de décision, un positionnement stratégique fort et des intérêts individuels non nécessairement alignés avec ceux du client final.

D'autre part, l'offre de référence, le transport routier, présente une intégration complète du service de transport physique, voire de ses interfaces terminales, et une grande standardisation technique, tout en étant cependant le maillon stratégiquement faible de la chaîne de services, ce qui le conduit à encaisser de front les chocs aléatoires impactant la chaîne de services, voire à devoir supporter des investissements spécifiques. Les autres membres de la chaîne sont donc habitués à un rapport stratégique confortable pour eux, et à reporter au maximum la réalisation des incertitudes sur les prestataires routiers, qui sont largement interchangeable. En outre, comme le transport routier constitue la référence, cela crée des points focaux, en termes de prix, de niveau de service (fiabilité, délais, ), mais aussi de positionnement relatif des acteurs, et d'acceptation du « risque habituel »<sup>23</sup>.

Par contraste, le transport multimodal implique bien entendu un nombre de prestataires plus élevé, parfois très élevé, d'où des problèmes classiques de coordination technique, de fluidité de la chaîne, de délais et coûts de coordination. Ce volet classique est assez largement étudié par ailleurs, et constitue l'activité de certains acteurs spécialisés, aussi il ne sera pas traité dans le cadre de cette thèse.

---

<sup>23</sup> De même que, selon l'exemple bien connu, « personne n'a jamais été licencié pour avoir connu un échec en choisissant IBM plutôt qu'un concurrent moins connu ».

La question du positionnement stratégique du transport multimodal, susceptible de se substituer à un transport routier, paraît à la fois plus nouvelle et intéressante. La grande richesse des interactions entre acteurs sur une chaîne complexe comme celle du transport multimodal de marchandises pourrait donner lieu à de multiples thèmes d'étude théoriques. Il s'agit ici d'en sélectionner certains, sans se lancer dans une démarche exhaustive. Au vu des analyses menées dans ce chapitre, certaines questions ont été rencontrées à diverses reprises :

- la gestion du risque technique et commercial, en phase de démarrage et en régime de croisière, et les investissements conjoints nécessaires par divers acteurs
- l'enjeu stratégique du recours au transport multimodal (adaptations et investissements spécifiques, disponibilité d'une solution de transport alternative)
- la conservation ou non du rôle de « maillon stratégiquement faible » traditionnellement dévolu au transport routier
- l'intégration de la chaîne physique de transport, qui implique une prise d'information sur les aspects informationnels et organisationnels.

Ces questions sont assez étroitement interdépendantes, et couvrent un champ très large. Aussi dans les chapitres suivants nous nous concentrerons sur certaines d'entre elles, en utilisant des cadres théoriques simples permettant de rendre compte de certains aspects de façon « artificiellement » isolée, sans prétendre ni à l'exhaustivité ni à la généralité des modèles théoriques utilisés.

Plus précisément, nous retiendrons les problématiques de gestion du risque dans le cadre du chapitre II. Ce chapitre sera centré sur les modalités de choix individuel indépendant en situation risquée, avec un petit modèle permettant d'analyser les principaux types d'actions de gestion du risque, prévention ou assurance. Ce choix est justifié, au-delà de la fréquente apparition de ces questions dans les analyses préalables, par la faible prise en compte de ces questions dans les études relatives au transport. Souvent, ces études se contentent, au mieux, d'aborder le risque pour un acteur, l'opérateur de transport ou le gestionnaire d'infrastructures, et uniquement à travers des scénarios de demande différenciés ou des analyses de sensibilité.

Dans le chapitre III, nous laisserons de côté le risque tout en passant du choix individuel isolé aux choix susceptibles d'interagir. Ce chapitre utilisera deux petits modèles de concurrence en oligopole permettant de représenter le choix, pour un intermédiaire de transport, entre utilisation du mode routier et d'un service multimodal. Par contraste, les évaluations de projets de transport s'intéressent essentiellement au client final et n'abordent pas les interactions concurrentielles.

Enfin, le chapitre IV abordera plus précisément la question de l'action publique dans le domaine du transport multimodal de marchandises. Les actions publiques relatives au transport multimodal de marchandises, de par la multiplicité de leur nature, peuvent influencer non seulement les paramètres de décision des divers acteurs, notamment en termes de coût, mais également leurs prises de risque et leurs positionnements stratégiques. Nous montrerons qu'une action, même si elle se veut limitée à agir sur un paramètre, peut influencer également sur la nature et l'ampleur des incertitudes, et changer les conditions de leur répartition le long de la chaîne des intervenants. En ce sens une bonne gouvernance se devrait d'anticiper des effets de nature systémique et ne devrait pas se limiter à des représentations « mécanistes » de l'impact de ses actions.

## **6 ANNEXE :**

### **Détail des estimations quantitatives des trafics multimodaux de marchandises**

#### **6.1 Ordres de grandeur**

En l'absence, au plan national, de recueils de données correctement structurés pour permettre la mesure des trafics multimodaux, il faut procéder par recoupements et par extrapolations afin d'obtenir des ordres de grandeur permettant d'avoir une vision un peu globale des trafics multimodaux.

Les relevés modaux faussent la réalité de façon importante :

- sous-estimation de la nature internationale des trafics (notamment des trafics de transit)
- sous-estimation de la nature multimodale des plates-formes
- surestimation des tonnages de marchandises réellement transportés.

Il nous faut cependant partir de ces statistiques modales faute de mieux. On retiendra en général deux chiffres significatifs pour les quantités analysées, tout en sachant que cette précision apparente est illusoire. Commençons tout d'abord par le mode qui capte la majeure partie des tonnages transportés à longue distance, le mode maritime.

##### **6.1.1 Le mode maritime**

Les statistiques portuaires détaillées les plus récentes disponibles indiquent que 346 millions de tonnes ont été comptabilisées comme passant via les ports français en 2002<sup>24</sup>.

Sur ces 346 millions de tonnes, 29 sont comptabilisées au titre du cabotage intra-national, dont 17 sont déchargées et 12 chargées. Cette dissymétrie s'explique, entre autres, par l'existence de flux mer/ port comme l'extraction de granulats en mer, mais aussi par des problèmes techniques de recueil. On retiendra donc que, en cabotage national, 12 millions de tonnes circulent entre deux ports français, comptabilisées deux fois (au chargement et au déchargement) et 5 ne font qu'y entrer.

Les tonnages comptabilisés au titre du transport international étant de 317 millions de tonnes, la part de transit est estimée par les ports à 48 millions de tonnes pour 2002. Ces 48 millions de tonnes se décomposent en 14 millions de tonnes transbordées de navire à navire, et 34 transitant par voie terrestre. Il faut diviser par deux les transbordements mer-mer, ceux-ci étant comptés comme entrée puis comme sortie de marchandises. Il reste donc en flux physiques de transit 41 millions de tonnes.

Au sein de ces 41 millions de tonnes, il convient de distinguer les tonnages comptabilisés différemment selon les modes de transport empruntés : le poids des véhicules routiers, principalement. Ces derniers concernent essentiellement le trafic transmanche en transit, on estimera le poids à vide des véhicules routiers à 9 millions de tonnes.

---

<sup>24</sup> Annuaire statistique détaillé 2002 établi par la DTMPL du METATM.

Examinons maintenant les 269 millions de tonnes (M tonnes) comptabilisées au titre des échanges extérieurs de la France. Distinguons les échanges de produits pétroliers (154 M tonnes dont 17 comptées en transit, soit 137 M tonnes, à quoi il faudrait retrancher les produits pétroliers en cabotage, estimés à 6 MT, soit un solde de 131 M tonnes). On peut estimer le poids des véhicules routiers, pour 8 M tonnes environ. Reste un poids net hors produits pétroliers de l'ordre de 130 millions de tonnes.

Voyons maintenant l'acheminement terrestre des trafics passant par les ports français. Nous ferons tout d'abord l'hypothèse simplificatrice selon laquelle les trafics de vracs liquides acheminés par voie terrestre hors oléoducs et gazoducs, sont d'un ordre de grandeur voisin des trafics de vracs solides et marchandises diverses destinés à des générateurs situés près des quais portuaires.

A partir d'hypothèses sur les distances moyennes de transport, obtenues par recoupements de diverses sources comme le détail par pays de destination fourni dans les statistiques portuaires détaillées, ou des informations spécifiques sur certains trafics importants, on obtient à partir des estimations en tonnage ci-dessus les ordres de grandeur suivants en milliards de tonnes km (G tonnes km), pour les acheminements terrestres hors oléoducs et gazoducs :

- acheminement terrestre des trafics de transit international : 6 G tonnes km
- acheminement terrestre des trafics d'échange : 20 à 25 G tonnes km
- acheminement terrestre des trafics de cabotage national : 1 G tonnes km.

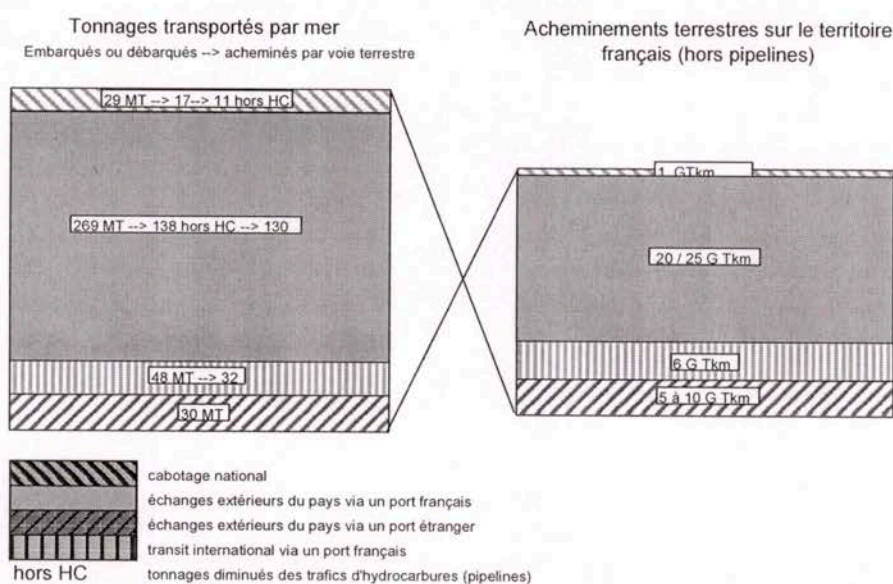
On aboutit donc à une trentaine de milliards de tonnes km, pour 170 millions de tonnes réellement acheminées par voie terrestre, hors gazoducs et oléoducs.

Examinons maintenant deux sources d'estimation des acheminements terrestres des ports français. L'une correspond à une estimation faite en 2000 par la DTMPL lors de la préparation des schémas de services collectifs de transport. Elle estimait ces acheminements à un peu plus de 40 G tonnes km, dont 30 G par la route (pour 150 M tonnes acheminées), 12 G par le rail (28 M tonnes) et moins de 1G en fluvial et fluvio-maritime (2 M tonnes).

La seconde source est plus récente, il s'agit de l'estimation des acheminements terrestres des trafics passant par les principaux ports français en 2000, représentant 85% du trafic des ports français métropolitains, réalisée en 2004 par le SES dans le cadre des « Indicateurs de suivi des axes et pôles stratégiques de la politique de transport », travail qui fait suite aux démarches engagées à l'occasion des schémas de service collectifs de transport. D'après cette seconde source, qui donne uniquement des tonnages et non des parcours en tonnes km, les trafics de transbordement des six plus gros ports français en tonnage représenteraient 30 M tonnes, les trafics liés aux transformations locales (sur site portuaire) seraient de 24 M tonnes, et les trafics acheminés par voie terrestre représenteraient 240 M tonnes. Au sein de ces derniers, les acheminements ferroviaires, fluviaux, routiers et par oléoducs ou gazoducs seraient respectivement de 42, 13, 99 et 86 M tonnes.

On peut observer à ce stade qu'il y a convergence des sources en ce qui concerne le tonnage total transporté par voie terrestre hors oléoducs et gazoducs. Si on extrapole la seconde source sur l'ensemble des ports métropolitains, on obtient un ordre de grandeur de 180 millions de tonnes. Par contre, la répartition entre les divers modes d'acheminement est nettement différente. Nous reviendrons plus loin sur ces divergences en tentant une estimation de ces acheminements.

Pour compléter l'analyse, il convient de souligner qu'il existe également des trafics d'échanges extérieurs de la France, et des trafics transitant simplement par la France, arrivant par voie maritime dans des pays voisins et acheminés par voie terrestre. Ces trafics peuvent également donner lieu de façon privilégiée à des acheminements terrestres non routiers. Le dispositif statistique actuel ne permet pas d'identifier ces trafics de transit, ils se retrouvent intégrés aux trafics de transit, routier ou ferroviaire, comptabilisés dans les statistiques de ces modes. Pour les trafics d'échange, la source douanière fournissait jusqu'en 1992 des éléments très importants, mais leur qualité n'a cessé de se dégrader depuis. Les dernières estimations retranscrites par la DTMPL sont de l'ordre de 30 millions de tonnes, ce qui correspond à l'ordre de grandeur de l'indicateur, symétrique, des trafics de transit international passant par un port français et acheminés par voie terrestre.



Voyons maintenant les trafics ferroviaires, en nous référant toujours à l'année 2002.

### 6.1.2 Le mode ferroviaire

Le total transporté par rail en 2002 est de l'ordre de 128 millions de tonnes représentant 50 milliards de tonnes km, selon les statistiques SNCF. Une partie de ces trafics constitue un acheminement terrestre de trafics maritimes ou implique des chaînes intermodales rail-route, une partie peut relever du multimodal aérien-rail (messagerie essentiellement) et certains trafics ponctuels relèvent de chaînes rail-fluvial. En France, le rail flottant (trains à bord de navires) a disparu, ce qui n'est pas le cas en Europe, même s'il est maintenant extrêmement réduit (liaison Sassnitz (Allemagne) / Klaipeda (pays baltes)).

Nous nous intéresserons aux deux premiers types de trafics multimodaux empruntant le rail, qui représentent l'essentiel de ces tonnages et parcours. Ces deux types de trafic ne sont d'ailleurs pas exclusifs l'un de l'autre, il existe un trafic important de conteneurs acheminés par voie maritime puis par rail-route en desserte terrestre.

Voyons tout d'abord le transport combiné rail-route. Il s'agit d'une partie des trafics multimodaux empruntant le rail et la route, ceux effectués en UTI (unités de transport intermodal) : conteneurs, caisses mobiles, semi-remorques, voire même en PL complets pour « la route roulante ». Les trafics rail-route n'utilisant pas des UTI ne sont pas actuellement identifiés dans les dispositifs publics d'observation statistique.

Selon les estimations effectuées par JONCTION/CRET-LOG pour le compte de l'ADEME, les ordres de grandeur sont en France de 1,4 millions d'EVP transportés en 2002 dont 40% en international, soit environ 13,4 milliards de tonnes x km (26% du trafic de fret ferroviaire ou 4% du trafic de fret effectués sur le territoire français, exprimés en tonnes x km), en stagnation depuis 1997/1998 après une croissance soutenue dans les années 1990. Sur la même période, les trafics ferroviaires conventionnels sont en net recul, avec un soubresaut en 2000. A noter que la part des trafics internationaux en rail-route paraît incertaine (chiffrée à 40%, puis à 59% quelques pages plus loin).

Les statistiques UIC, parues plus récemment, corrigent les trafics SNCF rail-route pour 2002 à 12,4 milliards de tonnes x km au lieu de 13,4, pour un fret ferroviaire de 50,0 contre 51,1 milliards de tonnes x km. La différence pourrait être due à une surestimation initiale, mais aussi aux modalités de comptabilisation des trafics Eurotunnel ou des trafics de messagerie. Il faut noter également que la diversité des unités de mesure utilisées rend difficile les comparaisons et croisements de données : l'UIC comptabilise des envois, Novatrans parle de véhicules dans ses rapports d'activité, et la CNC exprime ses trafics en EVP (« équivalent vingt pieds », unité de mesure correspondant à un type de conteneur de référence).

En Europe, la même source JONCTION/CRET-LOG estime que 6,3 MEVP ont été transportés dont 60% en international en nombre d'envois<sup>25</sup> (75% en tonnes x km), en croissance soutenue sur la décennie 1989-1998, en très faible croissance entre 1998 et 2002.

Cette étude distingue les techniques utilisées en Europe (caisse mobile ou conteneur pour 72,6 %, route roulante pour 20,6% et semi-remorque pour 6,8 %) ainsi que les trafics des principaux opérateurs en France. Pour les deux principaux, Novatrans réalise 408.000 envois en 2002 contre 371.000 pour CNC.

L'étude mentionne que, dans le contexte de baisse globale des trafics CNC ces dernières années, l'activité conteneurs maritimes et assimilés de CNC affiche une croissance soutenue (+ 7%), en lien avec le succès des services mis en place en 2002. Elle constate sur cette période une synergie positive entre trafics maritimes et ferroviaires, le ferroviaire arrivant à profiter un peu de la croissance toujours soutenue du transport maritime de conteneurs.

Il faut noter, là aussi, que le poids à vide des véhicules routiers transportés est compté dans ces indicateurs, de même que le poids à vide des conteneurs. Pour les trafics réalisés en France, on peut estimer le poids à vide des véhicules routiers à travers les rapports d'activité de Novatrans ou les statistiques UIRR, en faisant une hypothèse sur la valeur du ratio moyen poids à vide / poids total du véhicule chargé.

---

<sup>25</sup> Envoi « commercial », correspondant à un contrat de transport

En ordre de grandeur, on aboutit à 4 millions de tonnes, ce qui indique que, pour raisonner en termes de marchandises (incluant la tare de conteneurs) les ordres de grandeur du rail-route (19 millions de tonnes et 12 milliards de tonnes km, UIC) devraient être diminués d'environ 20%.

Les statistiques UIC comportent, en théorie, des indicateurs relevant d'une approche multimodale. Elles distinguent par exemple au sein des exportations et au sein des importations, celles réalisées par un point frontière terrestre. De même, le transit international est réparti selon les catégories « entre deux points frontières terrestres », « entre un point frontière terrestre et un port », « entre un port et un point frontière terrestre » et « entre deux ports ».

Pourtant au vu des chiffres fournis, la DB n'affiche aucune tonne transportée en dehors des points frontières terrestres<sup>26</sup>, de même que la FS et la RENFE. A croire que pas une seule tonne des trafics considérables des ports allemands, néerlandais, espagnols et italiens ne se retrouve sur le rail, contrairement aux déclarations de ces mêmes ports. Par contre SNCB, SNCF et quelques autres jouent un peu plus le jeu. Cependant, pour la SNCB, les trafics captés par Anvers (voire Rotterdam) via la Belgique par voie ferroviaire, seraient d'environ 7,5 millions de tonnes (dont 4 en transit international). Pour la SNCF, seulement 11 millions de tonnes (sur 44 M tonnes présentées comme intéressant le commerce extérieur de la France et utilisant le ferroviaire) passeraient par un port, et environ 3 millions sur 12 pour le transit international.

Notons cependant qu'en 1999, à l'occasion des études d'élaboration des schémas de services collectifs de transports, la SNCF estimait l'ordre de grandeur des acheminements ferroviaires des ports français à 6,8 milliards de tonnes x km, ce qui si les chiffres SNCF étaient cohérents indiquerait une très forte baisse de ces acheminements en 4 ans, alors que les trafics portuaires ont continué à croître sur la période, et que leurs dessertes ferroviaires pour les conteneurs ont connu une dynamique de croissance (voir ci-dessus la remarque sur les trafics CNC dans l'étude faite pour l'ADEME). Les estimations SNCF avaient cependant été faites de façon plus détaillée pour le transport combiné rail-route à partir des gares portuaires, et là les estimations ferroviaires et portuaires se rejoignaient en ordre de grandeur, autour de 2 milliards de tonnes x km.

### **6.1.3 Le mode fluvial**

Le mode fluvial peut s'intégrer à des chaînes empruntant le mode maritime, et également le routier ou le ferroviaire. En-dehors des colis lourds ou de quelques trafics très spécifiques, c'est le multimodal maritime/fluvial qui représente l'essentiel des trafics. En outre, il est encore plus difficile d'obtenir des éléments sur les trafics fluvial/route et fluvial/ferroviaire, qui ne sont pas mesurés. Aussi l'on ne s'intéressera ici qu'au maritimo/fluvial.

Le rapport VNF (janvier 2000) sur les perspectives d'augmentation des trafics fluviaux à horizon 2002 donne les éléments suivants :

---

<sup>26</sup> A noter que la DB a été condamnée il y a quelques années pour avoir trop favorisé les ports allemands.



### Trafics fluviaux dans les principaux ports maritimes en 1998

	Acheminement fluvial	Part de marché du transport fluvial
Le Havre	2,4MT	4%
Rouen	1,9MT	13%
Dunkerque	1,5MT	4%
Marseille	0,6MT	< 1%
Sète	0,1MT	-
Rotterdam (1)	4,3MT (2)	50%
Anvers (1)	2,3MT	40%

(1) de / vers Nord - Pas-de-Calais / Lorraine / Alsace

(2) dont 2,4MT de charbons et minerais importés vers la Lorraine

Ces éléments peuvent être comparés à l'étude SES sur les acheminements portuaires, citée plus haut. Une synthèse récente a également fourni des estimations pour l'année 2004 (revue Navigation, Ports et Industries de mars 2005, p.122). On aboutit respectivement aux trafics mer/fluvial suivants : 13 millions de tonnes (base 2000) contre 11,4 (base 2004) et 6,5 (1998) pour VNF. Une explication partielle sur ces écarts importants réside dans les trafics du port de Nantes Saint Nazaire, pour 1,5 millions de tonnes, qui ne sont pas mentionnés dans l'étude VNF. L'essentiel de ce tonnage se résume à des trafics de courte distance, entre Donges et Cordemais. Il est possible que d'autres trafics dans ce tableau portent sur de courtes distances. L'indicateur représentatif serait plutôt le parcours en tonnes km. En outre, il n'est pas dit que ces trafics puissent être additionnés. Ainsi, les trafics échangés entre Le Havre et Rouen, en conteneurs par exemple, peuvent être comptabilisés par chacun des deux ports.

#### 6.1.4 Recalage des estimations :

Certaines sources portuaires fournissent des éléments détaillés. Ainsi, le port autonome du Havre affiche des parts d'acheminements modales très détaillées :

PORT DU HAVRE						
TRAFFIC PAR MODE DE PRE/POST						
ACHEMINEMENT						
			Année 2003		Année 2002	
			en Mt	en %	en Mt	en %
<b>Trafic Total (hors avitaillement)</b>			71,5	100,0%	67,7	100,00%
<b>Pipe Line</b>			40,3	56,4%	37	54,7%
	dont pétrole brut		34,9	48,8%	31,9	47,1%
	dont produits raffinés		5,4	7,6%	5,9	8,7%
<b>Transbordement</b>			7,3	10,2%	5,6	8,3%
	dont conteneurs		6,6	9,2%	5,2	7,7%
	dont pétrole brut		0,3	0,4%	0,4	0,6%
	dont charbon		0,4	0,6%		
<b>Rail</b>			3,9	5,5%	4,4	6,5%
<b>Voie d'eau</b>			3,1	4,3%	2,6	3,8%
<b>Route et zone portuaire</b>			16,9	23,6%	17,3	25,6%

Pré et post acheminement des conteneurs en EVP						
	total	Transbordements maritimes	Hinterland	Rail	Voie d'eau	Route et local
2002	1 720 459	453 633	1 266 826	148 009	37 191	1 081 626
2003	1 984 542	604 243	1 380 299	138 056	67 636	1 174 607
Evolution 2002/2003	15,3%	33,2%	9,0%	-6,7%	81,9%	8,6%
(1) "route & local" = "hinterland" - ("rail" et "voie d'eau")						
(2) estimations						

Ces tableaux montrent la chute des acheminements ferroviaires, notamment pour le trafic conteneurs qui est le segment portuaire le plus dynamique : la part du rail s'y établit en 2003 à 10% (en excluant les transbordements maritimes de conteneurs), alors que la voie d'eau progresse au contraire à 5%. Hors transbordements maritimes et transports en pipelines, la part modale du rail descend en 2003 à 16% alors qu'elle monte à 13% pour le fluvial.

En comparant et analysant les différences entre les diverses sources nationales et locales citées ci-dessus, ainsi que d'autres, plus confidentielles, on aboutit en définitive, avec les multiples imprécisions évoquées ci-dessus, aux estimations suivantes pour le transport multimodal réalisé sur le territoire français :

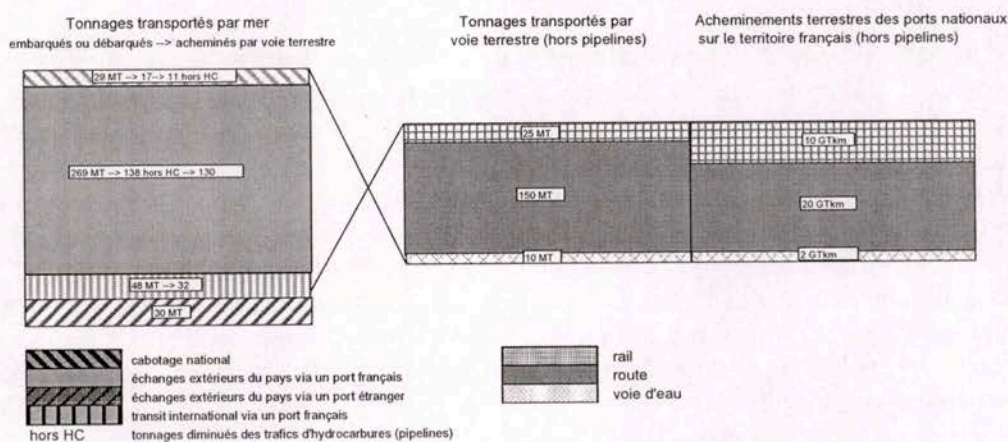
- mer/rail : une dizaine de milliards de tonnes x km dont de 2 à 3 pour l'intermodal conteneurisé
- mer/fluvial : 2 milliards de tonnes x km dont environ 0,2 pour le transport intermodal conteneurisé
- rail/route : une douzaine de milliards de tonnes x km pour le transport intermodal rail-route (trajet ferroviaire) et 1 milliard pour le transport routier terminal
- mer/route : une vingtaine de milliards de tonnes x km.

Il conviendrait de mentionner le transport mer/mer, dans la mesure où il permet d'éviter des reports sur la route pour le transport terminal<sup>27</sup>, qui est estimé à 2 milliards de tonnes km, ainsi que le transport fluvio-maritime<sup>28</sup>, de l'ordre de 0,3 G tonnes km.

Rappelons que les estimations des acheminements portuaires excluent les vrac liquides acheminés par oléoducs et gazoducs.

<sup>27</sup> Les stratégies de concentration sur des ports principaux, essentiellement pour les conteneurs, pourraient s'accommoder de dessertes secondaires terrestres. Ce sont des questions de coût, de culture maritime et probablement de volonté de maîtrise des acheminements qui guident les armateurs vers les logiques de « feederisation » (lignes maritimes de courte et moyenne distance, reliant ports principaux et ports « secondaires »).

<sup>28</sup> Assuré par des petits navires aptes à naviguer en mer comme à remonter les fleuves, desservant ainsi en profondeur le territoire sans nécessiter de transport routier. Ce trafic se développe notamment avec le bassin méditerranéen et avec les pays à façade maritime de l'est de l'Europe et la Russie.



En outre, il conviendrait de prendre en compte les acheminements terrestres sur le territoire français relatifs aux échanges extérieurs effectués via un port étranger, que l'on peut très grossièrement estimer à 2 ou 3 G tonnes km en mode ferroviaire, autant en fluvial et un peu plus en routier.

Il conviendrait également de comptabiliser les trafics multimodaux purement terrestres empruntant le ferroviaire (non identifiables à ce jour).

	Parcours par mode de transport (G Tkm)			
	mer	rail	voie navigable	route
<b>Acheminement terminal des trafics maritimes *</b>	2	10	2	20
<b>Rail-route</b>		12 **		2
<b>Fluvio-maritime</b>			0,3	

\* ports nationaux uniquement

\*\* dont 2 G tonnes km en acheminement de trafics de ports nationaux.

Ces trafics sont à rapporter aux ordres de grandeur des trafics globaux par mode terrestre, qui sont de l'ordre de 260 milliards de tonnes x km pour le transport routier par poids lourds, 50 pour le transport ferroviaire et 7 pour le fluvial.

**Les acheminements multimodaux non routiers permettent donc actuellement d'éviter plus de 10% de transports supplémentaires par poids lourds. Et les acheminements routiers terminaux des trafics multimodaux (essentiellement constitués des acheminements de trafics maritimes de longue distance) représentent de l'ordre de 10% des trafics routiers actuels de poids lourds.**

Il faut noter que ces estimations ne prennent en compte le cabotage maritime d'échange passant par un port français qu'à travers ses transports terminaux en France, alors que ce cabotage maritime évite sur son trajet principal des transports routiers supplémentaires, sur le réseau français et européen. Ces estimations n'incluent pas non plus le cabotage maritime de transit ne passant pas par un port français.

Or ces types de cabotage maritime ont des parts de marché comparables et parfois supérieures à la route sur des trajets longue distance (exemples : sur la coupure des franchissements pyrénéens, la part du maritime est de 49%, supérieure à celle de la route qui est de 47%<sup>29</sup>). Ces trafics n'ont pas été inclus car leur analyse aurait supposé l'accès à des sources internationales détaillées (trafics Benelux ou Europe du Nord / Péninsule ibérique par mode de conditionnement, par exemple) et car les vracs liquides y sont souvent fortement présents. Ces indications confirment cependant que, sur les trafics de longue et très longue distance, le pourcentage des trafics routiers évités par les chaînes multimodales est nettement plus élevé que les 10% globaux cités ci-dessus. Ces trafics longs sont plus adaptés ou plus adaptables aux solutions multimodales, qui peuvent alors parfois faire jeu égal voire dominer la route en parts de marché.

## 6.2 Comparaison des tendances d'évolution

La tendance générale en ce qui concerne le trafic multimodal mer/fer s'est traduite par une augmentation au cours des années 1990, un point culminant au début des années 2000, et une chute importante ces dernières années. Pour le multimodal mer/fluvial, c'est une tendance de croissance depuis une dizaine d'années, qui profite d'une partie des trafics sortis du mer/fer, notamment en ce qui concerne les acheminements de conteneurs qui croissent très fortement, tant sur la Seine que sur le Rhône.

Pour le trafic multimodal mer/mer, après avoir stagné à un bas niveau depuis le début des années 1990, il a repris une forte croissance depuis 4 ou 5 ans, notamment en raison de l'évolution de la politique du port du Havre en faveur de la feederisation<sup>30</sup>.

Le trafic rail/route, après une bonne progression dans les années 1990, a eu tendance à stagner puis à chuter fortement ces dernières années.

---

<sup>29</sup> « Indicateurs de suivi des axes et pôles stratégiques de la politique de transport », rapport d'initialisation et de synthèse, METATM/DAEI, sept 2004, p.96

<sup>30</sup> Il s'agit, pour le trafic conteneurisé, du développement de lignes maritimes « secondaires » en correspondance avec des lignes maritimes transcontinentales, utilisant des portes-conteneurs plus petits appelés « feeders ». Les termes techniques sont explicités dans le glossaire figurant en annexe.





## Chapitre II

### Comportement de prévention, assurance et degré d'aversion au risque

L'analyse menée dans le premier chapitre a permis de dégager diverses questions, pertinentes à la fois d'un point de vue pratique et théorique, relatives au transport multimodal susceptible de se substituer à un transport routier :

- la gestion du risque technique et commercial, en phase de démarrage du service multimodal et en régime de croisière, et les investissements conjointement nécessaires pour divers acteurs
- l'enjeu stratégique du recours au transport multimodal, pour un client
- la conservation ou non du rôle de « maillon stratégiquement faible » du prestataire d'exécution du transport physique
- l'intégration plus spécifique de la chaîne physique de transport multimodal avec les systèmes logistiques des clients, qui implique une prise d'information sur les aspects informationnels et organisationnels.

Ces questions, assez étroitement interdépendantes, touchent fortement au comportement de choix dans le risque, ce qui paraît assez naturel s'agissant de l'adoption d'une option technique nouvelle.

Une idée intuitive pourrait être que, toutes choses égales par ailleurs, les premiers adoptants sont ceux qui sont a priori moins averses au risque.<sup>1</sup> Mais il serait utile de distinguer les termes du choix risqué, en tenant compte des questions listées ci-dessus, et de disposer d'un modèle simple apte à tester des variations de degré d'aversion au risque, afin d'identifier les impacts de ce type de paramètre et d'estimer, au moins qualitativement, les divergences éventuelles entre la décision individuelle de prévention et l'optimum collectif.

Aussi le présent chapitre introduira un modèle très simple, utilisable à des fins de statique comparative et, le cas échéant, de considérations normatives.

La première partie du chapitre passe en revue divers acteurs concernés par le transport multimodal, à propos de la nature et de la perception des risques, en faisant ressortir des éléments dont une représentation pourrait être recherchée à travers le modèle théorique de choix.

La seconde partie expose le modèle retenu, et établit certaines propriétés éclairant les conditions du choix. On y distinguera deux types de choix de prévention, et les situations de l'agent assuré et de l'agent non assuré seront examinées, avec des éléments de statique comparative.

La troisième partie reviendra sur des considérations plus appliquées aux services multimodaux de transport.

---

<sup>1</sup> Il est cependant bien connu, dans la littérature économique, que de telles intuitions peuvent souvent s'avérer fausses.

### **1. Transport multimodal de marchandises et risque**

Diverses dimensions du risque en matière de choix de transport multimodal de marchandises méritent d'être commentées à partir de l'analyse du chapitre I. Nous adopterons ici une présentation par type d'acteur, pour la commodité de la présentation.

Les termes « risque » et « incertitude » seront utilisés ici dans leur sens commun, et non selon la distinction que fait la théorie économique entre « risque », associé à une liste d'événements dotés de probabilités objectives ou subjectives et « incertain », associé à des événements non probabilisables voire dont la liste n'est pas connue a priori.

#### **1.1. Chargeur direct et risque associé au transfert sur le multimodal**

Prenons tout d'abord le cas relativement simple d'un utilisateur de transport routier, client potentiel du service multimodal en tant que chargeur direct. Pour la solution de transport routier, qui constitue sa référence initiale, ce client dispose déjà de beaucoup d'information et les risques perçus sont faibles. Il faut noter au passage que certaines sources importantes d'aléas disparaissent avec l'élargissement de l'Union Européenne, pour le transport routier international.

Pour le recours au transport multimodal, les caractéristiques de prix et de qualité sont d'autant mieux considérées comme bien cernées que le service est ancien et a pu établir un régime de croisière à peu près stable. Cependant, la confiance dans les prix du transport multimodal suppose que le service multimodal ne subisse pas lui-même des fluctuations importantes de son coût. La nature des adaptations internes du client pour utiliser ce type de transport, ainsi que leur coût, présentent une source de risque qui peut être considérée comme progressivement mieux maîtrisée avec le succès du service multimodal.

Il apparaît donc que, comparativement à la route, les sources de risque pour le recours à un service multimodal peuvent généralement être perçues comme plus nombreuses. Certaines sources peuvent diminuer, voire disparaître, avec l'ancienneté du service, d'autres sont réductibles par des études préalables, par exemple concernant les dispositifs d'adaptation internes au client.

**Cependant, la maîtrise du risque logistique peut conduire des chargeurs à diversifier leurs chaînes de transport, dans une logique d'assurance. A ce titre, le service multimodal peut servir à atténuer les conséquences d'un aléa routier.**

Le changement perçu par le client en cas de recours au transport multimodal, ainsi que les risques associés, seront nettement moins importants si l'interface directe avec le transport multimodal chez le client se fait par le maillon routier et si le type de conditionnement reste inchangé.

Le chargeur peut également avoir une perception variable des risques, selon sa taille, qui conditionne en grande partie son pouvoir relativement aux autres acteurs : ainsi, un « gros » chargeur sera a priori plus facilement privilégié dans la prévention du risque, et dans sa résolution rapide en cas de réalisation du risque.



Le report du risque dans la chaîne des responsabilités est une dimension qui peut désavantager le transport multimodal : étant la référence de base, le recours au transport routier diminue le risque de responsabilisation en cas d'échec. Le recours au transport routier peut alors jouer comme « assurance personnelle » en cas de problème.

Dans le prolongement de la notion de risque personnel, l'accroissement du risque lié à la responsabilité civile et pénale peut jouer, tout particulièrement pour certains trafics comme les matières dangereuses. Le transport multimodal est largement reconnu comme nettement plus sûr que le transport routier pur, même si ses rares accidents ont un écho médiatique et des impacts individuels plus forts à travers sa massification. En parallèle, les règles de responsabilité juridique peuvent différer entre routier et multimodal : ainsi, le maritime a sur ce plan la réputation d'être moins favorable au chargeur. **Vu sous ces angles, le client peut avoir à arbitrer entre fréquence d'accident plus faible et ampleur potentielle des dommages plus importante.**

Il est à noter que certaines caractéristiques du transport multimodal font l'objet de réflexions du type analyse de la valeur, afin de tenter de transférer ou réduire un risque, voire de transformer un handicap en opportunité (ex. : régimes douaniers spécifiques).

Le développement des nouvelles technologies d'information et de communication (NTIC) peut également interagir avec la perception des risques. D'un côté, en facilitant la gestion et l'information sur les chaînes multimodales, les NTIC peuvent contribuer à mieux fiabiliser ces chaînes, augmenter leur qualité et peut-être réduire leurs coûts. Pour le transport routier également, les NTIC constituent une source d'amélioration, notamment par l'information rapide sur les aléas, voire leur anticipation, par la réduction des coûts de coordination, et par l'augmentation des taux de chargement via des optimisations « en temps réel ».

## 1.2. Chargeur nouveau et risque multimodal

Prenons maintenant le cas d'un client nouveau, une entreprise qui se crée ou qui se re-localise sur un nouveau site, en tant que chargeur direct.

De l'examen détaillé de ce cas, on peut retenir deux types de situations « polaires », volontairement caricaturées :

- le client se sent libre de (re)bâtir ses schémas logistiques sans hystérésis importante, d'autant qu'il peut avoir expérimenté des fluctuations gênantes dans les délais ou la qualité d'acheminement routier, et est conscient des coûts cachés induits par cette situation. Le client juge que ses adaptations internes au multimodal seraient mineures ou acceptables. Il perçoit une solution de transport multimodale comme apte à réduire la fréquence de ces aléas, soit par substitution intégrale à la solution routière, soit en complément à celle-ci
- le client perçoit le risque de fluctuations surtout du côté de la solution multimodale, avec une ampleur plus importante des dommages en cas d'événement dommageable; il juge que les adaptations internes au multimodal seraient importantes et coûteuses.

### 1.3. Intermédiaire de transport et risque multimodal

Voyons maintenant le cas d'un intermédiaire de transport, pour lequel nous introduirons également une distinction selon qu'il envisage d'avoir recours au transport multimodal pour un de ses clients habituels, ou pour un nouveau client potentiel :

- la plupart des considérations faites ci-dessus pour les chargeurs demeurent valables mais le recours au multimodal accroît les solutions que l'intermédiaire peut proposer à ses clients
- selon le cas de figure, l'intermédiaire est stratégiquement en position plus ou moins forte pour tenter de capter une partie du surplus dégagé à l'occasion de l'utilisation éventuelle du multimodal : dans les cas favorables, non seulement le risque perçu par l'intermédiaire est plus faible mais en outre il a de meilleures perspectives pour se faire rémunérer de cette prise de risque
- au-delà du risque « intrinsèque », les mécanismes de répartition des risques entre acteurs et les logiques de « couverture » par transfert de risque ou exigence d'une prime de risque, peuvent dégrader l'attractivité et le coût global du multimodal pour le client ou l'intermédiaire. Or il suffit en général qu'un seul des acteurs refuse pour que le multimodal ne soit pas adopté
- le report du risque dans la chaîne des responsabilités est également une dimension qui peut désavantager le transport multimodal : le recours au transport routier diminue le risque de responsabilisation en cas d'échec, et ce d'autant plus que l'intermédiaire aurait une obligation de résultats plutôt que de moyens, et qu'il prendrait l'initiative de proposer la solution multimodale à son client.

En définitive, l'intermédiaire de transport peut avoir, a priori, un peu plus de raisons et moins de freins que le chargeur pour recourir au transport multimodal, mais ceci peut tout à fait être contrebalancé par des considérations stratégiques vis-à-vis du client actuel ou même vis-à-vis de l'offreur de service multimodal (risque de perte du client à terme). Ces freins stratégiques peuvent diminuer fortement dans le cas où l'intermédiaire cherche à convaincre de nouveaux clients et augmenterait ses chances de les convaincre par le recours au service multimodal.

Si l'on veut à nouveau retenir de cet examen deux types de situations « polaires » :

- l'intermédiaire considère que la solution multimodale serait jouable pour son client, déjà acquis ou à démarcher, soit par substitution intégrale à la solution routière, soit en complément à celle-ci, et qu'il serait en outre dans son propre intérêt de la proposer au client. Il considère qu'élargir son panel d'offre réduirait son risque de blocage logistique, en améliorant la diversité et la flexibilité de son panel de solutions transport. L'intermédiaire juge que ses adaptations internes au multimodal seraient mineures ou acceptables
- l'intermédiaire considère ses clients comme structurellement incompatibles avec la technique multimodale, ou comme captifs du routier dans une logique de routine. Dans le second cas, il ne serait prêt à recourir au multimodal qu'en « innovateur tardif », en cas de succès avéré du service multimodal, à la demande de son client, et se retrouverait alors en position de négociation favorable vis-à-vis du client. Il juge que ses propres caractéristiques sont trop incompatibles avec une solution multimodale, ou que le service multimodal risquerait de lui (faire) ravir des clients à terme.

#### 1.4. Offreur de service multimodal et risque

Voyons maintenant le cas de l'offreur de service multimodal :

- il supporte bien sûr un risque industriel et commercial élevé, qu'il peut éventuellement maîtriser à travers des dispositions de prudence (location de navire plutôt qu'achat de navire neuf spécifique, par exemple) ou des études préalables. **Il se trouve souvent dans une situation où, pour améliorer la situation de risque de ses clients, il doit dégrader notablement la sienne**
- la maîtrise de son service lui échappe partiellement. Pour autant, l'offreur restera responsable des éventuels dysfonctionnements vis-à-vis de son client et offre donc au client une sorte d'assurance sur un risque global, qu'il ne maîtrise pas pour autant
- les marges dégagées sont incertaines, leur ampleur si elles sont positives est a priori assez faible
- l'offreur peut avoir à arbitrer entre satisfaire aux conditions imposées pour l'octroi de subventions publiques, avec un aléa sur la concrétisation de ces dernières, et monter un projet sans subvention publique, plus réduit
- le risque de ne pas trouver suffisamment de financeurs augmente avec les échecs de services multimodaux mal conçus ou réalisés par le passé.

On voit donc que l'offreur de service multimodal supporte des risques de nature multiple et d'ampleur importante, propres à son projet ou plus globaux, et que les considérations relatives aux risques et aux enjeux stratégiques des autres acteurs influent très directement sur le risque supporté in fine par l'offreur.

#### 1.5. Transporteur routier et risque multimodal

Poursuivons l'analyse autour de la notion de risque, à travers des acteurs qui ont parfois été ignorés dans les analyses multimodales. Commençons par le transporteur routier lui-même, qui ne doit pas s'analyser purement en tant que concurrent du service multimodal :

- l'apparition d'un service multimodal peut bien entendu représenter un risque de perte de clientèle ou de pression sur la réduction des prix, pour un transporteur routier de longue distance. Mais c'est au contraire une opportunité pour les transporteurs routiers de courte distance implantés autour des pôles reliés par le mode alternatif principal du service
- le transport multimodal peut nécessiter des investissements en matériels spécifiques, routiers ou intermodaux
- le transporteur peut se sentir menacé par le multimodal dans sa relation privilégiée avec un chargeur ou un intermédiaire de transport. Mais il peut parfois être plus confortable d'être un sous-traitant partiel qu'un titulaire global, selon les répartitions de risque et les marges relatives.

Ce rapide balayage des risques et opportunités pour un transporteur routier montre que les risques et opportunités présentés par l'apparition d'une offre multimodale ne sont pas si déséquilibrés qu'il pourrait y paraître à première vue. Les considérations ci-dessus peuvent rester plus généralement valables pour le titulaire d'un contrat de transport, routier ou multimodal, lui laissant une latitude dans les moyens d'exécution.

### 1.6. Armateur et risque multimodal

L'armateur chargé d'un contrat de transport international, souvent intercontinental, conjugue fréquemment les rôles d'intermédiaire de transport et de transporteur physique<sup>2</sup> et les considérations qu'il peut avoir concernant les risques mériteraient de larges développements. A ce stade de l'analyse, nous retiendrons simplement quelques caractéristiques générales :

- contrairement à la grande majorité des chargeurs et intermédiaires de transport non intercontinentaux, sa dichotomie culturelle ne se situe pas entre « route » et « autre mode » mais entre « maritime » et « terrestre » et les logiques de massification sont déjà au cœur de son métier
- son attitude face au risque et son aversion au risque peuvent être culturellement différentes de celles des autres acteurs (le concept de « fortune de mer » a conduit à des règles et une approche en termes de maîtrise du risque, plutôt qu'à un refus du risque a priori)
- son expérience dans les chaînes multimodales complexes lui donne une base de compétences préalable sur le montage ou l'utilisation de nouveaux services multimodaux, et une bonne connaissance de la complexité des relations et des enjeux stratégiques des divers acteurs impliqués.

Globalement, il apparaît que les armateurs ont des raisons d'être plus ouverts à l'utilisation de solutions multimodales, mis à part les considérations de concurrence stratégique avec l'offreur de service multimodal, et qu'ils pourraient également avoir de bonnes raisons de se positionner du côté de l'offre de nouveaux services multimodaux. Il est à ce sujet intéressant de noter que l'analyse menée ci-dessus peut se trouver confortée par certaines initiatives armatoriales de ces dernières années.

### 1.7. Puissance publique et risque multimodal

Abordons enfin l'examen d'un acteur public susceptible d'aider au développement du transport multimodal. Dans le contexte actuel, le développement de la multimodalité est perçu positivement par l'opinion publique. En ce sens, on pourrait dire qu'un acteur public encourrait un risque en termes d'image s'il ne tenait pas un discours positif sur le transport multimodal. Par ailleurs, pour l'acteur public dans son rôle régalién, le domaine multimodal est mieux contrôlable car plus massifié et concentré géographiquement.

En cas d'intervention financière, l'acteur public supporte un risque financier s'il intervient dans une logique de partage des déficits ou d'offre de garanties. Une intervention sous forme de subvention ne présente pas ce type d'aléa.

L'acteur public identifie un risque important sur l'évaluation des enjeux et des besoins réels d'aide au service multimodal. L'expertise disponible pour évaluer les services multimodaux est encore rare, dispersée et peu développée, même si cela évolue petit à petit. Il y a donc un risque d'attitude opportuniste de l'offreur du service multimodal, ou d'autres acteurs impliqués, pour capter indûment des aides.

---

<sup>2</sup> Les logisticiens ou les « intégrateurs de fret » partagent avec les armateurs de nombreuses caractéristiques favorables à l'utilisation de solutions multimodales.

Pour maîtriser ces risques, des règles de prévention sont définies : limitation des dommages (plafonnement des aides, durée limite) ou réduction de la probabilité du risque (dispositif de validation de dossier technique, création d'agences d'expertise externe).

On voit donc que pour un acteur public, les considérations de risque entrent en ligne de compte de manières diverses au sujet du transport multimodal, et que l'acteur public peut engager à ce sujet des actions de prévention visant à réduire la fréquence ou les conséquences d'un risque.

Acteur	Exemples de sources d'aléa	Exemples d'actions de prévention	Exemples d'actions de type assurance
Chargeur	Accident, fraude	Appel au TM * Procédure de choix des prestataires	Appel à un prestataire à forte responsabilité juridique et financière ou faible poids stratégique
	Dysfonctionnement du réseau modal, grève,...	Appel en parallèle à des chaînes de transport alternatives, au TM *	Idem ci-dessus, engagement du prestataire à fournir une alternative (sans surcoût)
Intermédiaire de transport	Accident, fraude	cf. « Chargeur »	cf. « Chargeur »
	Captation du client par un intermédiaire concurrent  Captation du client par un acteur de la chaîne	Optimisation de l'offre au client (dont appel au TM *)  Appel à de purs exécutants de transport	Clauses de rupture de contrat  Engagement des prestataires, clauses contractuelles
Offreur de SM **	La demande s'avère insuffisante	Location des matériels plutôt qu'achat, intéressement des clients	Engagement contractuel des clients sur des niveaux de trafic
	Insuffisance des financements	Recherche de subvention publique	
Transporteur routier	Aléa routier donnant lieu à surcoût ou dédommagement du client	Optimisation de la réalisation de la prestation	Transfert de la charge de l'aléa sur un sous-traitant
Armateur	cf. chargeur et intermédiaire		
Acteur public	Accidents, fraudes	Développement du TM*, réglementation, contrôle	
	Montant final des aides	Plafonnement des aides, forfaitisation	Fonds d'aide globalisés
	Attitude opportuniste du demandeur d'aides	Développement de l'expertise	Clauses de retour à bonne fortune

\* TM = transport multimodal

\*\* SM = service multimodal

Note : de nombreuses actions de type « assurance » ont un impact sur l'attitude d'autres acteurs, par exemple en créant des incitations à l'adoption de comportements de prévention par ces acteurs. La distinction entre « prévention » et « assurance » est donc floue dès lors que l'on considère l'ensemble des conséquences de l'action considérée.

## 2. Modèle de décision de prévention

Les analyses menées ci-dessus permettent de dégager une problématique assez générale : face à diverses sources d'aléas, un décideur a la possibilité d'engager telle ou telle action préventive en vue de réduire la probabilité de réalisation (de certains) des aléas et/ ou l'ampleur des dommages en cas de réalisation de l'aléa. Il s'agit d'un choix discret parmi diverses « technologies de prévention ».

Il ne sera pas question ici de traiter de façon très complète cette problématique qui peut être très vaste, mais d'identifier certaines interrogations sur le comportement en situation de risque, en tenant compte dans une certaine mesure des initiatives imaginées par les acteurs dans une logique d'assurance. Nous avons vu en effet que l'adoption de certaines dispositions (exemple : recours par un client à un intermédiaire de transport) permettait d'externaliser une partie des dommages encourus, moyennant un surcoût, ces dispositions s'apparentant fortement à une logique d'assurance.

Sur ces bases conceptuelles ainsi épurées, il s'agit donc de concevoir un modèle simple permettant de représenter un choix discret de technologie préventive, et de tester l'influence de l'adoption de modalités d'assurance sur le comportement de prévention adopté.

### Revue de littérature :

Dans leur article de référence de 1972, Ehrlich et Becker structurent leur analyse en introduisant une distinction entre auto-assurance et auto-protection.

L'auto-assurance (AA) regroupe les actions préventives de l'agent qui ont pour effet de réduire le montant des dommages encourus au cas où l'aléa considéré surviendrait. Ces actions sont préventives au sens où elles doivent être menées au préalable, et leur coût engagé par l'agent, avant toute observation relative à la réalisation ou non-réalisation de l'aléa. Ces actions sont supposées être sans aucun effet, positif ou négatif, sur la probabilité de réalisation de l'aléa.

L'auto-protection (AP) regroupe, à l'inverse, les actions préventives de l'agent ayant pour effet de réduire la probabilité de l'aléa. Ces actions sont supposées être sans effet sur le montant des dommages encourus en cas de réalisation de l'aléa.

Ehrlich et Becker montrent notamment que l'assurance de marché classique et l'auto-assurance sont substituables. Divers auteurs ont montré que quand l'aversion au risque augmente, l'AA augmente également dans tous les cas, mais que cela n'est pas vrai pour l'AP, notamment Dionne et Eeckhoudt (1985) et Bryis-Schlesinger (1990). Ces derniers ont analysé les difficultés liées à l'AP, en interprétant l'AP comme la conjonction d'une réduction de risque à moyenne constante puis d'une augmentation de risque à moyenne constante.

Chiu (1998) a montré que, étant donné deux décideurs dont l'un est plus averse au risque que l'autre, alors si la probabilité de réalisation de l'aléa est suffisamment faible, le plus averse au risque choisira plus facilement la prévention que l'autre.

Courbage (2000) a trouvé dans le domaine de la santé, en utilisant non plus le modèle classique d'espérance d'utilité (MEU) mais la théorie duale de Yaari, des résultats similaires à ceux du MEU.

Jullien, Salanié et Salanié (1999, 2001) ont analysé un modèle représentant la prévention de façon moins polaire que la dualité « AA ou AP ». Ils introduisent une nouvelle caractérisation de l'AA en étendant ce concept aux actions préventives qui créent une situation plus favorable conditionnellement à la réalisation de l'aléa, au prix d'une situation plus défavorable conditionnellement à la non-réalisation de l'aléa.

Globalement, la question de la prévention fait l'objet d'une littérature assez fournie en économie, mais elle a rarement été analysée en-dehors des cas polaires introduits par Ehrlich et Becker, et elle a été principalement abordée en supposant l'existence d'un champ continu d'actions préventives, ou l'achat d'un bien de prévention en quantités continues. Les articles visant à obtenir des résultats un peu fins sur la relation entre aversion au risque et choix de prévention introduisent de nombreuses hypothèses sur les fonctions de coût, de probabilité d'aléa et de dommages, et sur les relations entre ces fonctions, leurs dérivées premières, secondes et parfois troisièmes.

#### Choix de modélisation :

En réponse aux préoccupations évoquées dans la première partie de ce chapitre, nous sommes amenés à considérer des actions de prévention susceptibles d'influer à la fois sur la probabilité de réalisation d'aléa et sur les dommages encourus, dans un contexte de choix discret de prévention.

Nous nous placerons dans un cadre théorique simplifié, en considérant une situation de risque probabilisable, dans le cadre classique de la maximisation d'espérance d'utilité (Von Neumann et Morgenstern). Les outils des nouvelles théories développées en-dehors de ce cadre (« prospect theory », nouvelles axiomatiques de décision dans l'incertain,..) sont extrêmement intéressants, d'autant qu'ils permettent de représenter des éléments apparaissant au premier chapitre, comme l'existence de biais de statu quo.

Cependant l'objectif visé dans le cadre de ce travail consiste à interpréter les problématiques du jeu d'acteurs dans le transport multimodal de marchandises avec des outils théoriques relativement simples, afin de pouvoir éclairer des modalités d'action publique. Aussi nous resterons dans le cadre classique formalisé par Von Neumann et Morgenstern.

Toujours pour des raisons de simplification, la problématique de choix discret au sein d'un ensemble fini de technologies de prévention sera schématisée par un choix simple entre adopter ou ne pas adopter une technologie de prévention donnée.

Le comportement des agents est tout d'abord analysé en distinguant deux types de prévention. La prévention de type I vise à réduire la probabilité de réalisation de l'aléa, avec un impact positif ou négatif sur le montant des dommages encourus. La prévention de type II diminue le montant des dommages encourus, au prix d'une augmentation de la probabilité de la réalisation d'aléa. L'intérêt de la distinction entre ces deux types de prévention apparaîtra plus clairement à la lecture des résultats obtenus, qui s'avéreront être bien différenciés entre ces deux cas de figure quant à l'influence du degré d'aversion au risque de l'agent.



Par ailleurs, concernant l'introduction de mécanismes d'assurance, on pourrait a priori s'attendre, intuitivement, à ce que l'utilisation de tels mécanismes par l'agent conduise ce dernier, se jugeant mieux couvert face au risque, à avoir tendance à délaissier la prévention. Cependant une distinction fondamentale existe entre les deux termes de base du risque que sont le montant des dommages et la probabilité de réalisation de l'aléa, alors que l'assurance joue uniquement sur les montants en jeu. Aussi il a paru judicieux d'examiner de quelle manière le comportement de prévention pouvait varier, en présence d'assurance.

On distinguera donc le cas de l'agent assuré et le cas de l'agent non assuré, avec des éléments de statique comparative relativement au degré d'aversion au risque de l'agent. On verra à l'énoncé des résultats obtenus que les idées intuitives selon lesquelles la prévention devrait augmenter avec le degré d'aversion au risque, et l'assurance faire au contraire diminuer la prévention, peuvent être prises en défaut.

Impact de la décision	Réduction de la probabilité d'aléa	Probabilité d'aléa inchangée	Augmentation de la probabilité d'aléa
Augmentation du montant des dommages encourus	Type I	sans objet	sans objet
Montant des dommages Encourus inchangés	Type I / auto-prévention	sans objet	sans objet
Réduction du montant des dommages encourus	Type I	Assurance de marché, auto-assurance	Type II

L'assurance classique de marché et l'auto-assurance au sens d'Ehrlich et Becker se situent entre les deux principales cases inférieures du tableau ci-dessus, car elle laissent la probabilité d'aléa inchangée tout en réduisant le montant des dommages encourus. L'auto-protection se situe entre les deux principales cases de la colonne de gauche. Il sera intéressant d'examiner si les résultats obtenus sur l'auto-assurance sont de même nature que ceux obtenus pour le type II ou au contraire de ceux obtenus pour le type I. Par ailleurs, nous examinerons en quoi les deux sous-types du type I apparaissant dans le tableau ci-dessus donneraient lieu à des résultats différenciés.

### **2.1. Comportement de l'agent en prévention de type I**

(choix discret de prévention visant à réduire la probabilité de réalisation du risque)

#### Le modèle de base

Le modèle utilisé est le suivant :

- en l'absence de prévention, l'agent a un risque de perte  $X$  avec une probabilité  $R$
- avec prévention pour un coût  $T$ , l'agent a un risque de perte  $x$  avec une probabilité  $r < R$

Le coût  $T$  pour l'agent peut se limiter au simple coût d'achat d'une technologie de prévention auprès d'un prestataire. Il peut également inclure des coûts de mise en œuvre de la prévention, internes à l'agent.

Le domaine de variation des dommages  $(x, X)$  sera divisé entre une zone dans laquelle l'agent choisira la prévention et une zone dans laquelle il ne la choisira pas. Ces zones sont séparées par une courbe d'indifférence  $C(T)$ , qui dépend bien entendu de la fonction d'utilité  $u$  de l'agent ainsi que de  $r$  et  $R$ . Nous nous limiterons pour l'ensemble de ce chapitre à l'étude du quadrant  $\{x > 0, X > 0\}$ , qui correspond à des situations de perte en cas d'aléa.

Ce type d'approche permet, par exemple, de visualiser l'impact de l'imprécision des estimations portant sur le montant des dommages encourus  $(x, X)$  et, surtout, de visualiser l'impact de leur variation selon que sont mis en oeuvre ou non des mécanismes d'assurance, ces derniers laissant inchangés les autres paramètres que sont  $r, R$  et  $T$ .

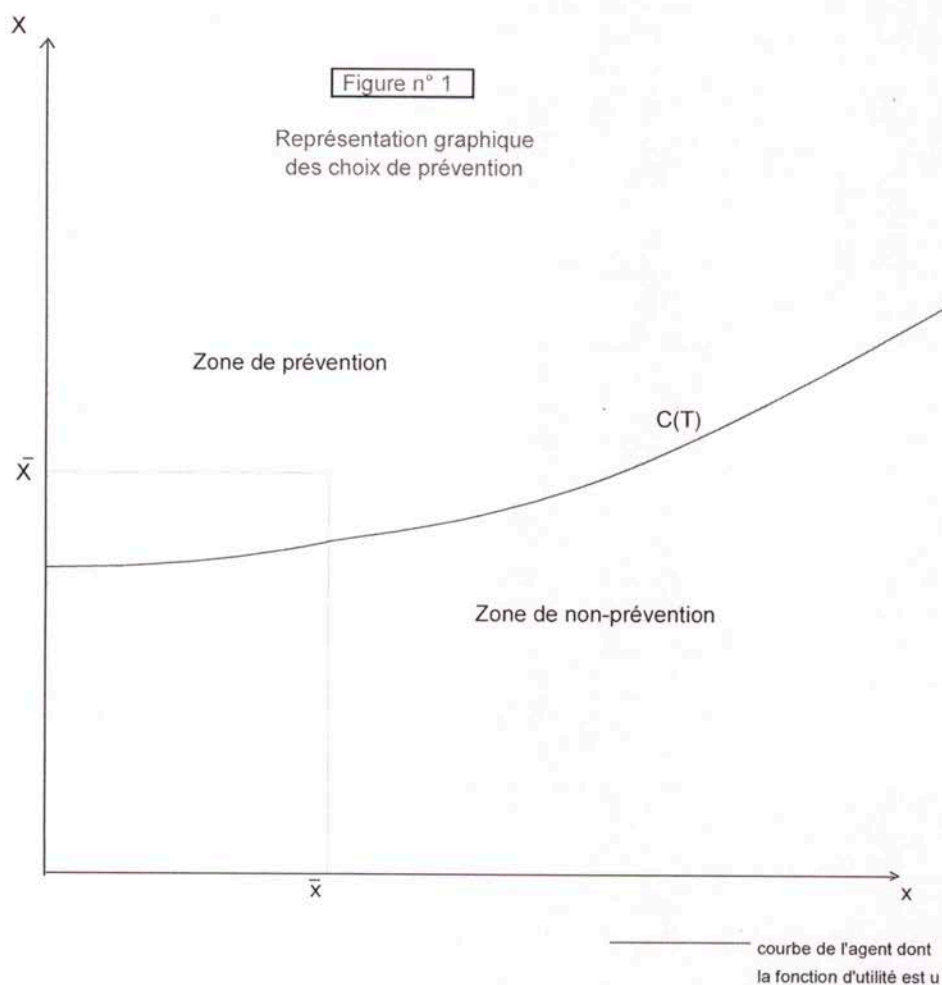


Figure n°1

Formalisation du problème étudié

Ici, l'agent choisira la prévention si les issues de dommages sont  $(\bar{x}, \bar{X})$ .

### 2.1.1. Agent non assuré

#### 2.1.1.1. Propriétés de la courbe d'indifférence

Nous allons montrer tout d'abord que pour toute fonction d'utilité  $u$  concave définie sur  $\mathbf{R}$ , la courbe  $C(T)$  correspond à une fonction définie sur  $\mathbf{R}^+$ , continue et croissante.

L'agent maximisateur d'espérance d'utilité qui se trouve en situation de choix entre « avoir recours à la mission de prévention » ou « ne pas avoir recours à la mission de prévention » comparera les deux issues de la manière suivante :

$$[R * u(w - X) + (1 - R) * u(w)] \text{ est-il inférieur à } [r * u(w - T - x) + (1 - r) * u(w - T)] ?$$

Le premier terme représente l'espérance d'utilité en l'absence de prévention, le second terme l'espérance d'utilité avec prévention de coût  $T$ . L'agent sera donc indifférent à prendre ou non la prévention quand :

$$r * u(w - x - T) + (1 - r) * u(w - T) = R * u(w - X) + (1 - R) * u(w)$$

Supposons dans un premier temps l'agent neutre vis-à-vis du risque. L'utilité se résume alors simplement au gain monétaire et on obtient :  $T = R * X - r * x$ .

Pour un agent neutre vis-à-vis du risque, la courbe d'indifférence  $C(T)$  dans le plan  $(x, X)$  est donc la droite  $D_0$  de pente  $(\frac{r}{R})$  définie par  $\{ X = \frac{r}{R} x + \frac{T}{R} \}$ .

Supposons maintenant que l'agent a une aversion au risque infinie. Il compare alors les issues les plus dommageables, quelle que soit leur probabilité, et le niveau de prime limite  $T$  est alors défini par :

$$w - x - T = w - X$$

Pour un agent à aversion au risque infinie, la courbe  $C(T)$  est donc la droite  $D_\infty$  définie par  $\{ X = x + T \}$ .

Dans le cas général, on peut établir les lemmes suivants, en supposant la fonction d'utilité définie sur l'ensemble des nombres réels, deux fois continûment différentiable, strictement concave et croissante (hypothèses classiques d'agent averse au risque conforme au modèle de Von Neumann et Morgenstern).

On notera  $\Delta(T)$  la fonction qui, à  $x, X, r, R$  fixés et pour l'agent caractérisé par la fonction  $u$  et la richesse initiale  $w$ , associe à un tarif de prévention  $T$  une mesure du gain relatif retiré par l'agent s'il choisit la prévention :

$$\Delta(T) = r * u(w - x - T) + (1 - r) * u(w - T) - R * u(w - X) - (1 - R) * u(w)$$

#### **Lemme 1 :**

Pour tout  $x \geq 0$ , pour tout  $X \geq 0$  :

- \* il existe un unique  $t_l(x, X)$ <sup>3</sup> tel que  $\Delta(t_l(x, X)) = 0$  et
- \* pour tout  $t$  réel,  $\Delta(t) > 0$  si et seulement si  $t < t_l(x, X)$

<sup>3</sup> Bien sûr,  $t_l(x, X)$  dépend aussi de  $r$  et de  $R$ , mais cette notation simplifiée est adoptée pour ne pas surcharger les écritures formelles.

Remarque :

Par ailleurs,  $t_l(0, X)$  est égal à  $(w-EC)$  où  $EC$  est l'équivalent-certain de la loterie :

$$L(R, w-X ; 1-R, w)$$

où l'on note  $L(p, I1 ; 1-p, I2)$  la loterie donnant comme issues  $(I1)$  avec la probabilité  $p$  et  $(I2)$  avec la probabilité  $(1-p)$ .

Cette relation avec l'équivalent-certain nous sera utile pour les analyses de statique comparative. En particulier, on notera donc au passage que  $t_l(0, X)$  est compris entre  $RX$  et  $X$ , qui correspondent aux cas extrêmes d'aversion au risque nulle et d'aversion au risque infinie.

Démonstration du lemme 1 :

La dérivée de  $\Delta$  par rapport à  $T$  s'écrit :

$$-r * u'(w-T-x) - (1-r) * u'(w-T) < 0 \text{ car } u \text{ est croissante par hypothèse}$$

$\Delta$  est donc une fonction décroissante en  $T$ , qui est positive pour  $T = -x$  et négative pour  $T = X$  puisque :

$$* \Delta(-x) = [r * u(w) + (1-r) * u(w+x)] - [R * u(w-X) + (1-R) * u(w)]$$

or,  $u$  étant croissante :  $u(w+x) > u(w) > u(w-X)$  donc

$$\Delta(-x) > (1-r+r) * u(w) - (R+1-R) * u(w) \text{ ie } \Delta(-x) > 0$$

\* le raisonnement est similaire pour  $T = X$ .

$$\text{Par définition : } (r + 1-r) * u(w - t_l(0, X)) = R * u(w-X) + (1-R) * u(w)$$

Donc :  $u(w - t_l(0, X)) = R * u(w-X) + (1-R) * u(w)$  ce qui correspond à la définition de l'équivalent-certain.

CQFD

Dans les écritures complexes, on notera par la suite pour simplifier :  $t_l = t_l(x, X)$  et on désignera par (E1) l'équation implicite déterminant  $t_l$  :

$$\boxed{R * u(w-X) + (1-R) * u(w) = r * u(w - t_l - x) + (1-r) * u(w - t_l)} \quad (E1)$$

$t_l(x, X)$  représente le tarif maximal pour lequel l'agent est prêt à choisir la prévention si ses dommages encourus sont  $(x, X)$ . En conséquence, on l'utilisera au 2.1.2.1. comme mesure de la propension à la prévention.

**Lemme 2 :** les dérivées partielles de l'application  $t_l$  sont

$$\frac{\partial t_l}{\partial X} = \frac{R * u'(w-X)}{r * u'(w - t_l - x) + (1-r) * u'(w - t_l)} \quad (E2)$$

$$\text{et } \frac{\partial t_l}{\partial x} = - \frac{r * u'(w - t_l - x)}{r * u'(w - t_l - x) + (1-r) * u'(w - t_l)} \quad (E3)$$

Démonstration :

En dérivant l'équation (E1) par rapport à x, on obtient :

$$0 = r \cdot u'(w - t_1 - x) \cdot \left(-\frac{\partial t_1}{\partial x} - 1\right) + (1-r) \cdot u'(w - t_1) \cdot \left(-\frac{\partial t_1}{\partial x}\right) \text{ d'où (E3)}$$

(E2) s'obtient de même en dérivant (E1) par rapport à X :

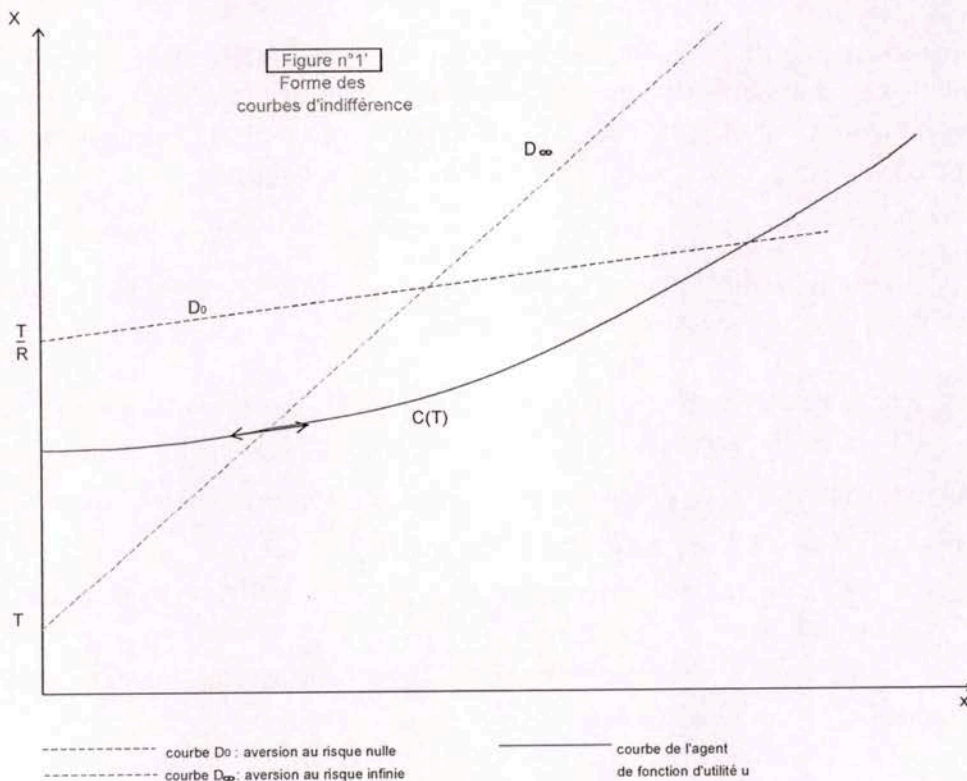
$$-R \cdot u'(w - X) = r \cdot u'(w - t_1 - x) \cdot \left(-\frac{\partial t_1}{\partial X}\right) + (1-r) \cdot u'(w - t_1) \cdot \left(-\frac{\partial t_1}{\partial X}\right).$$

CQFD

**Lemme 3 :**

Pour tout  $T \geq 0$ , l'ensemble des points  $(x, X)$  tels que  $\{t_1(x, X) = T\}$  est une courbe  $C(T)$  représentant une fonction  $X(x)$  continue et croissante.

Sa pente reste strictement inférieure à  $\frac{r}{R}$  pour sa partie comprise entre, d'une part, l'axe des ordonnées et, d'autre part, son intersection avec la droite  $D_\infty \{X = x + T\}$  ; sa pente est égale à  $\frac{r}{R}$  en son intersection avec la droite  $D_\infty$  et sa pente est supérieure à  $\frac{r}{R}$  au-delà de son intersection avec la droite  $D_\infty$ , qu'elle ne croise plus ensuite.



Démonstration :

La démonstration détaillée figure en annexe.

Son principe consiste à établir :

- l'existence et l'unicité, pour tout  $x$  réel, de  $X(x)$  tel que  $T = t_l(x, X(x))$ , ceci en construisant une fonction strictement croissante de limites négative en  $-\infty$  et positive en  $+\infty$
- l'écriture de la pente  $\frac{dX}{dx}(x) = \frac{r * u'(w - T - x)}{R * u'(w - X)}$  (E5), qui se résume à  $\left(\frac{r}{R}\right)$  quand  $X = x + T$ .

CQFD

**Lemme 4 :**

Le long de toute parallèle à  $D_0$  (droites de pente  $\left(\frac{r}{R}\right) : D_C \left\{ X = \frac{r}{R}x + C \right\}$ ),  $t_l(x, X)$  va augmenter avec  $x$  dans le demi-plan  $\{X > x + T\}$ , puis diminuer quand  $x$  augmente dans le demi-plan  $\{X < x + T\}$ .

En outre, il existe une valeur seuil  $C_0$  telle que  $C(T)$  croisera  $D_C$  au plus une fois sur  $\{X > x + T\}$  si  $C \geq C_0$  et telle que  $C(T)$  ne coupera jamais  $D_C$  si  $C < C_0$ .

Démonstration :

La première partie de ce corollaire se démontre à partir du lemme 3, avec le même argument utilisé pour la démonstration du lemme 3, relatif aux pentes de deux courbes en leur point d'intersection. On peut également considérer, plus simplement, la variation de  $t_l(x, X)$  en utilisant le lemme 2, qui indique que cette variation sera du signe de :

$$-r * u'(w - x - T) + R \frac{r}{R} * u'(w - \frac{r}{R}x - C) = r * [u'(w - \frac{r}{R}x - C) - u'(w - x - T)]$$

Le signe de cette quantité dépend uniquement de la position du point sur la droite par rapport à la droite  $D_\infty$ , par concavité de la fonction  $u$ .

Pour le second point, on observe que  $t_l$  est une fonction continue le long de  $D_C$ , qui va croître jusqu'à  $D_C \cap D_\infty$  puis décroître, et on considère la valeur  $C_0$  correspondant à l'intersection de  $C(T)$  et  $D_\infty$ . La position de  $t_l$  par rapport à  $T$  correspond à la position de  $D_C$  par rapport à  $C(T)$ . Comme  $t_l$  est maximal à l'intersection  $D_C \cap D_\infty$  :

- si  $C \geq C_0$  :  $t_l \geq T$  en l'intersection  $D_C \cap D_\infty$  puis décroît strictement donc peut prendre au plus une fois la valeur  $T$
- si  $C < C_0$  :  $t_l < T$  en l'intersection  $D_C \cap D_\infty$  qui donne le maximum de  $t_l$  sur  $D_C$ , donc  $C(T)$  reste au-dessous de  $D_C$ .

CQFD

### 2.1.1.2. Eléments de statique comparative dans le demi-plan $\{X > x + T\}$ <sup>4</sup>

Montrons que les zones de prévention vont en croissant avec le degré d'aversion au risque pour des pertes situées dans la zone  $\{X > x + T\}$ .

Il est rappelé que la zone de prévention correspond aux issues de dommages  $(x, X)$  situées au-dessus de  $C_u(T)$ , c'est-à-dire pour lesquelles la prévention est préférée par l'agent de fonction d'utilité  $u$  (nous indexerons les notations  $C_u(T)$  et  $C_v(T)$  pour distinguer les courbes d'indifférence de deux agents distincts). Considérons maintenant un second agent, de fonction d'utilité  $v$ , plus averse au risque que le premier, c'est-à-dire tel que :

$$(\forall y \in \mathfrak{R}) \left( -\frac{v''}{v'}(y) \geq -\frac{u''}{u'}(y) \right)$$

ou, de façon équivalente, tel que  $v$  est plus concave que  $u$  (théorème d'Arrow-Pratt).

#### Proposition n°1 :

Si  $v$  est plus concave que  $u$ ,  $C_v(T)$  reste en dessous de  $C_u(T)$  sur le demi-plan  $\{X > x + T\}$

Donc d'après le lemme 3, ce résultat s'applique avant leurs intersections avec  $D_\infty$ , situées en des abscisses inférieures à  $\frac{(1-R)T}{R-r}$  (qui est l'abscisse de  $D_0 \cap D_\infty$ ).

#### Démonstration :

Le principe de démonstration (voir détail en annexe) est le suivant :

- on déduit du lemme n°1 que  $C_v(T)$  débute en dessous de  $C_u(T)$  en  $x=0$
- on écrit le rapport des pentes de ces courbes à l'endroit de leur éventuelle intersection ( $P_u / P_v$ )
- $v$  étant plus concave que  $u$ , ce rapport reste strictement supérieur à 1 tant que  $\{X > x + T\}$ , donc  $C_v(T)$  ne peut pas croiser  $C_u(T)$  par en dessous.

CQFD

#### Définition :

**L'appel à la prévention** de l'agent  $u$  pour un tarif  $T$  donné sera **supérieur** à celui de l'agent  $v$  sur une gamme de dommages  $\Gamma = \{(x, X)\} \subset \mathbf{R}^2$  si, quand on note  $P_u(T)$  et  $P_v(T)$  les issues de dommages pour lesquels l'agent  $u$  (respectivement  $v$ ) préfère la prévention, alors :  $(P_v(T) \cap \Gamma)$  est inclus dans  $(P_u(T) \cap \Gamma)$

Cette définition correspond à « sur toute issue de dommages  $(x, X)$  de  $\Gamma$ , si  $v$  choisit la prévention alors  $u$  la choisit également » ou «  $C_u(T)$  reste au-dessous de  $C_v(T)$  sur  $\Gamma$  ».

<sup>4</sup> Plus formellement, il s'agit du secteur  $\{X > x + T\} \cap \{x > 0, X > 0\}$ . Dans la mesure où dans l'ensemble de ce chapitre nous n'examinons que les situations de perte  $\{x > 0, X > 0\}$ , nous ne ferons pas apparaître ces écritures plus lourdes, par convention.

### 2.1.1.3. Eléments de statique comparative dans le demi-plan $\{X < x + T\}$ pour des fonctions CARA (à aversion absolue au risque constante)

Une fonction d'utilité  $u$  à aversion absolue au risque constante est telle que :

$$(\forall y \in \mathfrak{R}) \left( -\frac{u''}{u'}(y) = \sigma \geq 0 \right).$$

On notera  $C_\sigma(T)$  la courbe d'indifférence à la prévention correspondant à cette fonction d'utilité paramétrée par  $\sigma$ .

Montrons que pour des fonctions d'utilité à aversion au risque constante (CARA), l'appel à la prévention de l'agent  $v$  plus averse au risque que l'agent  $u$  sera inférieur à celui de l'agent  $u$  quand le montant des dommages  $x$  devient grand. Plus formellement :

$$(\exists \bar{x})(\forall \Gamma \subset \mathfrak{R}^2)((P_v(T) \cap \Gamma \cap E(\bar{x})) \subset (P_u(T) \cap \Gamma \cap E(\bar{x})))$$

$$\text{où : } E(\bar{x}) \equiv \left\{ x > \bar{x} \right\}.$$

#### Proposition n°2 :

1) Pour tout  $\sigma > 0$ , la courbe  $C_\sigma(T)$  admet une asymptote  $D_\sigma \{X = x + T - \mu_\sigma\}$  qui est approchée par le dessus et  $\mu_\sigma$  est une fonction décroissante de  $\sigma$ , qui tend vers 0 quand  $\sigma$  tend vers  $+\infty$  et qui tend vers  $+\infty$  quand  $\sigma$  tend vers 0.

2) Etant donné  $v$  CARA plus averse au risque que  $u$  CARA, il existe  $\bar{x}$  tel que sur  $\Gamma = \{(x, X) \mid x \geq \bar{x}\}$  l'appel à la prévention de  $v$  sera inférieur à celui de  $u$ .

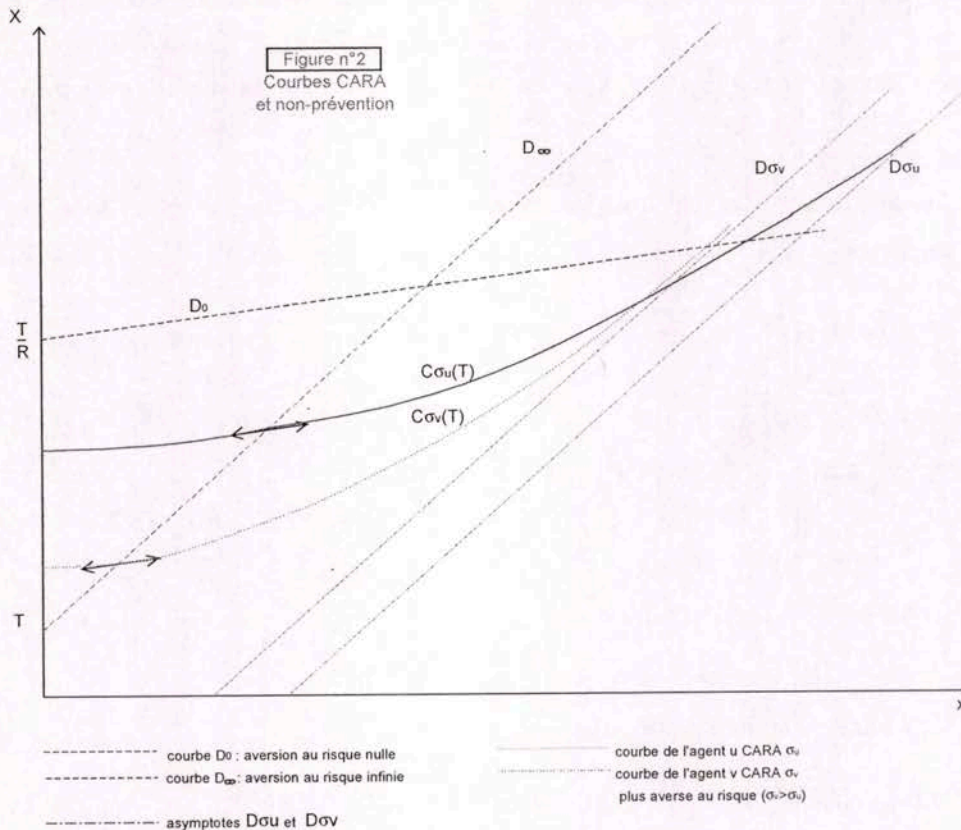
3) Par ailleurs, la courbe  $C_\sigma(T)$  est convexe, sa pente demeure strictement inférieure à 1, et  $C_\sigma(T)$  demeure au-dessus de  $D_\sigma$ .

Le parallélisme des asymptotes et la décroissance de  $\mu_\sigma$  impliquent que l'ordre des courbes  $C_\sigma(T)$  est en quelque sorte inversé, la courbe d'un agent plus averse au risque passant au-dessus de celle d'un agent moins averse au risque : pour des dommages élevés, c'est-à-dire pour  $x$  suffisamment grand, la zone de prévention du plus averse au risque sera cette fois-ci plus réduite que celle de l'agent moins averse (cf. [figure n°2](#)).

Cette inversion, l'agent plus averse au risque qui répugne pourtant plus facilement à utiliser la prévention, peut être ressentie comme contre-intuitive à première vue.

A propos de la distinction éventuelle entre les deux sous-types du type de prévention I (cf. introduction du chapitre, pages 54-55), la proposition n°2 montre que pour le sous-type de prévention I qui réduit la probabilité d'aléa au prix d'une augmentation des dommages ( $x > X$ ), la prévention ne sera pas choisie par les agents CARA suffisamment averses au risque. Cependant, le même type de résultat s'établit également pour l'autre sous-type de prévention I ( $x \leq X$ ), du moins tant que la technologie est telle que  $X > x + T$ .





Démonstration de la proposition n°2 :

Les fonctions à aversion au risque constante s'écrivant sous la forme :  $u_\sigma(y) = -e^{-\sigma y}$ , l'équation de  $C_\sigma(T)$  s'écrit :

$$-r * e^{-\sigma(w-x-T)} - (1-r) * e^{-\sigma(w-T)} + R * e^{-\sigma(w-X)} + (1-R) * e^{-\sigma w} = 0$$

ou :

$$-r * e^{\sigma(x+T)} - (1-r) * e^{\sigma T} + R * e^{\sigma X} + (1-R) = 0$$

On en déduit l'écriture implicite de X en fonction de x :

$$R * e^{\sigma X} = e^{\sigma T} * (r * e^{\sigma x} + (1-r)) - (1-R) \quad (E_\sigma)$$

la courbe  $C_\sigma(T)$  débute donc au point correspondant à  $x = 0$ , soit :

$$R * e^{\sigma X} = e^{\sigma T} * (r + (1-r)) - (1-R) \text{ ou}$$

$$X_{(x=0)} = \frac{1}{\sigma} * \text{Ln}\left(\frac{1}{R} * (e^{\sigma T} - 1 + R)\right)$$

Quand x devient très grand, le second terme de  $(E_\sigma)$  devient équivalent à  $r * e^{\sigma(x+T)}$  et ceci par excès car  $e^{\sigma T} * (1-r) - (1-R) > 1-r-1+R > 0$ .

Donc  $\sigma X \approx \sigma(x+T) + \text{Ln}\left(\frac{r}{R}\right)$  ou :  $X \approx x+T + \frac{1}{\sigma} \text{Ln}\left(\frac{r}{R}\right)$ .

On pose alors  $\mu_\sigma = \frac{1}{\sigma} \text{Ln}\left(\frac{R}{r}\right)$  et la première partie de la proposition 2 est démontrée.

On en déduit alors que, pour deux agents de coefficients CARA  $\sigma_v > \sigma_u$ , les courbes  $C_{\sigma_u}(T)$  et  $C_{\sigma_v}(T)$  se croisent nécessairement (la différence de leurs ordonnées, considérée comme fonction continue de  $x$ , débute avec une valeur positive en  $x=0$  puis tend vers  $\mu_{\sigma_v} - \mu_{\sigma_u} < 0$ ).

Au-delà de cette intersection d'abscisse  $\tilde{x}$ ,  $C_{\sigma_v}(T)$  restera au-dessus de  $C_{\sigma_u}(T)$  et donc la propension à la prévention de  $v$  sera inférieure à celle de  $u$  sur  $\Gamma = \{(x, X) \mid x \geq \tilde{x}\}$ .

Pour prouver la convexité de  $C_{\sigma_u}(T)$ , il suffit de remarquer que sa pente s'écrit :

$$P_{\sigma}(x) = \frac{r * u'(w - x - T)}{R * u'(w - X)} = \frac{r * e^{\sigma(x+T)}}{R * e^{\sigma X}} = \frac{r * e^{\sigma(x+T)}}{r * e^{\sigma(x+T)} + (1-r) * e^{\sigma T} - 1 + R}$$

le dénominateur est supérieur au numérateur et de même signe positif (car  $e^{\sigma T} * (1-r) - (1-R) > 1-r-1+R > 0$ ) donc  $P_{\sigma}(x)$  reste toujours strictement inférieure à 1.

et la dérivée de  $P_{\sigma}(x)$  est de la forme

$$\frac{-[(1-r) * e^{\sigma T} - 1 + R] * \frac{e^{-\sigma(x+T)}}{r} * (-\sigma)}{\left[1 + [(1-r) * e^{\sigma T} - 1 + R] * \frac{e^{-\sigma(x+T)}}{r}\right]^2}$$

donc elle reste constamment positive.

Enfin, si  $C_{\sigma}(T)$  coupait  $D_{\sigma}$ , elle ne pourrait la recouper à nouveau, car sa pente est strictement inférieure à 1, et elle ne pourrait pas approcher  $D_{\sigma}$  par le dessus : donc  $C_{\sigma}(T)$  reste au-dessus de  $D_{\sigma}$ .

CQFD

Remarques :

\* comme  $C_{\sigma}(T)$  reste au-dessus de son asymptote  $D_{\sigma}$  et que  $\frac{d\mu_{\sigma}}{d\sigma} < 0$  :

$(\forall \varepsilon > 0)(\exists \sigma(\varepsilon) \text{ tq } (\forall \sigma > \sigma(\varepsilon))(C_{\sigma}(T) \text{ demeure au-dessus de } \{X = x + T - \mu_{\sigma_u} + \varepsilon\}))$ .

Donc en choisissant  $\tilde{x}(\varepsilon)$  uniquement en fonction de la propriété d'asymptote de  $D_{\sigma_u}$  pour  $C_{\sigma_u}(T)$ ,  $\sigma(\varepsilon)$  peut être déterminé indépendamment de  $v$  dans le second point de la proposition n°2, pour  $v$  suffisamment averse au risque :

$$(\forall \varepsilon > 0)(\exists \tilde{x}(\varepsilon) \text{ tq } (\forall \sigma_v > \sigma(\varepsilon))(\forall \Gamma \subset \mathfrak{R}^2)((P_v(T) \cap \Gamma \cap E(\tilde{x})) \subset (P_u(T) \cap \Gamma \cap E(\tilde{x}))))$$

\* la première partie de la proposition 2 se généralise partiellement (cf. annexe) pour des fonctions IARA et DARA (aversion au risque absolue, respectivement, croissante et décroissante). Plus précisément :

- IARA : soit  $C(T)$  coupe toutes les droites parallèles à  $D_{\infty}$  situées sous  $D_{\infty}$ , soit  $C(T)$  admet une asymptote parallèle à  $D_{\infty}$  et approchée par le dessus
- DARA : soit  $C(T)$  coupe toutes les droites parallèles à  $D_{\infty}$  situées sous  $D_{\infty}$ , et alors  $C(T)$  est convexe, soit  $C(T)$  tangente une droite  $D_r$  parallèle à  $D_{\infty}$ , puis possède une asymptote approchée par en dessous, toujours parallèle à  $D_{\infty}$  et située entre  $D_{\infty}$  et  $D_r$ .

#### 2.1.1.4. Cas particulier de l'auto-assurance :

Montrons que le croisement des courbes observé au 2.1.1.3. ne se produit pas dans ce cas particulier. Au contraire, un décideur plus averse au risque choisira ici toujours plus facilement la prévention.

Nous considérons donc maintenant le cas particulier de l'auto-assurance au sens de Ehrlich et Becker, c'est-à-dire le cas :  $r = R$ .

#### Proposition n°3 :

Dans le cadre considéré, l'auto-assurance augmente avec l'aversion au risque.

#### Démonstration :

Les premiers résultats obtenus sur  $C(T)$  restent valables, en particulier la courbe  $C(T)$  est continue, définie pour tout  $x$  positif, et dans le demi-plan  $\{X > x + T\}$  sa pente reste inférieure ou égale à  $\frac{r}{R}$ , soit 1 dans le cas  $r = R$ .

Par contre elle ne va pas couper la droite  $\{X = x + T\}$ . S'il en était ainsi, le point  $(x, X)$  correspondant vérifierait :

$$R * u(w - X) + (1 - R) * u(w - T) - R * u(w - X) - (1 - R) * u(w) = 0$$

Mais cela n'est possible que pour  $T = 0$  (cas dégénéré dans lequel  $C(0)$  est la première bissectrice, quelle que soit la fonction  $u$ ). Si  $r=R$ , la courbe  $C(T)$  va donc rester constamment au-dessus de la droite  $D_{\infty} \{X = x + T\}$ .

La courbe  $C_v(T)$  d'un décideur plus averse au risque que le décideur initial sera donc toujours au-dessous de  $C_u(T)$ , de la même manière que dans le cas  $r < R$ , mais cette fois-ci sur toute l'étendue des courbes puisqu'elles restent dans le demi-plan supérieur, ce qui signifie qu'en situation de risque identique (pour les mêmes  $x, X, R, w$ ) le décideur le plus averse au risque choisira toujours plus facilement l'auto-assurance que le premier.

CQFD

Dans le cas des fonctions CARA, on peut remarquer que, à  $\sigma$  fixé, quand  $r$  tend vers  $R$ , l'asymptote de  $C_{\sigma}(T) : \left\{ X = x + T + \frac{1}{\sigma} \ln\left(\frac{r}{R}\right) \right\}$  va tendre vers  $D_{\infty}$  : le cas limite  $r = R$  correspond en quelque sorte à l'alignement des asymptotes sur  $D_{\infty}$ .

### 2.1.2. Agent assuré

Contre une certaine prime  $\Pi$ , l'agent va pouvoir réduire sa perte en cas d'accident<sup>5</sup>.

Pour simplifier, exceptés certains résultats applicables à tout type d'agent averse au risque, seuls les cas des agents neutres au risque et CARA seront regardés. Il faut noter que ceci supprime l'effet revenu et que les courbes  $C(T)$  sont donc inchangées quand on passe du revenu initial «  $w$  » au revenu initial avec assurance «  $w - \Pi$  », ce qui simplifie grandement le problème. Seuls les contrats d'assurance de type franchise et co-assurance seront considérés, toujours dans un souci de simplification.

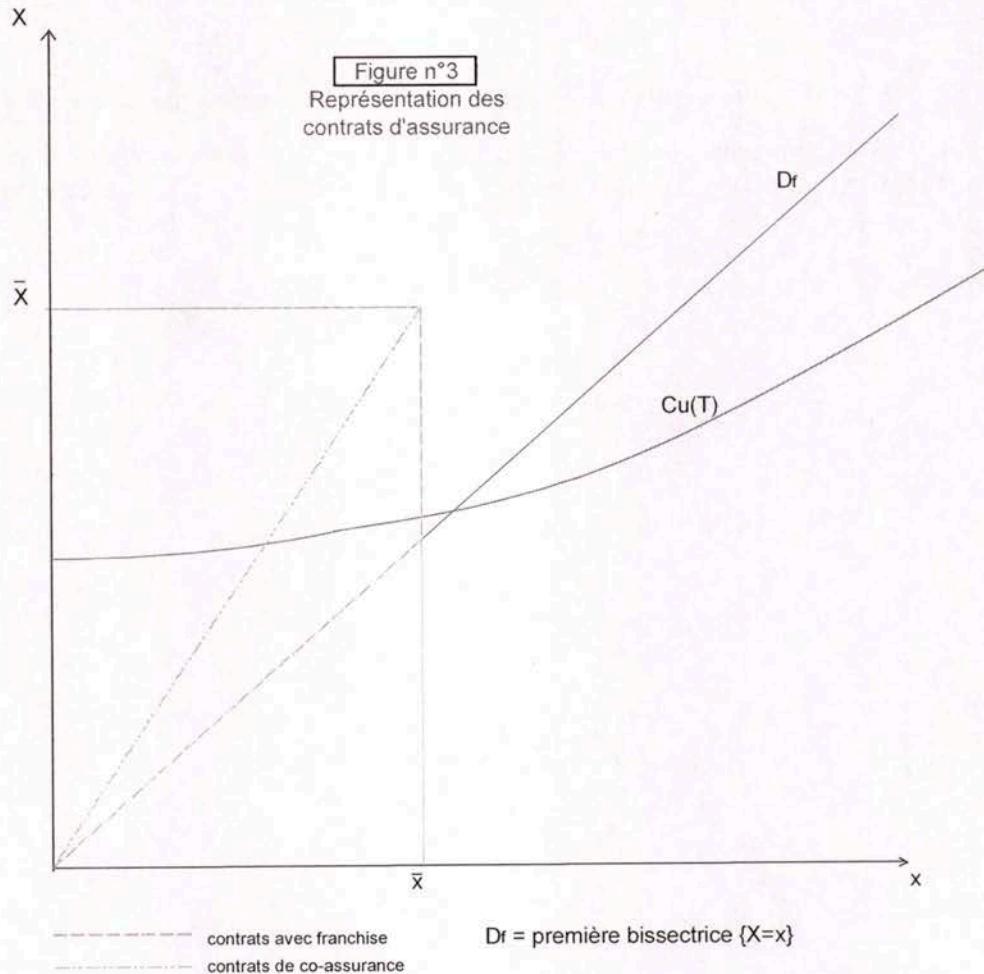
Dans un premier temps, nous considérerons que la décision d'assurance est déconnectée de la décision de prévention, c'est-à-dire que la décision d'assurance est déterminée préalablement et indépendamment de la question de la prévention. Ceci peut se produire, par exemple, dans le cas d'une politique globale d'assurance déterminée en amont au niveau d'une grande entreprise, alors que les décisions de prévention sont décentralisées.

Les contrats d'assurance examinés dans ce cadre peuvent être représentés graphiquement comme indiqué sur la [figure n°3](#). Tout se passe comme si, pour l'agent assuré, les dommages encourus hors assurance ( $\bar{x}$ ,  $\bar{X}$ ) étaient remplacés par les dommages correspondant au point ( $x$ ,  $X$ ) choisi sur la courbe des contrats :

- à un contrat de franchise  $F$  correspondront les dommages encourus, respectivement avec et sans prévention :  $x = \inf(F, \bar{x})$  et  $X = \inf(F, \bar{X})$
- à un contrat de co-assurance de paramètre  $0 \leq \alpha < 1$  correspondront les dommages encourus, respectivement avec et sans prévention :  $x = \alpha \bar{x}$  et  $X = \alpha \bar{X}$ .

Puis nous examinerons un aspect des décisions prises conjointement, assurance et / ou prévention. Pour ces questions plus complexes, nous considérerons ici une assurance classique fournie par un assureur de métier traitant avec un large ensemble de clients. Cet assureur sera supposé « aveugle », c'est-à-dire qu'il ne peut pas observer les choix de prévention individuels, et qu'il ne perçoit l'impact des choix de prévention qu'à travers la perte moyenne de ses assurés.

<sup>5</sup> A ce stade, cette prime peut correspondre à la prime d'un contrat d'assurance conclu auprès d'un assureur de métier, mais aussi à une des formes élargies d'assurance évoquées en première partie, par exemple une clause contractuelle liant des acteurs du transport, dont le coût se retrouve normalement intégré dans le coût global du contrat.



**2.1.2.1. Cas des contrats avec franchise :**

Après avoir montré qu'une franchise  $F$  peu élevée détruit la prévention, nous verrons que, pour un agent CARA, tout accroissement d'assurance à partir d'une issue quelconque  $(\bar{x}, \bar{X})$  diminue la propension à la prévention<sup>6</sup> mesurée par la fonction  $t_1(x, X)$  introduite au 2.1.1.1.. Ce second point traduit la substituabilité entre prévention et assurance avec franchise : si la consommation d'assurance augmente, alors la valeur attachée à la prévention diminue<sup>7</sup>.

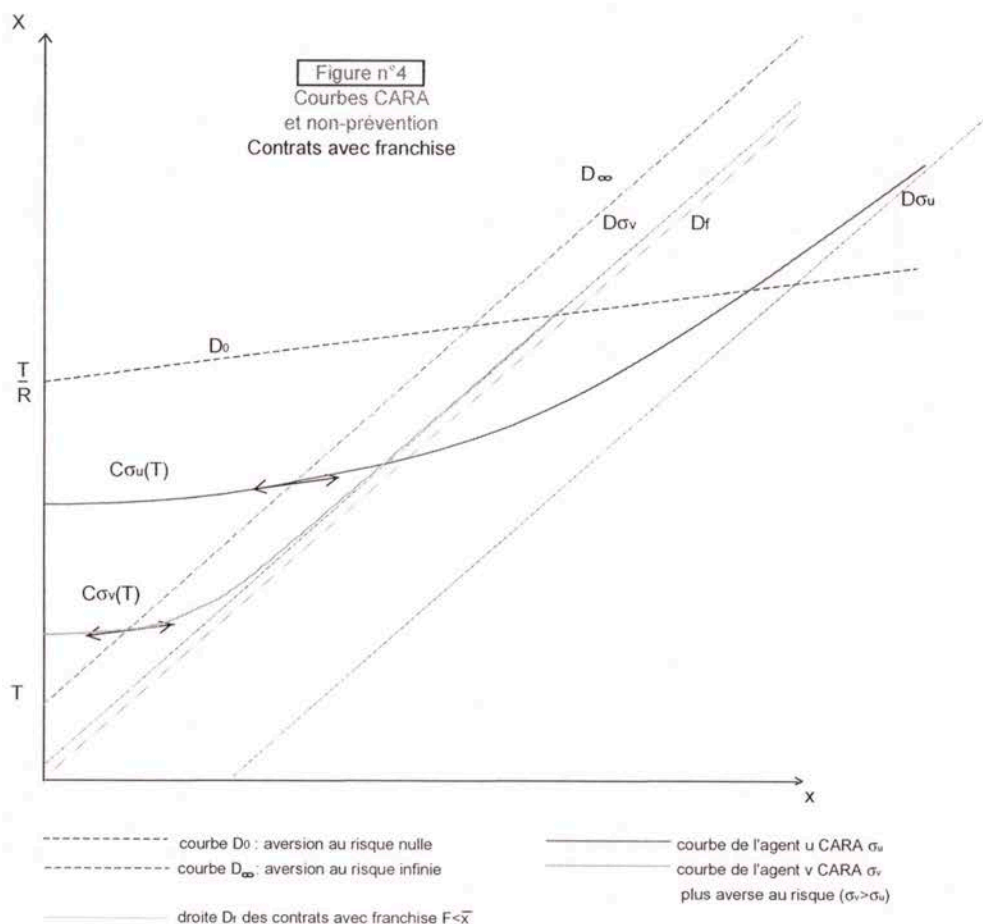
Troisième point : si l'on se limite aux contrats de franchise  $F$  inférieure aux montants  $\bar{x}$  et  $\bar{X}$  des dommages encourus sans assurance, un agent CARA suffisamment averse au risque passera systématiquement à la non-prévention une fois assuré.

cf. figure n°4

<sup>6</sup> excepté le cas  $\bar{x} > F > \bar{X}$  qui paraît peu plausible en pratique : il faut une technologie de prévention qui réduise la fréquence de l'aléa au prix d'une augmentation des dommages, et en outre un choix d'assurance intermédiaire entre les deux niveaux de dommages. Cela constitue néanmoins une petite différence entre les deux sous-types du type de prévention I (cf. tableau en introduction du chapitre, page 55).

<sup>7</sup> dans un cadre de choix discret, on ne peut pas traduire la substituabilité directement par une réduction de consommation de prévention, comme dans le cas continu.

Pour formaliser cela, nous représenterons les options de prévention par les notations  $P$  (prévention) et  $\bar{P}$  (non-prévention), et nous comparerons ces options du point de vue de l'agent assuré avec un niveau de franchise  $F$ , en notant cette relation de préférence  $\succ_F$ .



On notera  $x(F)$  (respectivement  $X(F)$ ) le montant des dommages encourus par l'agent assuré en cas de réalisation de l'aléa avec (respectivement, sans) prévention.

**Proposition n°4 :**

- 1)  $(\forall u \text{ concave})(\forall \bar{x} > 0)(\forall \bar{X} > 0)(\exists F \text{ tq } (\forall F < \bar{F})(\bar{P} \succ_F P))$
- 2)  $(\forall u \text{ CARA})(\forall \bar{x} > 0)(\forall \bar{X} > 0)(\forall F \text{ tq } (F \geq \bar{x}) \vee (F \leq \bar{X}))(F' < F \Rightarrow t_1(x(F'), X(F')) < t_1(x(F), X(F)))$
- 3)  $(\forall u \text{ CARA})(\forall \bar{x} > 0)(\forall \bar{X} > 0)(\exists \sigma_0 \text{ tq } (\forall \text{ agent CARA de } \sigma > \sigma_0)(\forall F \leq \inf(\bar{x}, \bar{X}))(\bar{P} \succ_F P))$

Démonstration :

Le premier point résulte du fait que, d'après les propriétés établies précédemment pour les courbes  $C(T)$ , le lieu des contrats de franchise suffisamment peu élevées est situé sous  $C(T)$ . Il suffit de prendre  $F < T$  dans le cas général, ou pour une fonction  $u$  donnée :  $F < X(x=0)$ .

Le second point résulte de l'écriture des  $\frac{\partial t_l}{\partial x}$  et  $\frac{\partial t_l}{\partial X}$  :

\* si la franchise initialement considérée est  $\bar{x} < F < \bar{X}$ , un petit accroissement d'assurance (ici, une réduction de franchise) se traduit par  $dX < 0$  et  $dx = 0$ . Or  $\frac{\partial t_l}{\partial X} > 0$  donc  $t_l(x, X)$  va diminuer (cela est valable quelle que soit  $u$  concave; si au contraire  $\bar{x} > F > \bar{X}$ ,  $t_l(x, X)$  va augmenter), ce qui signifie que la valeur attachée à la prévention par l'agent va diminuer. La consommation de prévention diminue (basculement sur la non-prévention) si  $t_l(x, X)$  devient  $< T$ .

\* de même, si la franchise initialement considérée est telle que  $F \leq \bar{x}$  et  $F \leq \bar{X}$ , un accroissement d'assurance se traduit par  $dX=dx < 0$ , donc :

$$dt_l = \left( \frac{\partial t_l}{\partial x} + \frac{\partial t_l}{\partial X} \right) dx = \frac{-r * u'(w-x-t_l) + R * u'(w-X)}{r * u'(w-x-t_l) + (1-r) * u'(w-t_l)} dx \quad (\text{cf. lemme 2}).$$

On aura donc  $dt_l < 0$  dès que la pente de la courbe  $C(t_l(x, X))$  est  $< 1$  (selon (E5) du lemme 3 – annexe 1, p.95). C'est le cas pour les fonctions CARA comme on l'a vu précédemment.

Pour le troisième point, il suffit d'appliquer la proposition 2 avec  $\sigma_0 = \frac{\ln(\frac{R}{r})}{T}$  : pour  $\sigma > \sigma_0$ , l'asymptote sera située au-dessus de la première bissectrice (qui est la droite sur laquelle sont représentés les contrats avec franchise  $F < \bar{x}$ , qui donnent des issues symétriques  $x=X=F$ ). En outre, la courbe  $C(T)$  restera toujours au-dessus de la première bissectrice sans la couper (la pente de  $C(T)$  restant strictement inférieure à 1,  $C(T)$  ne peut retraverser une parallèle à la première bissectrice « vers le haut » donc  $C(T)$  reste toujours au-dessus de son asymptote) et donc aucun point représentant le contrat avec franchise ne sera situé dans la zone de prévention.

CQFD

Remarques :

- on peut généraliser le deuxième point pour une large gamme de contrats d'assurance, toujours dans le cadre des fonctions CARA : toute augmentation d'assurance non discriminante, c'est-à-dire qui diminue symétriquement les dommages encourus avec et sans prévention, diminue la propension à la prévention. En effet, la démonstration ci-dessus reste valable dès lors que  $dx=dX$ .

Une augmentation d'assurance est dite ici non discriminante quand le lieu des contrats possibles considéré est une portion de droite parallèle à  $D_f$ , sur laquelle  $(X - x)(F) = \text{constante}$ . Cela peut correspondre au cas de la franchise tel que vu ci-dessus, mais également au cas dans lequel la règle de remboursement de dommage prévoit une expertise systématique après réalisation de l'aléa, avec pénalité fixe au cas où l'expertise constaterait que la technologie de prévention n'a pas été mise en œuvre

- le troisième point signifie que la présence d'assurance avec franchise détruit la prévention pour les agents (CARA) suffisamment averses au risque, ce qui est a priori contre-intuitif, mais ce qui se visualise bien avec le type de représentation adopté ici.

#### Cas particulier d'un agent neutre au risque :

Montrons que pour un agent neutre au risque<sup>8</sup>, si l'on se limite aux contrats de franchise  $F$  inférieure au montant des dommages encourus avec prévention et inférieure à  $X_0(T) = \frac{T}{R-r}$ , le même comportement de passage systématique de la prévention à la non-prévention sera observé.

Pour montrer cela, il suffit d'identifier l'intersection entre la droite d'indifférence de l'agent neutre au risque  $\left\{ X = \frac{r}{R}x + \frac{T}{R} \right\}$  et la première bissectrice, dont l'ordonnée est :

$$X_0(T) = \frac{T}{R-r}.$$

Dans ce cas tout contrat de franchise tel que  $X = x < X_0(T)$  sera situé en dehors de la zone de prévention.

#### **2.1.2.2 Cas des contrats avec co-assurance :**

Montrons qu'une faible valeur de  $\alpha$  (faible part résiduelle de dommages restant à la charge de l'assuré) détruit la prévention et que, pour un agent CARA, tout accroissement d'assurance à partir d'une issue quelconque dans laquelle la prévention réduit le dommage ( $\bar{x} < \bar{X}$ ) diminue la propension à la prévention.

De façon similaire aux contrats avec franchise, on désignera par  $\succ_\alpha$  la relation de préférence correspondant au classement des options  $P$  (prévention) et  $\bar{P}$  (non-prévention) par l'agent assuré au niveau de co-assurance  $\alpha$ . On notera  $x(\alpha)$  (respectivement  $X(\alpha)$ ) le montant des dommages encourus par l'agent assuré en cas de réalisation de l'aléa avec (respectivement, sans) prévention.

<sup>8</sup> Rappelons ici que l'on considère la décision d'assurance comme déconnectée de la décision de prévention : l'agent en charge de la décision de prévention peut être neutre au risque, alors que celui qui est en charge de la décision d'assurance est averse au risque.



**Proposition n°5 :**

- 1)  $(\forall u \text{ concave})(\forall \bar{x} > 0)(\forall \bar{X} > 0) (\exists \underline{\alpha} \text{ tq } (\forall \alpha < \underline{\alpha}) (\bar{P} \succ_{\alpha} P))$
- 2)  $(\forall u \text{ CARA})(\forall \bar{x} > 0)(\forall \bar{X} > \bar{x}) (\alpha' < \alpha \Rightarrow t_l(x(\alpha'), X(\alpha')) < t_l(x(\alpha), X(\alpha)))$

Démonstration :

Pour le premier point, le raisonnement est le même que précédemment, la courbe des contrats passant nécessairement au-dessous de la courbe C(T) d'après les propriétés des C(T) établies précédemment (il suffit de prendre  $\alpha < \frac{T}{\bar{X}}$  dans le cas général ou  $\alpha < \frac{X(x=0)}{\bar{X}}$  pour une fonction u donnée).

Le même type de démonstration peut s'appliquer, plus généralement, pour tout type d'assurance qui réduit fortement les dommages encourus.

Pour le second point,  $\frac{\bar{X}}{x} > 1$  implique que sur la droite des contrats de co-assurance  $\left\{ \frac{X}{x} = \frac{\bar{X}}{\bar{x}} \right\}$ , pour une augmentation de co-assurance se traduisant par

$$dx = d\alpha * \bar{x} < 0 \text{ (car } d\alpha < 0) \text{ et par } dX = d\alpha * \bar{X} = (d\alpha * \bar{x}) * \left(\frac{\bar{X}}{\bar{x}}\right) :$$

$$dt_l = \left(\frac{\partial t_l}{\partial x} + \frac{\partial t_l}{\partial X} * \frac{\bar{X}}{\bar{x}}\right) dx < \left(\frac{\partial t_l}{\partial x} + \frac{\partial t_l}{\partial X}\right) dx \text{ (car } \frac{\partial t_l}{\partial X} > 0, \frac{\bar{X}}{\bar{x}} > 1 \text{ et } dx < 0)$$

En réécrivant cela comme au 2.1.2.1., on retrouve la même condition suffisante obtenue pour la franchise, portant sur la pente de la courbe C( $t_l(x, X)$ ). Donc, de même, si la pente est strictement inférieure à 1, ce qui est le cas avec une fonction CARA, on a montré la propriété. CQFD

Remarques :

- dans le cas de la co-assurance, on retrouve comme pour la franchise une certaine substituabilité entre assurance et prévention, au sens où la valeur attachée à la prévention par l'agent va diminuer quand le niveau d'assurance augmente
- le second point de la proposition 5 est applicable aux technologies diminuant à la fois probabilité d'aléa et montant des dommages encourus ( $\bar{x} < \bar{X}$ ), c'est-à-dire pour un sous-type de prévention I. En fait, en considérant l'ensemble des résultats de cette partie 2.1., si l'on voulait distinguer plus nettement deux sous-types au sein du type I, il faudrait plutôt considérer les technologies de prévention qui réduisent à la fois la probabilité d'aléa et le dommage net du coût du recours à la prévention ( $\bar{x} + T < \bar{X}$ ). Dans ce cas seulement, l'influence de la diminution du degré d'aversion au risque et celle de l'augmentation du niveau d'assurance (avec franchise ou co-assurance) sont bien toujours défavorables à la prévention, conformément à l'intuition commune.



### 2.1.2.3. Décision conjointe d'assurance et de prévention, dans le cas particulier d'un agent neutre au risque

Montrons qu'un agent neutre au risque peut avoir intérêt à adopter un comportement de « passager clandestin » si une proportion suffisante de la population des assurés a recours à la prévention : l'agent ne choisit pas la prévention, alors même qu'il l'aurait choisie en l'absence d'assurance.

Nous noterons  $\bar{x}$  et  $\bar{X}$  les montants des dommages totaux respectivement avec et sans prévention, et  $x$  (respectivement  $X$ ) le montant restant à la charge de l'assuré avec (sans) prévention.

L'assureur « aveugle »<sup>9</sup> va pouvoir constater un montant de pertes moyen fonction de la proportion  $p$  des assurés qui choisissent la prévention et qui peuvent être de degrés d'aversion au risque très variables. L'assureur n'observera pas cette proportion mais il observera :

- le dommage moyen en résultant : 
$$px + (1-p)R\bar{X} = \bar{A}$$
- la probabilité d'accident : 
$$pr + (1-p)R = \bar{\rho}.$$

L'assureur modulera la prime d'assurance demandée à l'assuré en fonction du montant restant à sa charge. On supposera pour simplifier que l'assureur n'offre qu'un seul contrat.

Pour un contrat de co-assurance, l'agent assuré encourra, selon son choix de prévention, le dommage  $x = \alpha\bar{x}$  ou le dommage  $X = \alpha\bar{X}$ . Pour un contrat avec franchise  $F < \inf(\bar{x}, \bar{X})$ , il encourra le dommage  $x = X = F$ .

Pour un contrat avec franchise  $F$ , l'assureur demandera une prime

$$\Pi = \bar{A} - \bar{\rho}F.^{10}$$

Pour un contrat avec co-assurance, la proportion  $\alpha$  des dommages restant à la charge de l'assuré, la prime sera :

$$\Pi = \bar{A}^*(1 - \alpha).$$

Supposons que la situation initiale soit telle que  $R\bar{X} - r\bar{x} - T > 0$ , c'est-à-dire que l'agent non assuré choisit la prévention.

<sup>9</sup> Cette hypothèse n'est pas réaliste dans les cas d'assurance procurée par un acteur de la chaîne de transport de façon annexe à ses prestations classiques (cf. 1.). Dans ce cas, au contraire, celui qui joue le rôle d'assureur dispose d'informations très privilégiées.

<sup>10</sup> Pour simplifier, on considère que la prime n'est pas chargée, c'est-à-dire que l'assureur recherche simplement une espérance de profit global nulle. Cela ne veut pas dire que le profit qu'il réalise sur certains segments de clientèle est toujours positif. Ici, il pourrait faire des gains sur certains segments, et des pertes sur le segment éventuel des agents neutres au risque. Ceux-ci décideraient d'ailleurs de s'assurer uniquement pour cette raison, n'ayant pas de raison de s'assurer pour une espérance de gain nulle s'ils sont neutres au risque.

L'arbre de choix de l'agent neutre au risque peut être représenté comme suit :

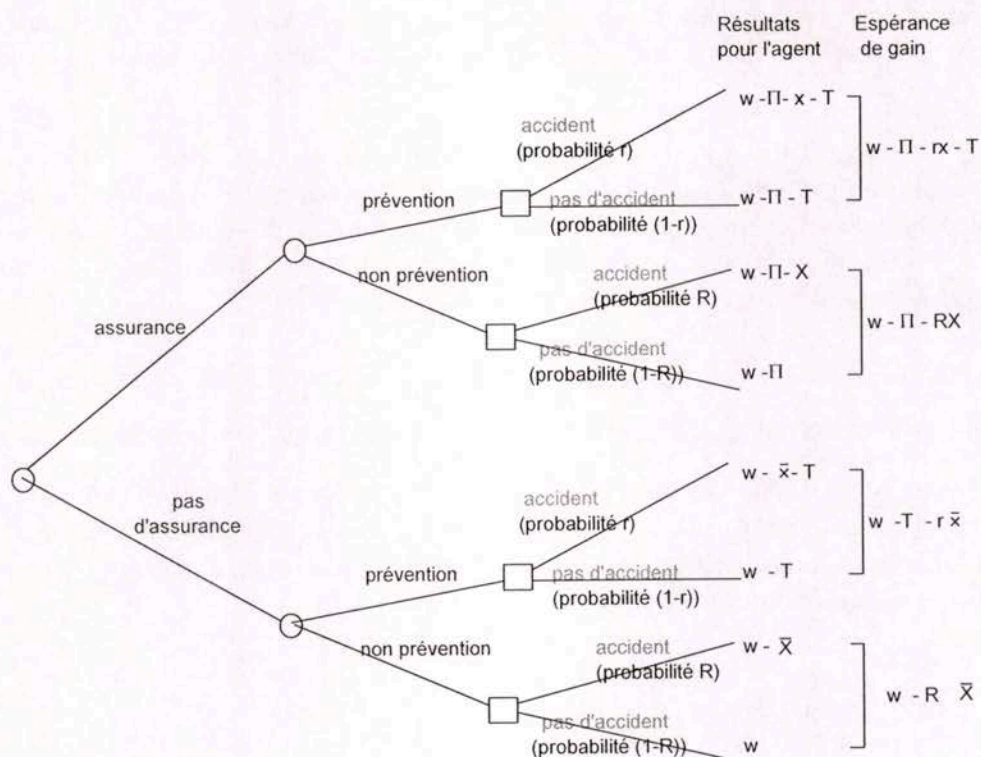


Figure n°5

On trouve donc que la décision optimale de l'agent assuré sera la prévention si et seulement si  $RX - rx - T > 0$  (c'est-à-dire  $F > \frac{T}{R-r}$  ou  $\alpha > \frac{T}{R\bar{X} - r\bar{x}}$ ).

Contrat avec franchise :

Supposons que  $F < \frac{T}{R-r}$ . La variation d'utilité de l'agent neutre au risque par rapport à sa situation initiale de non assuré avec prévention sera, s'il vient à s'assurer avec franchise en supprimant la prévention :

$$T - \Pi + r\bar{x} - RF = T - \bar{A} + \bar{p}F + r\bar{x} - RF$$

soit :

$$T + p(-r\bar{x} + R\bar{X} + rF - RF) + RF - R\bar{X} + r\bar{x} - RF = T + p[F(r-R) + R\bar{X} - r\bar{x}] - R\bar{X} + r\bar{x}$$

C'est une fonction décroissante de F car  $r < R$ . Elle sera positive si et seulement si  $p > p_F(T)$  où :

$$p_f(T) = \frac{R\bar{X} - r\bar{x} - T}{R\bar{X} - r\bar{x} - F(R-r)}$$

On a donc mis en évidence l'intérêt pour un agent neutre au risque d'adopter un comportement de « passager clandestin », quand l'assureur est « aveugle », la franchise pas trop élevée et la proportion des agents assurés adoptant la prévention suffisamment élevée.

Remarques :

On a analysé ici uniquement le comportement d'un individu isolé. Si l'on voulait s'intéresser au problème de l'équilibre des contrats, bien entendu, une condition nécessaire pour que l'attitude mise en évidence puisse correspondre à un équilibre serait que la composition de la population, en termes de distribution des fonctions d'utilité et donc de choix de prévention, permette de dépasser la valeur-seuil  $p_f(T)$ .

En pratique, le cas de figure étudié n'est pas forcément facile à trouver : il faut notamment que la franchise soit à la fois inférieure à  $\frac{T}{R-r}$  et suffisamment élevée pour que la prévention ne soit pas détruite pour une trop grande proportion d'assurés (sinon  $p < p_f(T)$ ). C'est surtout dans le cas d'une population d'assurés en très grande partie fidèle à la prévention avec assurance, avec une faible population d'agents neutres au risque, que le cas étudié théoriquement pourrait se réaliser.

Cas de la co-assurance :

Le raisonnement précédent s'applique également dans le cas de la co-assurance.

Le gain relatif à s'assurer sans prévention s'écrit :

$$T - \Pi + r\bar{x} - R\alpha\bar{X} = T - \bar{A} + \alpha\bar{A} + r\bar{x} - R\alpha\bar{X}$$

qui est une fonction décroissante de  $\alpha$ .

Le comportement de passager clandestin est également possible avec  $\alpha < \frac{T}{R\bar{X} - r\bar{x}}$

$$\text{pour } p > \frac{R\bar{X} - r\bar{x} - T}{(1-\alpha)(R\bar{X} - r\bar{x})} = p_\alpha(T).$$

## 2.2. Analyse d'une technologie de prévention de type II

On examine cette fois-ci une technologie de prévention qui vise à diminuer le dommage subi en cas de réalisation du risque, mais au prix d'une augmentation de la fréquence de ce risque. Pour illustrer simplement à quel type de situation concrète ce contexte théorique pourrait s'appliquer, on peut imaginer, par exemple, un vaccin parfaitement efficace mais qui présenterait des effets secondaires mineurs mais fréquents.

Dans le domaine du transport, cela pourrait correspondre par exemple au développement d'actions de correction rapide en cas de réalisation de l'aléa, qui induiraient par contrecoup un relâchement dans l'évitement quotidien de l'aléa. Ainsi, disposer en permanence de pièces de rechange (moteurs, par exemple, pour un navire) crée peu d'incitations pour ménager le moteur en exploitation, avec un risque de casse qui peut s'accroître, le dommage final étant alors perçu comme moins coûteux, notamment en pertes d'exploitation, car plus vite réparé.

Un autre type de situation, plus directement lié au transport multimodal : un chargeur peut choisir de reconfigurer sa logistique conjointement à l'utilisation d'une solution multimodale, par exemple en utilisant le transport multimodal pour externaliser partiellement le stockage de ses produits afin de réduire son stockage de proximité. En procédant ainsi, la probabilité de rupture du stock est plus élevée, mais en cas de rupture le chargeur dispose d'un stock embarqué mobilisable en urgence, réduisant ainsi le dommage subi en cas de rupture du stock de proximité. Symétriquement, un chargeur peut choisir entre grouper ses envois pour l'équivalent de 5 ou 6 camions par départ de navire, dans le cadre d'un trajet combiné maritime et routier, ou faire ses envois par camion avec un trajet intégralement routier (la taille du risque de perte de cargaison est alors réduite au chargement d'un seul camion, mais la fréquence d'accident est plus élevée).

On nommera ce type de prévention « prévention de type II » par opposition à la « prévention de type I » étudiée au 2.1.

Le modèle est alors identique à celui présenté ci-dessus, si ce n'est que cette fois-ci  $r$  est supérieur à  $R$  et  $x$  est nécessairement inférieur à  $X$ .

### 2.2.1. Agent non assuré

Les résultats préliminaires demeurent valides, à ceci près que :

- pour un agent à aversion au risque nulle, la courbe d'indifférence  $C(T)$  dans le plan  $(x, X)$  reste la droite  $D_0$  définie par  $\{X = \frac{r}{R}x + \frac{T}{R}\}$ , mais la pente de  $D_0$  est maintenant supérieure à 1
- pour un agent à aversion au risque infini, la courbe  $C(T)$  est toujours la droite  $D_\infty$  définie par  $\{X = x + T\}$ , mais elle ne va plus croiser  $D_0$  pour  $\{x > 0\}$
- le lemme 3 devient :

**Lemme 3 :**

Pour tout  $T \geq 0$ , l'ensemble des points  $(x, X)$  tels que  $\{t_l(x, X) = T; x \geq 0\}$  est une courbe  $C(T)$  représentant une fonction continue et croissante.

Sa pente reste strictement inférieure à  $\frac{r}{R}$  et elle reste comprise entre les droites  $D_0$  et  $D_\infty$ .

**Démonstration :**

Le seul point qui n'est pas totalement trivial est l'absence d'intersection avec la droite  $D_\infty$ .

Ceci peut se prouver par un argument similaire à celui utilisé pour la fin du lemme 3 :

- si  $C(T)$  avait un point d'intersection avec  $D_\infty$ , au premier point d'intersection dans la zone  $\{x > 0\}$ , sa pente serait  $\frac{r}{R}$  qui est supérieure à 1, pente de  $D_\infty$ .
- donc  $C(T)$  croiserait  $D_\infty$  par en dessous, alors qu'elle est située au-dessus au niveau de l'ordonnée  $\{x=0\}$  (l'équivalent-certain de la loterie avec prévention pour  $x=0$  étant situé entre  $T$  et  $(\frac{T}{R})$ ).

On en déduit que la pente de  $C(T)$  est toujours inférieure à  $\frac{r}{R}$  dans le demi-plan  $\{x > 0\}$ , car :

- la pente de  $C(T)$  est égale à  $\frac{dX}{dx} = \frac{r * u'(w - T - x)}{R * u'(w - X)}$
- or  $u'$  est décroissante, et  $C(T)$  demeure dans le demi-plan  $\{X > x + T\}$  pour  $x > 0$ , d'après ce que l'on vient de voir, donc :  $\frac{dX}{dx} < \frac{r}{R}$ .

CQFD

**2.2.1.1. Eléments de statique comparative**

Montrons que l'appel à la prévention va en croissant avec le degré d'aversion au risque. Ceci est le résultat le plus marqué pour ce type de prévention :

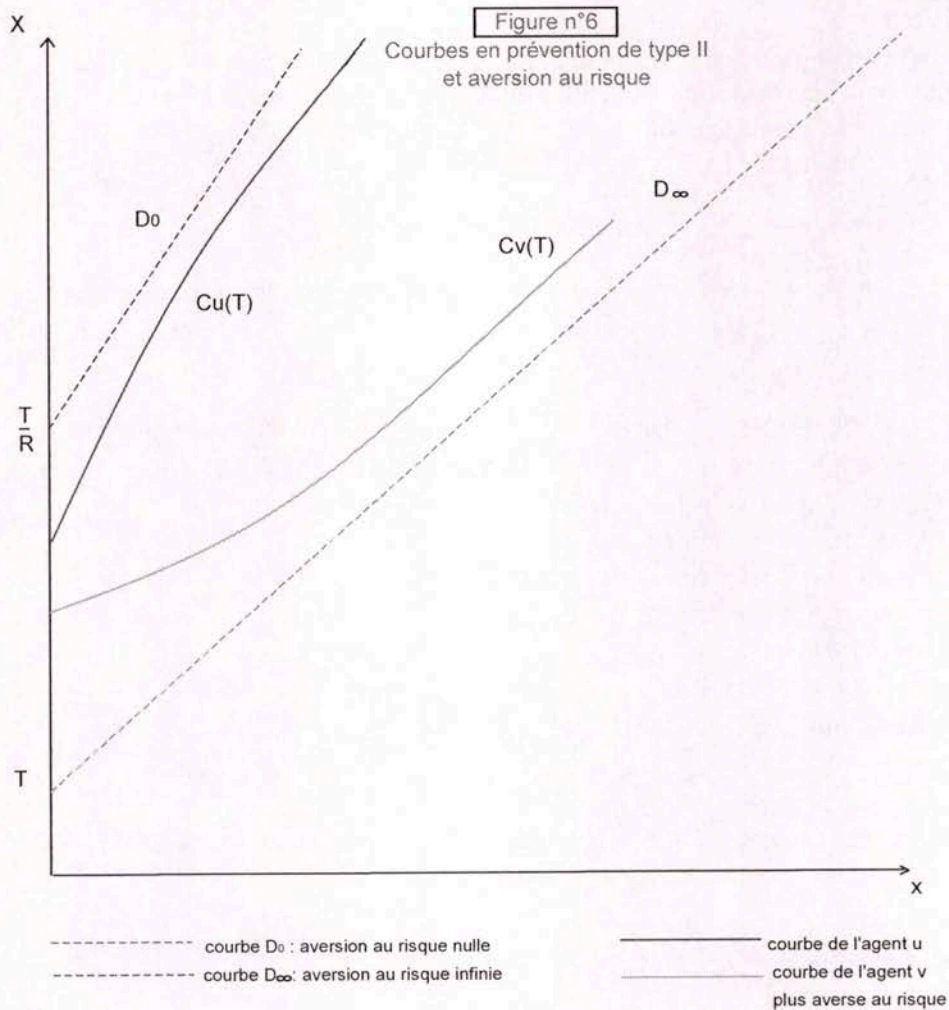
**Proposition n°6 :**

Si  $v$  est plus concave que  $u$ ,  $C_v(T)$  reste en dessous de  $C_u(T)$

Voir figure n°6.

Ce résultat se démontre en reprenant simplement la démarche adoptée pour la proposition n°1 du 2.1.1.2..

On constate, en rapprochant les propositions 3 et 6, que le résultat de statique comparative obtenu dans le cas de l'auto-assurance est le même que celui obtenu pour la prévention de type II.



**2.2.1.2. Propriétés des courbes d'indifférence pour un agent CARA**

Montrons que pour des fonctions d'utilité à aversion au risque constante (CARA), les courbes d'indifférence sont convexes pour  $\sigma$  élevé, et concaves pour  $\sigma$  faible, avec des asymptotes parallèles à la première bissectrice :

**Proposition n°7 :**

Pour tout  $\sigma > 0$ , la courbe  $C_\sigma(T)$  admet une asymptote  $D_\sigma \{ X = x + T - \mu_\sigma \}$  où  $\mu_\sigma$  est une fonction décroissante de  $\sigma$ , qui tend vers 0 quand  $\sigma$  tend vers  $+\infty$  et qui tend vers  $+\infty$  quand  $\sigma$  tend vers 0.

Il existe un seuil  $\sigma_{(T)}$  tel que :

\* si  $\sigma > \sigma_{(T)}$  alors :  $C_\sigma(T)$  est convexe, sa pente est toujours inférieure à 1 et l'asymptote est approchée par le dessus

\* si  $\sigma < \sigma_{(T)}$  alors :  $C_\sigma(T)$  est concave, sa pente est toujours supérieure à 1 et l'asymptote est approchée par le dessous.

Démonstration :

La démonstration suit celle de la proposition 2. Là où elles se différencient, c'est dans la possibilité pour la pente de devenir supérieure à 1, et corrélativement pour le résidu asymptotique de devenir négatif.

La pente est :

$$P_{\sigma}(x) = \frac{r * e^{\sigma(x+T)}}{r * e^{\sigma(x+T)} + (1-r) * e^{\sigma T} - 1 + R}$$

elle sera donc inférieure ou supérieure à 1 (et ce pour tout x) selon le signe de  $[e^{\sigma T} * (1-r) - (1-R)]$ , qui détermine également le signe du résidu asymptotique (voir équation  $(E_{\sigma})$  de la partie 2.1.1.3.).

On définit alors  $\sigma_{(r)}$  par :  $e^{\sigma_{(r)}T} * (1-r) = (1-R)$ , ce qui est possible car ici  $R < r$ .

Le résultat sur la concavité et la convexité s'obtient par l'écriture de la dérivée de  $P_{\sigma}(x)$ , qui est de la forme :

$$\frac{-[(1-r) * e^{\sigma T} - 1 + R] * \frac{e^{-\sigma(x+T)}}{r} * (-\sigma)}{\left[1 + [(1-r) * e^{\sigma T} - 1 + R] * \frac{e^{-\sigma(x+T)}}{r}\right]^2}$$

dont le signe est celui de  $[e^{\sigma T} * (1-r) - (1-R)]$ .

Remarque :

Dans le cas limite  $\sigma = \sigma_{(r)}$ , la courbe  $C_{\sigma}(T)$  est une droite parallèle à  $D_{\infty}$ .

**2.2.2. Agent assuré**

**2.2.2.1. Cas des contrats avec franchise**

Montrons que, pour tout agent averse au risque, une franchise F peu élevée détruit la prévention et que, pour un agent CARA, tout accroissement d'assurance à partir d'une issue quelconque  $(\bar{x}, \bar{X})$  diminue la propension à la prévention<sup>11</sup> ou maintient l'agent dans une situation où il refuse la prévention.

cf. figure n°7

**Proposition n°8 :**

- 1)  $(\forall u \text{ concave})(\forall \bar{x} > 0)(\forall \bar{X} > \bar{x})(\exists F \text{ tq } (\forall F < F)(\bar{P} \succ_F P))$
- 2)  $(\forall u \text{ CARA})(\forall \bar{x} > 0)(\forall \bar{X} > \bar{x})(\forall F) [(\frac{\partial}{\partial F}(t_1(x(F), X(F)))) > 0 \vee (t_1(x(F), X(F)) < T)]$

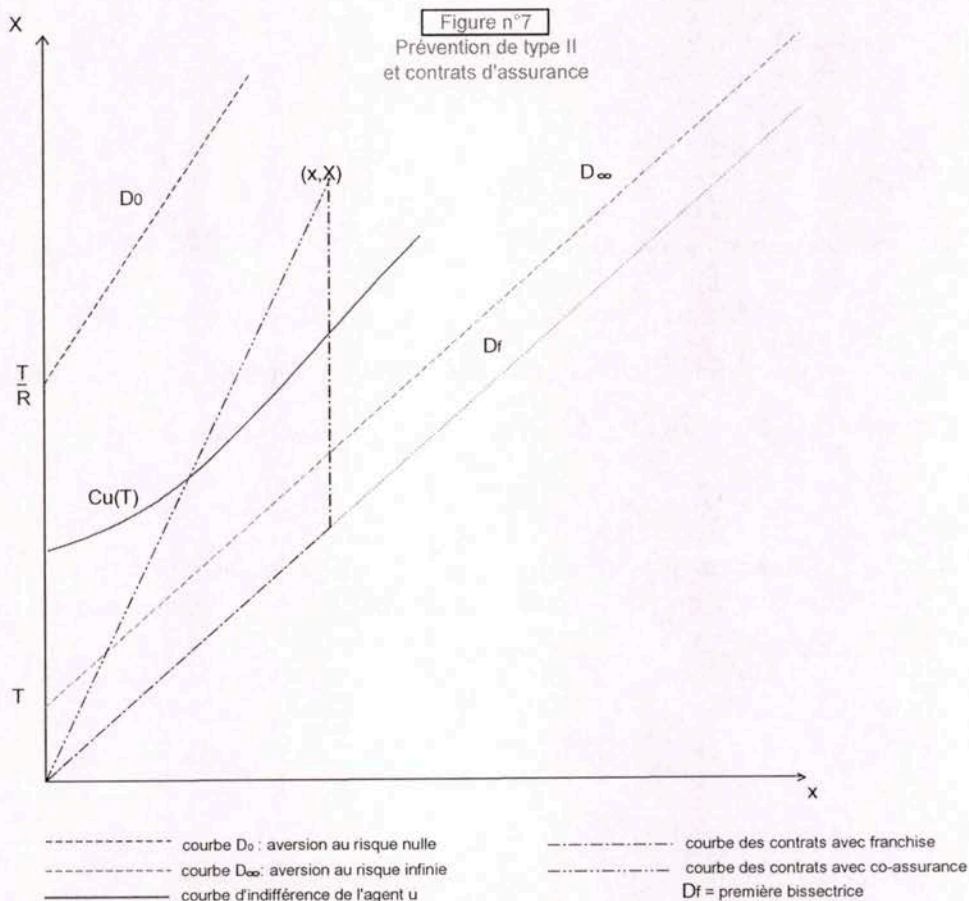
<sup>11</sup> excepté le cas  $\bar{x} > F > \bar{X}$  qui est non pertinent car  $\bar{x} < \bar{X}$  en prévention de type II. Ce type de résultat peut se généraliser à tout agent averse au risque pour lequel les effets-revenu sont négligeables, ce qui permet alors de considérer que  $t_1$  est indépendant de  $w$ .



Démonstration :

Le premier point se démontre comme au 2.1.2.1. ou, pour des montants de franchise moins faibles, en notant que la courbe des contrats de franchise, à partir de  $(\bar{x}, \bar{X})$  où  $\bar{x} < \bar{X}$ , descend verticalement de  $(\bar{x}, \bar{X})$  jusqu'à rencontrer la première bissectrice  $D_f$ , puis descend le long de cette bissectrice.

Or la première bissectrice est située en dessous de  $D_\infty \{X = x + T\}$ , elle même située en dessous de toute courbe  $Cu(T)$  d'après ce qui précède, donc située hors zone de prévention.



Le second point résulte du fait que, sur le lieu des contrats d'assurance qui vient d'être décrit, de la même façon qu'au 2.1.2. :

- tant que  $\bar{x} < F < \bar{X}$  :  $dF < 0 \Rightarrow dX = dF < 0$  et  $dx = 0$  donc  $dt_1 < 0$
- quand  $F \leq \bar{x}$  : le lieu du contrat est situé sur  $D_f$  donc au-dessous de  $D_\infty$ , ce qui veut dire que de toute façon la prévention n'est pas choisie à ce niveau d'assurance.

CQFD

### 2.2.2.2. Cas des contrats avec co-assurance

Montrons qu'une part résiduelle faible détruit la prévention et que, tout accroissement d'assurance à partir d'une issue de dommages initiale suffisamment favorable à la prévention ( $\bar{x} < \frac{R}{r} \bar{X}$ ) diminue la propension à la prévention.

#### Proposition n°9 :

- 1)  $(\forall u \text{ concave}) (\forall \bar{x} > 0) (\forall \bar{X} > \bar{x}) (\exists \alpha \text{ tq } (\forall \alpha < \alpha) (P \succ_{\alpha} P))$
- 2)  $(\forall u \text{ CARA } \sigma) (\forall \bar{x} > 0) (\forall \bar{X} > \frac{r}{R} \bar{x}) (\forall \alpha) (\frac{\partial}{\partial \alpha} (t_i(x(\alpha), X(\alpha))) > 0)$

#### Démonstration :

Le premier point se démontre comme au 2.1.2.2.

Le second point utilise la démonstration du second point de la proposition n°4, étant donné ici que la pente des courbes d'indifférence reste inférieure à  $\frac{r}{R}$  (lemme 3), donc que la courbe des contrats va couper ces courbes d'indifférence en passant au-dessus.

CQFD

Par contre, on ne peut plus conclure directement à la diminution systématique de la propension à la prévention quand le coefficient de co-assurance diminue, si l'on se trouve dans le cas où  $\bar{x} < \bar{X} < \frac{r}{R} \bar{x}$ .

### 2.3. Une approche normative

Pour tenter une approche normative, se pose tout d'abord la question de la définition que l'on entend donner à l'intérêt collectif. Cette question fondamentale a généré de tous temps de multiples réflexions, philosophiques, éthiques et économiques. Il ne s'agit pas ici de rentrer dans ces débats, mais de choisir une définition simple, susceptible d'être utilisée dans le cadre du modèle considéré.

Diverses considérations portant sur le choix d'une telle définition d'un critère d'intérêt collectif sont évoquées en annexe 3. Ces considérations préalables, ainsi que la volonté de ne pas complexifier le modèle, nous conduisent à retenir comme indicateur de l'utilité collective le solde net des coûts et dommages engagés, en espérance.

Il ne s'agit pas de considérer que cet indicateur imparfait et critiquable doit être obligatoirement retenu pour l'évaluation de l'utilité collective, mais de l'utiliser comme un outil rudimentaire pour une petite analyse théorique.

On prendra donc par la suite une fonction de bien-être collectif qui conduit à valoriser le recours à la prévention par :

$$RX - rx - c$$

où  $c$  est le coût collectif de la prévention.

On définira ainsi une courbe d'indifférence collective à la prévention, permettant de visualiser une zone d'intérêt collectif de la prévention dans le plan de représentation  $(x, X)$ .

Le coût collectif de la prévention, noté  $c$ , n'est pas précisé à ce stade. Il peut inclure le coût direct d'utilisation de la nouvelle technologie supporté par l'agent (ou le coût de production de cette technologie, si l'on prend en compte le fournisseur de la technologie), mais aussi un éventuel différentiel de coûts externes<sup>12</sup>.

Par la suite, on supposera que  $c < T$ . Ce cas se produit, par exemple, en l'absence de différentiel de coûts externes et avec prise en compte du seul coût de production de la nouvelle technologie (ce coût étant supposé inférieur au prix pratiqué  $T$ ). Il se produit également en cas de prise en compte du tarif complet  $T$  mais avec un différentiel de coûts externes favorable à la nouvelle technologie.

Reprenons tout d'abord le cas de la prévention de type I (réduction de la probabilité d'aléa).

<sup>12</sup> Ces différentiels sont des espérances (impact polluant différencié en cas de réalisation du risque, par exemple).

### 2.3.1. Prévention de type I

#### 2.3.1.1. Possibilité de sous-prévention en faible aversion au risque

Montrons que si l'agent est neutre au risque ou pas trop averse au risque, il existe une zone de dommages  $(x, X)$  dans laquelle l'agent ne choisira pas la prévention alors que ce serait collectivement intéressant.

La figure n°8 représente une courbe  $C(T)$  avec zone de non-prévention collectivement non souhaitable.

On notera la préférence collective entre prévention ( $P$ ) et non prévention ( $\bar{P}$ ) par  $\succ_{coll}$  et on notera la préférence individuelle par  $\succ$ .

#### Proposition n°10 :

$(\exists \sigma > 0)(\forall u \text{ concave moins averse au risque qu'un agent CARA } \sigma)(\{(x, X) / P \succ_{coll} \bar{P} \text{ et } \bar{P} \succ P\} \neq \emptyset)$

#### Démonstration :

La caractérisation formelle d'une situation de sous-prévention, telle qu'elle figure dans la proposition, traduit simplement le fait que la courbe  $C(T)$  passe au-dessus de la courbe d'optimum collectif.

Tout d'abord, l'hypothèse  $c < T$  implique que l'agent neutre au risque sous-utilisera la nouvelle technologie par rapport à l'optimum collectif. En effet, sa courbe d'indifférence est parallèle à la courbe d'indifférence collective et, en son intersection avec l'axe des ordonnées :  $R * X_0 = T > c$  donc sa courbe d'indifférence est située au dessus de la courbe d'indifférence collective.<sup>13</sup>

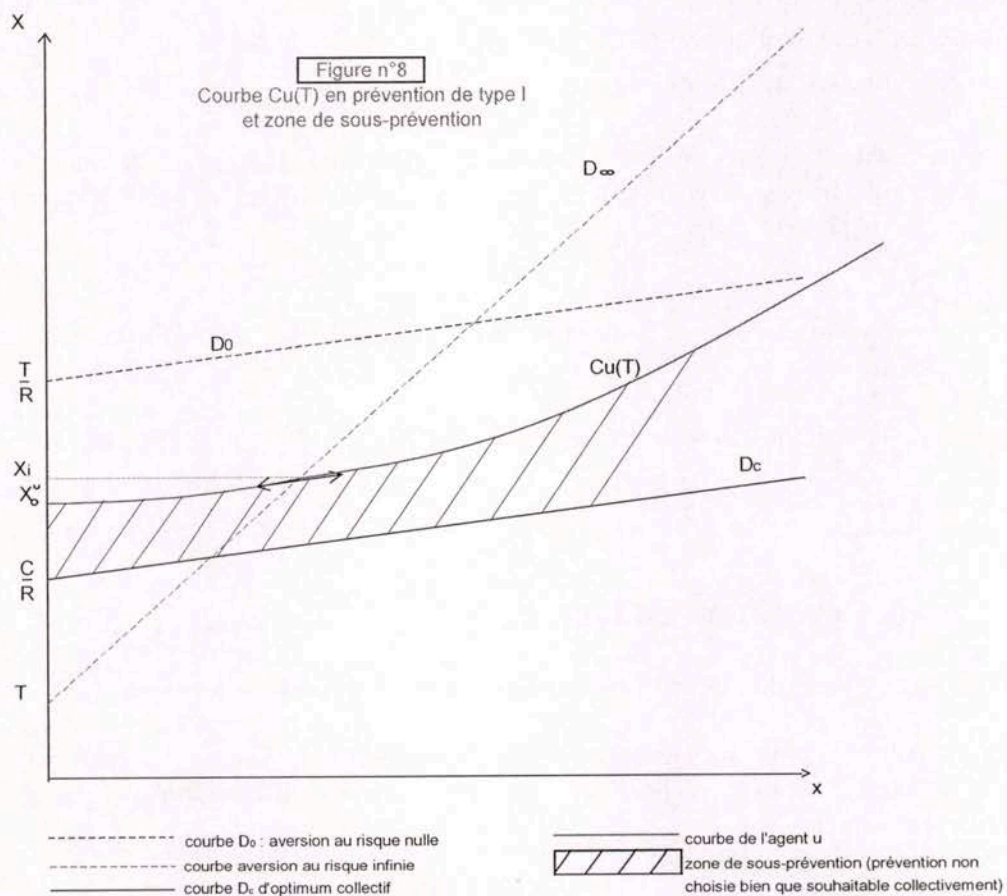
En ce qui concerne les agents aversés au risque, on a montré dans ce qui précède que la pente de  $C_u(T)$  entre son point de départ  $(0, X_0'')$  sur l'axe des ordonnées et son intersection avec la droite  $D_\infty \{X = x + T\}$  restait comprise entre 0 et  $\frac{r}{R}$ , puis que cette pente était supérieure à  $\frac{r}{R}$  après l'intersection. Cela implique que  $C_u(T)$  reste au-dessus de sa tangente  $\{RX = rx + (RX_i - rx_i)\}$  (où  $(x_i, X_i)$  désigne le point d'intersection entre  $C_u(T)$  et  $D_\infty$ ) et donc que  $C_u(T)$  reste au-dessus de la courbe de bien-être collectif  $\{RX - rx - c > 0\}$  si celle-ci coupe  $D_\infty$  au-dessous de  $(x_i, X_i)$ .

<sup>13</sup> Ce type de sous-prévention peut s'interpréter comme un problème de tarification de la technologie de prévention. Ce problème serait résolu pour les agents neutres au risque si la puissance publique était en mesure de recaler  $T$  sur sa valeur collective  $c$ . Mais les autres types de sous-prévention évoqués plus loin sont d'une autre nature, car ils sont observés même dans le cas  $c=T$ .

Il suffit donc (cf. proposition n°1) de prendre  $u$  suffisamment peu averse au risque pour que l'ordonnée  $X_i$  soit supérieure à l'ordonnée de l'intersection entre  $D_\infty$  et la courbe d'indifférence collective<sup>14</sup> (figure n°8).

CQFD

A noter que si l'aversion au risque est forte et si  $c > RT$ , il apparaît une zone de prévention choisie, non collectivement souhaitable, pour de petites valeurs de dommage  $x$ .



<sup>14</sup> Cette dernière est égale à  $\frac{c - rT}{R - r}$ . Comme  $C(T)$  représente une fonction croissante, une condition suffisante

est que l'équivalent-certain  $X_0''$  en  $x=0$  soit supérieur à  $\frac{c - rT}{R - r}$ , ce qui est assuré pour  $X_0''$  suffisamment

proche de  $\frac{T}{R}$  dès lors que  $c < T(1 - r \frac{1 - R}{R})$  (condition un peu plus forte que  $c < T$ , et qui assure que

$$\frac{c - rT}{R - r} < \frac{T}{R} \text{ et donc que pour } u \text{ assez peu averse au risque : } \frac{c - rT}{R - r} < X_0'' < \frac{T}{R}.$$

### 2.3.1.2. Possibilité systématique de sous-prévention pour des agents CARA

Montrons que pour tout agent CARA, quel que soit son degré d'aversion au risque, il existe une gamme de dommages  $(x, X)$  pour laquelle l'agent ne choisirait pas librement la prévention alors que ce serait collectivement intéressant

#### Proposition n°11 :

Pour tout  $\sigma > 0$ , la courbe  $C_\sigma(T)$  passe au-dessus de la droite  $D_c \left\{ X = \frac{r}{R}x + \frac{c}{R} \right\}$

La démonstration résulte directement de la proposition 2. Celle-ci implique que pour  $x$  assez grand,  $C_\sigma(T)$  sera voisine de l'asymptote  $D_\sigma \{ X = x + T - \mu_\sigma \}$  et donc demeurera au-dessus de  $D_c$ , ceci quel que soit  $\sigma$  et sans condition sur  $c$ . En outre, plus  $\sigma$  est grand, plus  $\mu_\sigma$  est petit (proposition 2).

Ceci peut être interprété en disant que, pour des issues de dommages  $(x, X)$  « suffisamment élevées » il y aura tendance à la sous-prévention et cela d'autant plus que l'aversion au risque sera forte.

#### Remarque :

La proposition 11 se généralise pour des fonctions IARA et DARA (cf. annexe 2).

Abordons maintenant le cas de la prévention de type II.

## 2.3.2. Prévention de type II

### 2.3.2.1. Possibilité de sous-prévention en faible aversion au risque

Montrons que, pour un agent suffisamment peu averse au risque, il existe une zone de dommages  $(x, X)$  dans laquelle l'agent ne choisira pas la prévention alors que ce serait collectivement intéressant.

#### Proposition n°12 :

$(\exists \sigma > 0)(\forall u \text{ concave moins averse au risque qu'un agent CARA } \sigma) \left( \left\{ (x, X) / P \succ_{coll} \bar{P} \text{ et } \bar{P} \succ P \right\} \neq \emptyset \right)$

La figure n°9 (p.87) représente une courbe  $C(T)$  avec zone de sous-prévention (la prévention n'est pas choisie par l'agent alors qu'elle serait collectivement souhaitable).

Démonstration :

Il s'agit de montrer que la courbe  $C(T)$  passe au-dessus de la droite  $D_c \left\{ X = \frac{r}{R}x + \frac{c}{R} \right\}$ .

Dans ce qui précède, on a montré que  $C(T)$  débutait en  $x=0$  d'autant plus près de l'ordonnée  $\frac{T}{R}$  que  $u$  était plus faiblement averse au risque. Donc pour un agent suffisamment peu averse au risque,  $C(T)$  débute au-dessus de  $D_c$  et, par continuité, s'y maintient sur un intervalle  $[0; x_0]$  où  $x_0 > 0$ .

Sur la zone définie par  $\{(x, X) / 0 \leq x \leq x_0 \text{ et } \frac{c}{R} + \frac{r}{R}x \leq X \leq X(x)\}$  il y aura sous-prévention.

## CQFD

Remarque :

Si la tarification de la prévention était optimale, au sens où la puissance publique serait en mesure de faire coïncider  $T$  avec  $c$ , la courbe d'optimum collectif serait  $D_0$  et alors, vu la proposition n°6, tout agent averse au risque serait systématiquement en sur-prévention, au contraire de la proposition n°12. Cette tendance à la sur-prévention demeure même avec une prévention sur-tarifée ( $T > c$ ), pour des agents suffisamment averses au risque, comme nous allons le voir.

**2.3.2.2. Possibilité de sur-prévention systématique en forte aversion au risque**

Montrons maintenant que, pour un agent suffisamment averse au risque, il existe une large zone de dommages  $(x, X)$  dans laquelle l'agent choisira la prévention alors que ce ne serait pas collectivement intéressant.

**Proposition n°13 :**

$(\exists \sigma > 0)(\forall u \text{ concave plus averse au risque qu'un agent CARA } \sigma) \left\{ \left\{ (x, X) / P \succ \bar{P} \text{ et } \bar{P} \succ_{coll} P \right\} \neq \emptyset \right\}$

Démonstration :

Comme ci-dessus,  $C(T)$  débute en  $x=0$  d'autant plus près de l'ordonnée  $T$  que  $u$  était plus averse au risque. Donc, si  $RT < c$  pour un agent suffisamment averse au risque,  $C(T)$  débute au-dessous de  $D_c$  et s'y maintient par la suite puisque sa pente restera inférieure à  $\frac{r}{R}$ , pente de  $D_c$ .

Si  $RT \geq c$ , on peut utiliser les propriétés relatives aux asymptotes des courbes  $C_\sigma(T)$  (proposition n°7) car toute asymptote est parallèle à la première bissectrice, et donc nécessairement  $D_c$ , dont la pente est  $\frac{r}{R} > 1$ , coupera toute asymptote et passera au-dessus. La propriété n°6 qui établit que la courbe d'indifférence d'un agent plus averse au risque qu'un

agent CARA reste au-dessous de la courbe de cet agent, permet alors de généraliser le résultat aux fonctions d'utilité non CARA.

CQFD

### 2.3.2.3. Possibilité de sur-prévention pour des dommages élevés

#### Proposition n°14 :

Pour tout  $\sigma > 0$ , la courbe  $C_\sigma(T)$  passe au-dessous de  $D_c$  pour des issues de dommage suffisamment élevées, c'est-à-dire qu'il y a alors sur-prévention d'un point de vue collectif :

$$(\forall \sigma > 0) (\exists \tilde{x}(\sigma) \text{ tq } (\forall x > \tilde{x}(\sigma)) (\exists X \text{ tq en } (x, X) : (\bar{P} \succ_{coll} P) \wedge (P \succ \bar{P})))$$

#### Démonstration :

Cette proposition, comme celle de la proposition n°13, se déduit directement du fait que les asymptotes sont parallèles à la première bissectrice, alors que  $D_c$  a une pente  $\frac{r}{R} > 1$ .

#### Remarque :

La proposition 14 se généralise pour tout agent de fonction d'utilité  $u$  dont le coefficient absolu d'aversion au risque est borné inférieurement par  $\underline{\sigma} > 0$  quelconque, car alors sa courbe d'indifférence  $C(T)$  sera située au-dessous de la courbe d'indifférence CARA correspondante d'après la proposition 6, et donc elle passera également au-dessous de  $D_c$  pour  $x$  assez élevé.



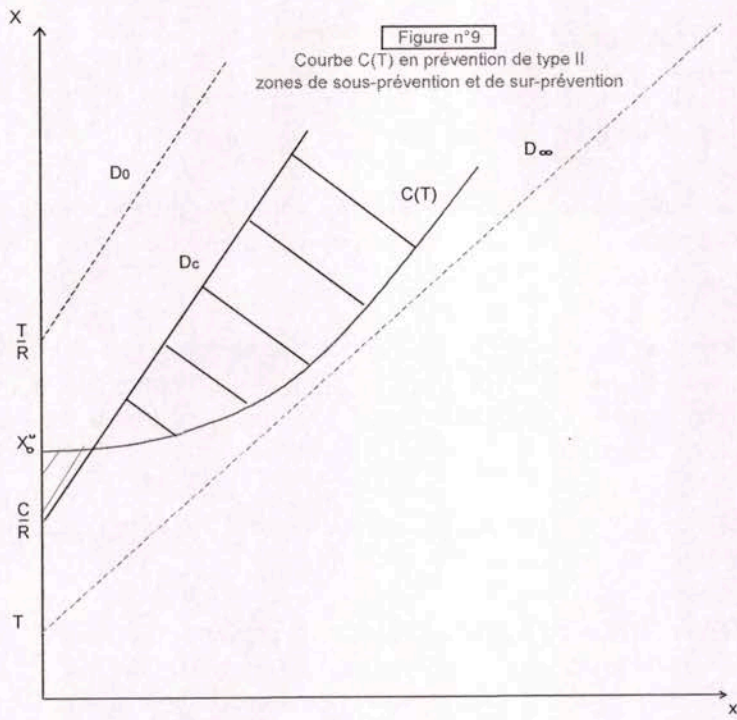


Figure n°9  
 Courbe  $C(T)$  en prévention de type II  
 zones de sous-prévention et de sur-prévention

- courbe  $D_0$  : aversion au risque nulle
- courbe  $D_\infty$  : aversion au risque infinie
- courbe  $D_c$  : d'optimum collectif
- courbe de l'agent  $u$
- ▨ zone de sous-prévention (non-prévention alors que la prévention serait souhaitable collectivement)
- ▨ zone de sur-prévention (prévention non souhaitable collectivement)

#### 2.4. Commentaires sur les résultats

L'analyse qui précède a livré divers résultats, dont les suivants :

- l'aversion au risque augmente systématiquement l'appel à la prévention dans le cas de la prévention de type II (réduction des dommages au prix d'une augmentation de la fréquence des aléas)
- dans le cas de la prévention de type I (réduction de fréquence des aléas), l'aversion au risque augmente l'appel à la prévention pour des montants de dommages relativement faibles<sup>15</sup> mais à l'inverse, pour les dommages élevés, l'aversion au risque peut diminuer l'appel à la prévention
- tout type d'assurance qui amène à réduire très fortement les dommages encourus « tue » la prévention
- dans le cas CARA (aversion au risque constante), la prévention de type I n'est pas choisie pour des issues de dommages très élevées, alors qu'elle devrait l'être d'un point de vue collectif, et toute augmentation d'assurance « non discriminante »<sup>16</sup> augmente ce risque
- dans le cas CARA, la prévention de type II est choisie pour des issues de dommages très élevées, alors qu'elle ne devrait pas l'être d'un point de vue collectif<sup>17</sup>, et toute augmentation d'assurance non discriminante augmente cette sur-prévention pour de faibles aversions au risque, mais la diminue pour les fortes aversions au risque.

Cela montre que dans certains cas de figure, notamment en cas de dommages élevés pouvant faire l'objet d'une prévention de type I, il peut exister un intérêt théorique d'une intervention publique en termes d'incitation à la prévention. L'utilisation de certaines techniques de prévention peut par contre s'avérer non souhaitable collectivement. Ces résultats indiquent également comment l'existence de mécanismes d'assurance peut interférer positivement ou négativement avec des interventions publiques.

Le cas particulier de la prévention de type I qui diminue le risque mais augmente le dommage moyen en cas d'accident est important. Il peut être assez répandu, dans la mesure où la prévention induit souvent, d'une part, la réduction des risques courants, aux conséquences les moins dommageables, ce qui augmente « mécaniquement » le dommage moyen après prévention. D'autre part, le recours à une technique de prévention peut également induire des relâchements d'autres comportements individuels de prévention<sup>18</sup>.

$$^{15} x \leq \inf(X - T; \frac{(1-R)T}{R-r})$$

<sup>16</sup> Rappel : ce terme signifie que l'augmentation d'assurance diminue de la même quantité les dommages résiduels subis  $x$  et  $X$ , que la prévention soit choisie ou non. Exemple : franchise  $F < \inf(x, X)$ , pour laquelle  $dx = dX = -dF$ .

<sup>17</sup> cela est également vrai plus généralement, dès que l'aversion au risque reste bornée.

<sup>18</sup> Illustration concrète simple, en transport individuel : certains utilisateurs de l'ABS pourraient avoir tendance à augmenter leur vitesse.

De plus, on a constaté une certaine inversion des choix de prévention de type I selon le degré d'aversion au risque dans les zones de risque où  $x+T > X$  : une incitation à la prévention peut donc paradoxalement viser dans certains cas des agents parmi les plus averses au risque. Ainsi, dans le domaine de la santé, une vaccination soupçonnée, à tort ou à raison, de réduire la fréquence des risques mais d'augmenter les conséquences (par des maladies secondaires ou en favorisant l'apparition de maladies graves) pourra fort bien se heurter à une forte opposition en cas d'obligation, d'autant plus de la part de personnes fortement averses au risque.

Les résultats obtenus sont clairement différenciés entre prévention de type I et prévention de type II, le cas de l'auto-assurance se rattachant plus au type II. Les deux sous-types du type I (cf. page 55) se différencient parfois dans les résultats, mais c'est un sous-type un peu plus particulier qui cumulerait le plus de différenciation au sein du type I : celui des technologies de prévention conjuguant réduction de probabilité d'aléa ( $r < R$ ) et réduction du dommage net du coût de prévention ( $x+T < X$ ).

L'analyse présentée ici suppose que tous les agents aient une perception exacte et identique du risque et de l'ampleur des dommages, ce qui est loin d'être le cas en pratique. Les risques peu fréquents qui ne se sont pas réalisés relativement récemment peuvent avoir tendance à être sous-estimés, tant en fréquence qu'en ampleur. Parfois, au contraire, la part supportée par l'agent peut être surestimée par celui-ci, tant en probabilité qu'en ampleur des dommages, en particulier dans le cas de risques très médiatisés.

Dans l'analyse menée ici, on ne borne pas les conséquences  $x$  et  $X$  afin d'observer les comportements extrêmes et pour tenir compte du fait que l'assurance permet d'envisager des dommages supérieurs à la richesse initiale. L'hypothèse CARA souvent utilisée ajoute que les choix sont indépendants du niveau de richesse initial. En pratique, le rapport entre la richesse initiale  $w$  et le niveau des dommages a une grande importance, de même que les aspects non économiques liés au risque et que la perception personnelle de ce risque.

Enfin, comme la perception de l'agent, la perception de l'autorité publique sur le niveau de risque (en probabilité d'occurrence et en ampleur des conséquences) peut être faussée dans la pratique, surtout pour des risques exceptionnels et sans précédent connu, comme cela a été mis en évidence dans certains cas médiatisés, notamment en matière de santé.

### 3. Possibilité d'une utilisation pratique du modèle théorique pour les services multimodaux de marchandises

Tout d'abord, le modèle peut déjà servir au niveau de l'introduction ou de l'affirmation de certains concepts utiles à l'analyse des services multimodaux. Il en découle des questionnements pouvant permettre de structurer des analyses de la demande, pour des évaluations, ex-ante et ex-post, de projets de services multimodaux, ou d'actions de l'Etat ou d'autres acteurs, ou de l'impact d'événements ou chocs divers.

Les paramètres du modèle peuvent être mis en regard des principaux types d'intervention publique : subventions et fiscalité joueront sur le niveau de prix  $T$  ; la réglementation interdit ou fait apparaître des situations de choix de technologie de prévention (ou, si l'on considère qu'elle dissuade en fonction de sanctions associées, elle augmente les dommages encourus  $x$  ou  $X$ ). Les mécanismes de report de risque au sein de la chaîne de transport influent directement sur l'amplitude des paramètres  $r$  et  $R$ , et la nature des risques perçus différera selon l'acteur et le segment de marché considérés (perte financière ou perte de client pour un opérateur ou intermédiaire, rupture de chaîne logistique pour le chargeur, dommages monétarisés pour l'assureur, réputation ou image, ).

Dans certains cas, au-delà de l'analyse purement qualitative, il serait intéressant d'estimer les ordres de grandeur des paramètres  $x$ ,  $X$ ,  $r$ ,  $R$  et  $T$ . Cet exercice éclairerait l'analyse en la ramenant à l'échelle de la décision à prendre par tel acteur, dans telle situation et avec tel critère de choix.

Les possibilités de segmentation des clients selon leur degré d'aversion au risque sont également éclairées par l'analyse théorique du présent chapitre, d'autant que celle-ci conduit à des résultats parfois contre-intuitifs. Les tentatives d'analyse de segments de demande pourraient, dans certains cas, considérer qu'à certains types d'acteurs est associé un degré d'aversion au risque plus ou moins élevé, ou qu'à des segments de marché (type de produit à transporter, par exemple) correspondent des valeurs de  $x$ ,  $X$  ou  $T$  plus ou moins importantes.

En fournissant une grille pour aborder une segmentation plus fine du marché potentiel, ce type d'approche doit permettre dans certains cas de mieux cerner les parts captables au sein de la demande potentielle, et de les comparer de façon « neutre » aux dires d'expert ou aux déclarations d'intention des clients potentiels.

Les considérations développées ci-après donnent des illustrations plus détaillées des utilisations possibles du cadre théorique développé.

On peut tenter de comparer les impacts au premier ordre de diverses actions publiques simples, par exemple d'une subvention publique sur le coût  $T$  d'utilisation du multimodal, ou d'une action réglementaire ou normative influant sur les niveaux de dommages  $x$  ou  $X$ . Pour simplifier on prendra dans cet exemple un client neutre au risque. L'impact d'une subvention de 1 unité sur  $T$  correspond à l'impact d'une réduction de  $x$  de  $1/r$  ou d'une augmentation de  $X$  de  $(1/R)$ .

En ordres de grandeur indicatifs, qui pourraient être précisées sur des cas d'études spécifiques : pour  $r = 5\%$  et  $R = 10\%$  (cas de risques courants de légers dysfonctionnements) l'impact est équivalent à celui d'une réduction de  $x$  de 20 ou d'une augmentation de  $X$  de 10. Avec  $r = 0,5\%$  et  $R = 2\%$  (cas de risque de dommage sur la cargaison, vol ou avaries) on obtient respectivement : 200 et 50. Pour des niveaux de risque  $r = 0,1\%$  et  $R = 0,2\%$  (risque de dommage majeur) on obtient 1000 et 500. On voit par ces illustrations numériques très rudimentaires que, selon la nature du risque en jeu et sa fréquence, l'effet de levier de la subvention publique par rapport aux autres types d'action comparés sera plus ou moins fort.

Mais il faudrait également examiner les autres effets de réduction de  $x$  ou d'augmentation de  $X$  : par exemple, augmenter la responsabilité du transporteur multimodal dans le but de réduire l'ampleur du dommage éventuel à la charge du client réduit ex-ante l'attractivité pour les opérateurs de service multimodal potentiels, qui sont déjà relativement rares.

En outre, le problème de la subvention est qu'elle s'applique pour tous, y compris ceux qui auraient choisi la solution multimodale sans subvention. Il y a donc effet d'aubaine et l'efficacité relative est en fait plus faible, pour l'estimer il faut avoir une connaissance assez fine du marché. S'il était possible de mettre en place une subvention « discriminante », c'est-à-dire ciblée sur les clients qui auraient hésité à prendre le multimodal en l'absence de subvention, l'efficacité serait plus grande. Cette évidence mérite d'être relevée, d'autant que parfois, on peut utiliser l'asymétrie d'information qui empêche la puissance publique de discriminer<sup>19</sup>. Ainsi, si la puissance publique verse une subvention à l'opérateur du service multimodal disposant d'une liberté tarifaire, il y a des chances pour que celui-ci l'utilise au mieux pour développer le trafic, en mobilisant sa connaissance fine de sa clientèle potentielle.

On voit sur cet exemple que pour anticiper correctement les impacts d'une action publique, il faudrait intégrer tous les termes pertinents, sans se limiter à une logique « comptable » d'effets de premier ordre. L'impact en termes d'image et de confiance influe sur la perception des risques, et donc sur l'évolution de l'attitude des opérateurs potentiels de services multimodaux et des clients potentiels. Actuellement, par exemple, le report de trafics sur les modes fluvial et maritime pourrait indiquer que la perception du risque est meilleure pour ces modes relativement au ferroviaire, et il y a des raisons objectives pour cela, mais ces raisons vont peut-être au-delà de la fiabilité opérationnelle des modes.

Un autre exemple d'utilisation peut se trouver dans l'analyse des opérateurs potentiels de services multimodaux. On a vu qu'un opérateur moins averse au risque pouvait être plus ouvert à tenter de lancer un service. Le monde armatorial est, un peu par tradition, peu averse au risque. Cela entraîne parfois d'ailleurs certains travers (cas de lancements ratés de lignes de cabotage ratées en raison d'une trop grande précipitation ou de l'inexistence ou de la faiblesse des études de marché). En sus, les perspectives de profitabilité sont différentes en terrestre et en maritime : les armateurs peuvent jouer sur les synergies avec leurs trafics (« maîtrise de la clientèle », moindres coûts de traitement de l'information, gestion et systèmes d'informations intégrés) et se lancer dans une activité d'intégration peut leur être plus profitable en moyenne.<sup>20</sup>

<sup>19</sup> D'autres éléments non techniques entrent en ligne de compte : les principes d'égalité peuvent interdire une telle discrimination si elle est menée par la puissance publique.

<sup>20</sup> Depuis que cette analyse a été menée, le développement de la stratégie de CMA CGM corrobore tout à fait ces résultats.

Le modèle étudié incite également à anticiper les techniques de report de risque ou de réduction de risque que peuvent imaginer les divers acteurs, ainsi que leurs effets. Comme cela a déjà été vu, un grand chargeur peut ainsi imaginer répartir ses trafics entre plusieurs solutions de transport. Des logiques d'externalisation peuvent apparaître pour diminuer la responsabilité en cas d'accident (exemple des compagnies pétrolières), alors même que cela peut induire une augmentation du risque (pour le même exemple, il se peut que la conséquence soit l'affrètement de navires et d'équipages de moindre qualité).

Les constats issus du modèle peuvent directement pointer vers des risques potentiels du point de vue de la puissance publique. Ainsi en est-il du constat selon lequel, pour des dommages élevés, il y a tendance à la sous-prévention dans le cas d'une technique de prévention de type I, et que cela est aggravé par l'existence de mécanismes de réduction du risque de type assurance symétrique, alors que pour une technique de prévention de type II, la tendance serait plutôt à la sur-prévention, mais avec cette fois-ci un possible effet correcteur des mécanismes d'assurance symétrique. Cela fait apparaître un intérêt pour que les analyses menées par la puissance publique prennent en compte les notions de symétrie ou de dissymétrie dans la réduction des dommages induite par les mécanismes d'assurance.

**Résumé des hypothèses du chapitre II :**

- en l'absence de prévention, l'agent a un risque de perte X avec une probabilité R
- avec prévention pour un tarif T, l'agent a un risque de perte x avec probabilité r

Dans la prévention de type I, on suppose que  $r < R$ .

Dans la prévention de type II, on suppose que  $r > R$  et  $x < X$ .

La fonction d'utilité u est supposée concave et deux fois continûment différentiable. Pour un certain nombre de résultats plus fins, cette fonction est souvent supposée être à aversion au risque constante (CARA).

Le différentiel d'espérance de coûts (internes et externes) engagé en cas de recours à la prévention, c, est positif mais inférieur à T (début de la première partie « comportement de l'agent hors obligation ») ou, condition un peu plus forte,  $c < T(1 - r \frac{1-R}{R})$  (partie 2.3.1.1.).

Pour les considérations normatives, la fonction de bien-être collectif est supposée refléter le différentiel net des coûts et dommages, en espérance. Cela conduit à valoriser le recours à la prévention par  $(RX - rx - c)$ .

## **ANNEXES du chapitre II**

### **ANNEXE 1**

**Démonstration du lemme 3 (partie 2.1.1.1.)  
et de la proposition n°1 (partie 2.1.1.2.)**

### **ANNEXE 2**

**Analyse des cas IARA et DARA  
(parties 2.1.1.3. et 2.3.1.2.)**

### **ANNEXE 3**

**Choix d'un critère simple d'intérêt collectif  
(partie 2.3.)**



## ANNEXE 1

**Démonstration du lemme 3 (partie 2.1.1.1.)  
et de la proposition n°1 (partie 2.1.1.2.)**

**1. Démonstration du lemme 3 :**

Soit  $T \geq 0$  donné et  $x \geq 0$  donné :

- la fonction qui à  $X$  associe  
 $r * u(w - x - T) + (1 - r) * u(w - T) - R * u(w - X) - (1 - R) * u(w)$   
 est strictement croissante, de dérivée  $R * u'(w - X)$
- sa valeur en  $X = 0$  est non positive (car  $u(w) \geq u(w - T) \geq u(w - x - T)$ ,  $u$  étant croissante)
- sa limite quand  $X$  tend vers l'infini est  $> 0$  ( $u$  étant concave, pour tout  $y > 0$  :  
 $(u(-y) \leq u(0) - u'(0) * y)$  donc  $\lim_{y \rightarrow -\infty} (u(y)) = -\infty$ )

- donc il existe un unique  $X$  tel que  $T = t_i(x, X)$ . Il est défini par :

$$X(x) = w - u^{-1} \left( \frac{r * u(w - x - T) + (1 - r) * u(w - T) - (1 - R) * u(w)}{R} \right) \quad (E4)$$

- la courbe  $C(T)$  ainsi définie est continue par continuité de  $u$  et de  $u^{-1}$
- la courbe  $C(T)$  d'équation  $\{t_i = T\}$  vérifie l'équation différentielle :

$$\frac{\partial t_i}{\partial x} dx + \frac{\partial t_i}{\partial X} dX = 0 \text{ et la pente de sa tangente est donc donnée en } (x, X) \text{ par :}$$

$$\frac{dX}{dx} = - \frac{\partial t_i / \partial x}{\partial t_i / \partial X} = \frac{r * u'(w - T - x)}{R * u'(w - X)} \quad (E5)$$

- $u'$  étant décroissante par concavité de  $u$ , on en déduit que la pente de la tangente à la courbe  $C(T)$  sera supérieure, égale ou inférieure à  $\left(\frac{r}{R}\right)$  selon la position du point  $(x, X)$  de la courbe  $C(T)$  par rapport à la droite  $D_\infty \{X = x + T\}$
- sur l'axe des ordonnées, en utilisant le raisonnement du lemme n°1 relatif à l'équivalent certain, la courbe  $C(T)$  débute en une ordonnée  $X_0''$  comprise entre  $T$  et  $\left(\frac{T}{R}\right)$ , donc au-dessus de la droite  $D_\infty$  et en-dessous de la droite  $D_0$

- sa pente restant en permanence comprise entre 0 et  $(\frac{r}{R})$ , elle coupe donc nécessairement par la suite cette droite  $D_\infty$  au-dessous de l'intersection entre  $D_0$  et  $D_\infty$ , et passe alors sous  $D_\infty$  car sa pente au point d'intersection est  $\frac{r}{R} < 1$ .  
L'abscisse de cette intersection est inférieure à celle de  $D_0 \cap D_\infty$  soit  $\frac{(1-R)T}{R-r}$
- la courbe  $C(T)$  ne pourra plus recouper ensuite cette droite. Démontrons le par l'absurde : si on note  $(x_0, X_0 = x_0 + T)$  le premier point d'intersection ultérieur de  $C(T)$  avec la droite, la pente de  $C(T)$  devrait être supérieure ou égale à 1 en ce point (on considère le point de  $C(T)$  d'abscisse  $(x_0 - \varepsilon)$  avec  $\varepsilon$  suffisamment petit, situé sous la droite donc vérifiant  $X(x_0 - \varepsilon) < x_0 - \varepsilon + T$  ou  $(\frac{X_0 - X(x_0 - \varepsilon)}{\varepsilon} > 1)$  et on fait tendre  $\varepsilon$  vers 0 : la pente de  $C(T)$  en  $(x_0, X_0)$  devrait donc être  $\geq 1$ , or cette pente est nécessairement  $(\frac{r}{R})$  en ce point, d'où contradiction.

## 2. Démonstration de la proposition 1 :

- on déduit directement du lemme n°1 et en utilisant les mêmes notations que ci-dessus que  $X_0^u > X_0^v$  (l'équivalent-certain pour  $u$  de la loterie  $L(R, w - X_0^u; 1-R, w)$  étant  $(w-T)$ , l'équivalent-certain de la même loterie pour  $v$  sera inférieur donc correspondra à  $T' > T$  ce qui signifie que  $C_v(T)$  passera au-dessous du point  $(0, X_0^u)$  et donc  $X_0^u > X_0^v$  :  $C_v(T)$  **début** en dessous de  $C_u(T)$
- si les courbes  $C_u(T)$  et  $C_v(T)$  venaient à se croiser avant leur rencontre avec  $D_\infty \{X = x + T\}$ , soit  $(x, X)$  où  $X > x + T$  leur premier point de croisement. Le rapport des pentes des courbes en ce point serait :  

$$\frac{P_u}{P_v} = \frac{r * u'(w - x - T)}{R * u'(w - X)} * \frac{R * v'(w - X)}{r * v'(w - x - T)} = \frac{(u'/v')(w - x - T)}{(u'/v')(w - X)}$$
- dire que le second agent est plus averse au risque signifie que  $v$  est plus concave que  $u$  ou que :  $(\forall y \in R)(-\frac{u''}{u'}(y) < -\frac{v''}{v'}(y))$   
soit :  $-(u''v')(y) < -(v''u')(y)$   
et la dérivée de  $(\frac{u'}{v'})$  s'écrit  $\frac{u''v' - u'v''}{(v')^2}$  donc  $(\frac{u'}{v'})$  est croissante
- on en déduit que puisque  $(w-x-T) > (w-X) : P_u > P_v$   
et par un raisonnement similaire à celui utilisé à la fin de la démonstration du lemme n°3 on aboutit à une contradiction ( $C_u(T)$  croiserait  $C_v(T)$  en venant par en dessous, donc par continuité des courbes,  $(x, X)$  ne serait pas leur premier point d'intersection)

le lemme 3 implique aussi qu'aucune des deux courbes ne repasse au-dessus de  $D_\infty\{X = x + T\}$ , donc que la question de l'intersection entre  $C_v(T)$  et  $C_u(T)$  en un point du demi-plan  $\{X > x + T\}$  ne se pose plus pour les parties de courbes situées après la première intersection avec  $D_\infty$

- donc, dans le demi-plan  $\{X > x + T\}$ , les deux courbes ne se croisent pas et  $C_u(T)$  reste en permanence au-dessus de  $C_v(T)$ , ce qui signifie que si  $u$  choisit la prévention, alors  $v$  la choisit également, la réciproque n'étant pas vraie.

## ANNEXE 2

## Analyse des cas IARA et DARA

(aversion absolue au risque croissante, aversion décroissante)

Parties 2.1.1.3. et 2.3.1.2.

I. Analyse préalable :

Nous allons analyser la position de  $Cu(T)$  par rapport aux parallèles à la première bissectrice, et pour cela définir pour tout  $x > 0$  :

$$\alpha(x) \equiv X(x) - x$$

D'après les résultats du 2.1.1.1., cette fonction est continue et même  $c_1$ , et sa dérivée s'obtient en dérivant l'équation définissant  $Cu(T)$  :

$$-R * u'(w - (x + \alpha(x)) * (1 + \alpha'(x))) = -r * u'(w - T - x)$$

$$1 + \alpha'(x) = \frac{r * u'(w - x - T)}{R * u'(w - x - \alpha(x))} = \text{pente de } Cu(T) \text{ en } x \text{ et ce pour tout } x > 0.$$

On en déduit que  $\alpha$  est  $c_2$  et que :

$$\alpha''(x) = \frac{r * [-u''(w - x - T)u'(w - x - \alpha(x)) + u''(w - x - \alpha(x))(1 + \alpha'(x))u'(w - x - T)]}{R * [u'(w - x - \alpha(x))]^2}$$

ou, en notant  $ARA(\cdot)$  le coefficient d'aversion absolue au risque  $(-\frac{u''}{u'}(\cdot))$  :

$$\alpha''(x) = \frac{ru'(w - x - T) * [ARA(w - x - T) - ARA(w - x - \alpha(x))(1 + \alpha'(x))]}{R * u'(w - x - \alpha(x))}$$

$$\alpha''(x) = (1 + \alpha'(x)) [ARA(w - x - T) - ARA(w - x - \alpha(x))(1 + \alpha'(x))] \quad [E'']$$

Comme  $\frac{dX}{dx}(x) > 0$  (lemme 3) :  $\alpha'(x) = \frac{dX}{dx}(x) - 1 > -1$  donc  $\alpha''$  est du même signe que  $[ARA(w - x - T) - ARA(w - x - \alpha(x))(1 + \alpha'(x))]$ .

Si l'on considère la partie de  $Cu(T)$  située après son intersection avec  $D_\infty \{X = x + T\}$  en l'abscisse  $x_\cap$  on a vu au 2.1.1.1. qu'elle ne recoupeait plus  $D_\infty$ , et donc que pour tout  $x > x_\cap$  :  $\alpha(x) < T$ .

On en déduit que, pour tout  $x > x_\cap$  :

- si  $u$  est IARA :  $ARA(w - x - T) < ARA(w - x - \alpha(x))$
- si  $u$  est DARA :  $ARA(w - x - T) > ARA(w - x - \alpha(x))$ .

La dérivée de  $\alpha(x)$  étant continue, et étant négative au niveau de l'intersection avec  $D_\infty$  (cf. lemme 3 qui implique que  $\alpha'(x_\cap) = \frac{r}{R} - 1 < 0$ ), elle ne peut devenir positive qu'en s'annulant au moins une fois.

## 2. Propositions similaires à la proposition 2 (partie 2.1.1.3.) :

### 2.1. Cas IARA :

Si  $u$  est IARA, supposons que  $\alpha'$  s'annule sur  $]x_\cap; +\infty[$ . Soit alors  $x_1$  le premier point où elle s'annule : comme  $\alpha'(x) < 0$  pour  $x < x_1$  et  $\alpha'(x_1) = 0$ ,  $\alpha''$  doit être positif au voisinage de  $x_1$ .

Mais d'après [E''] :  $\alpha''(x_1) = [ARA(w - x_1 - T) - ARA(w - x_1 - \alpha(x_1))] < 0$   
d'où une contradiction.

On en déduit que si  $u$  est IARA,  $\alpha(x)$  demeure décroissante et donc que la pente de  $Cu(T)$  reste inférieure à 1.

Une proposition similaire à la première partie de la proposition 2 peut également être issue de cette analyse, dans le cas IARA :

- soit  $\alpha(x)$  décroît indéfiniment
- soit  $\alpha(x)$  est bornée inférieurement, ce qui définit une asymptote de  $Cu(T)$ , parallèle à la première bissectrice  $D_r$  et approchée par le dessus.

### 2.2. Cas DARA :

Maintenant, si  $u$  est DARA, le même raisonnement indique que :

- soit il n'existe aucun  $x_1 > x_\cap$  tel que  $\alpha'(x_1) = 0$ , et alors la pente de  $Cu(T)$  demeure toujours inférieure à 1
- soit il existe  $x_1$  tel que  $\alpha'(x_1) = 0$ , et alors pour tout  $x > x_1$ ,  $\alpha'(x)$  demeurera positive après  $x_1$  (démonstration par l'absurde similaire au cas IARA, car  $\alpha'' > 0$  au voisinage de tout zéro de  $\alpha'$ ). Comme  $\alpha(x)$  est bornée supérieurement par  $T$ , cela signifie qu'il existe une asymptote parallèle à  $D_r$ , située sous  $D_\infty \{X = x + T\}$  et approchée par dessous, la pente demeurant inférieure à 1 pour  $x < x_1$  et supérieure à 1 pour  $x > x_1$ .

La proposition similaire à la première partie de la proposition 2, pour le cas DARA, est :

- soit  $\alpha(x)$  demeure indéfiniment décroissante, et alors  $Cu(T)$  reste convexe (car  $\alpha''(x)$  est du signe de  $[ARA(w - x - T) - ARA(w - x - \alpha(x))(1 + \alpha'(x))]$ , qui reste positif tant que  $\alpha'(x) < 0$ . Il n'y a pas d'asymptote parallèle à  $D_r$
- soit  $\alpha(x)$  est décroissante, s'annule puis demeure croissante, ce qui signifie que  $Cu(T)$  tangente une courbe  $\{X = x + \alpha(x_1)\}$  par le dessus, puis possède une asymptote approchée par en dessous, qui est parallèle à  $D_r$  et qui est située sous  $D_\infty \{X = x + T\}$ .

**3. Propositions similaires à la proposition 11 (partie 2.3.1.2.) :**

Les propositions similaires à la proposition 11, pour les cas IARA et DARA, se traduisent par le fait que, dans les cas où  $C(T)$  admet une asymptote parallèle à la première bissectrice  $D_r$ , cette asymptote coupe nécessairement la droite  $D_c$  (droite de pente  $\frac{r}{R} < 1$ ) en passant au-dessus de  $D_c$ , et donc  $C(T)$  passe alors également au-dessus de  $D_c$  pour des issues de dommages suffisamment élevées.

Dans le cas DARA sans asymptote parallèle à  $D_r$ , la convexité de  $C(T)$  et le lemme 3 qui indique que la pente des tangentes est  $> \frac{r}{R}$  dans le demi-plan  $\{X < x+T\}$  assurent également que  $C(T)$ , située au-dessus de ses tangentes, passera au-dessus de  $D_c$  et y restera.

### ANNEXE 3

#### Choix d'un critère simple d'intérêt collectif (partie 2.3.)

Une définition utilitariste de l'intérêt collectif consisterait à sommer les utilités de l'ensemble des acteurs concernés par la décision de prévention<sup>21</sup>. Ce faisant, on tiendrait compte de la diversité des préférences individuelles face au risque. Mais cela supposerait de représenter de multiples fonctions d'utilité, qui peuvent elles-mêmes varier au sein d'une même famille d'acteurs concernés. Ce faisant, on adopterait un modèle complexe et très général, ne débouchant sur rien de conclusif. Il serait certes possible de le simplifier, en considérant par exemple que les acteurs autres que l'agent décideur sont supposés être neutres au risque. Mais la justification de cette dissymétrie de traitement pourrait être difficile à argumenter.

Une autre objection théorique classique à ce type d'approche est qu'elle peut faire compter positivement des appréciations qui seraient, d'un point de vue moral ou éthique, à considérer négativement ou moins positivement. Ainsi, dans le cadre du choix de comportement du conducteur routier, la griserie de la vitesse et du risque peut difficilement être retenue positivement par la puissance publique.

Une objection pratique est que le décideur public dispose d'informations statistiques agrégées plutôt que d'informations individuelles détaillées, et que ces informations portent essentiellement sur des prix ou des coûts, pas sur des mesures d'aversion au risque, par exemple.

Testons cependant une démarche utilisant l'approche utilitariste, et visant à obtenir un optimum de premier rang.

Tout d'abord, on suppose que l'ensemble des coûts est internalisé dans le prix  $T$  de la technologie de prévention. Dans ce cas, le bien-être collectif coïncide à une constante près avec l'utilité des agents soumis à l'aléa, et la décision individuelle de prévention de chacun de ces agents correspondra à la décision optimale du point de vue collectif. On suppose également que la puissance publique connaît la fonction d'utilité de chaque agent et assure les agents sans chargement de prime, avec des contrats individualisés. Or la décision individuelle d'un agent est la prévention si et seulement si l'issue de dommages encourue avec assurance est située au-dessus de  $C(T)$ . En information complète, la puissance publique est capable de prévoir pour tout contrat d'assurance  $(x, X)$  offert à l'agent, si ce dernier choisira la prévention ou non.

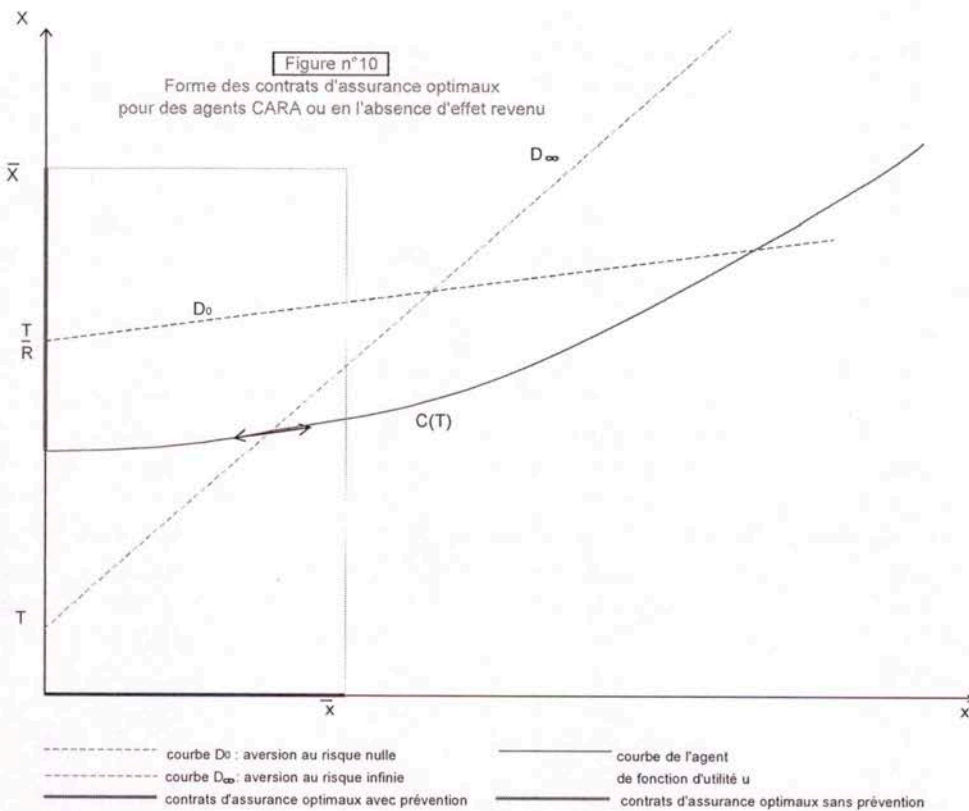
Considérons donc les deux types de contrats possibles, les contrats  $P$  pour lesquels l'agent choisira la prévention et les contrats  $\bar{P}$  pour lesquels il ne la choisira pas. Au sein de chacun de ces types de contrats, si l'on ne tient pas compte d'un éventuel coefficient de coût des fonds publics, l'optimum collectif correspond à la fourniture d'une assurance complète.

<sup>21</sup> Les considérations qui suivent restent valables pour une approche « welfariste » qui consisterait à prendre en compte une utilité collective  $F(u_1, u_2, \dots, u_n)$  (Bergson Samuelson) de forme plus générale que la forme additive de l'utilitarisme.

L'assurance complète correspond à  $x=0$  pour le type de contrats P et à  $X=0$  pour le type de contrats  $\bar{P}$ . Pour des agents CARA on peut représenter les deux sous-types de contrats correspondants (cf. figure n° 10)<sup>22</sup>.

Pour un contrat en assurance totale avec prévention, l'agent obtient l'équivalent-certain  $w - r\bar{x} - T$  (la prime n'étant pas chargée, elle est de  $r\bar{x}$  si le contrat est exécuté avec prévention).

De même, pour un contrat en assurance totale sans prévention, l'agent obtient l'équivalent certain  $w - R\bar{X}$ . Du point de vue collectif, comme du point de vue individuel, le premier type de contrat est préférable au second si et seulement si :  $R\bar{X} \geq r\bar{x} + T$ , c'est-à-dire si l'issue de dommage initiale  $(\bar{x}, \bar{X})$  est située au-dessus de  $D_0$ . Le critère d'optimum collectif pour le choix entre prévention et non prévention est donc dans ce cas représenté par le signe de :  $R\bar{X} - (r\bar{x} + T)$ .



<sup>22</sup> L'hypothèse CARA permet de neutraliser les effets revenu, ce qui se traduit par l'invariance de  $C(T)$  en fonction du niveau de prime et par l'invariance du critère de choix entre prévention et non prévention en fonction du niveau de prime. En présence d'effet revenu, la courbe  $C(T)$  peut varier et le lieu des deux sous-types de contrats optimaux ne peut pas être représenté aussi simplement.



Dans un deuxième temps, que se passe-t-il si les coûts ne sont pas tous internalisés ? Dans ce cas, on suppose que le différentiel d'utilité des acteurs tiers, ou les effets collectifs du type effet de serre, conduisent à un différentiel de coûts externes  $\delta$  du point de vue du bien-être collectif, les externalités étant  $e$  si la prévention est utilisée et  $(e + \delta)$  si elle ne l'est pas. Ces externalités, ainsi que le différentiel, peuvent être positives ou négatives à ce stade.

Dans ce cas, la décision individuelle de prévention ne correspond plus nécessairement à l'optimum collectif. Plus précisément, pour un contrat d'assurance complète de type P le bien-être collectif obtenu est  $(w - r\bar{x} - T) + e$  et pour un contrat d'assurance complète de type  $\bar{P}$  le bien-être collectif obtenu est  $(w - R\bar{X}) + (e + \delta)$ . Le critère d'optimum collectif pour le choix entre prévention et non prévention est donc dans ce cas représenté par le signe de :  $R\bar{X} - (r\bar{x} + T + \delta)$ .

Si l'on note  $c \equiv T + \delta$ , on obtient une valorisation du recours à la prévention de la forme :  $R\bar{X} - r\bar{x} - c$ .



# Chapitre III

## Adoption d'innovation et intermédiaires en oligopole

L'analyse menée dans le premier chapitre a permis de dégager diverses questions, pertinentes à la fois d'un point de vue pratique et théorique, relatives à des considérations stratégiques sur le transport multimodal susceptible de se substituer à un transport routier :

- la gestion du risque technique et commercial, en phase de démarrage du service multimodal, et en régime de croisière, et les investissements conjoints nécessaires pour divers acteurs
- l'enjeu stratégique du recours au transport multimodal
- la conservation ou non du rôle de maillon stratégiquement faible assumé par le prestataire d'exécution du transport physique
- l'intégration plus spécifique de la chaîne physique de transport multimodal avec les systèmes logistiques des clients, qui implique une prise d'information sur les aspects informationnels et organisationnels.

Ces questions sont assez étroitement interdépendantes, et couvrent un champ très large. Dans le présent chapitre, nous nous concentrerons sur certains aspects des deux premières questions, en considérant la décision stratégique d'un client, consistant à opter pour une solution de transport multimodale, en tenant compte d'investissements liés.

Dans la mesure où le transport routier tient une position forte en tant que solution technique de référence pour tous les acteurs, une solution de transport multimodale joue donc le rôle d'une variante technique. Cette variante technique peut être considérée comme innovante, non pas au sens des techniques de base employées, mais en raison de la combinaison originale de ces techniques, de façon adaptée au marché visé, démarquant ainsi nettement la solution multimodale du classique produit routier. Le caractère innovant tient également au fait que ce produit nouveau, et la réponse du marché à ce produit, sont peu connus des clients et que ce produit peut leur demander un effort d'adaptation. Nous serons donc amenés à explorer la littérature économique sur la diffusion des innovations, dans la première partie de ce chapitre.

Comme il a été vu dans le premier chapitre, un aspect plus particulier du transport de marchandises est la coexistence de clients chargeurs directs avec des clients eux-mêmes intermédiaires de transport. L'apparition d'un service multimodal est alors susceptible de modifier un équilibre stratégique initial, établi entre les divers acteurs partie prenante au transport et bâti autour de la référence à la solution de transport routière, ou du moins elle est susceptible de modifier certains paramètres de l'équilibre. Les modèles introduits dans la deuxième et troisième partie de ce chapitre représenteront donc une situation de concurrence en oligopole, autour de la fourniture de service d'intermédiation de transport.

Ces modèles se distinguent par l'extension du champ d'influence des interactions concurrentielles : influence globale et symétrique pour tous les acteurs, dans le cas du modèle " chamberlinien " présenté en troisième partie, influence directe plus locale pour le modèle " kaldorien " de la seconde partie. Contrairement à la grande majorité des modèles similaires utilisés en économie, ces modèles considèrent que la décision d'innovation ne correspond pas nécessairement à une décision de différenciation " verticale ", c'est-à-dire que le produit innovant pourra être perçu par certains consommateurs finals comme meilleur du point de vue de ses caractéristiques, et par d'autres comme moins bon. Cette exigence de modélisation complique certes le traitement théorique, et notamment la résolution des modèles, mais elle paraît mieux refléter la réalité du thème étudié, même si elle est loin d'en refléter toute la complexité.

Enfin la quatrième partie du chapitre revient, à partir des modèles étudiés, sur l'analyse des décisions d'innovation autour des " étapes-clef " dégagées dans les modèles et dans le premier chapitre : la toute première adoption, et l'adoption faisant franchir à l'innovation un " seuil de viabilité ".

## 1 Typologie de la littérature existante

La diffusion des innovations a fait l'objet d'une littérature assez abondante, abordant des cas de figure nombreux. On peut tenter de regrouper schématiquement ces derniers en quelques grandes familles, et d'examiner en quoi ces grandes familles pourraient ou non correspondre à la problématique de transport multimodal étudiée.

Un grand pan de cette littérature a trait à l'innovation protégée, dans le cadre de l'analyse de l'arbitrage entre le rôle incitatif ex-ante (recherche et développement) et le rôle restrictif ex-post (réservation des droits d'utilisation) des mesures de protection des innovations, principalement par les brevets. Il s'agit d'étudier l'arbitrage entre la rente à l'innovation, nécessaire pour inciter à l'investissement pour la création d'innovation, et les freins à une diffusion optimale de l'innovation une fois obtenue. Cette branche, fort intéressante, n'est que peu utilisable pour le type de services étudiés, car le recours à un service multimodal de transport est difficilement appropriable par nature, en-dehors de certains cas très particuliers. On peut même considérer que, du point de vue de l'initiateur du service multimodal, la protection d'innovation est très difficile à obtenir, sauf cas particulier impliquant un dispositif technique brevetable (cas de Modalhor) : il est possible de faire breveter un dispositif technique, mais pas l'idée de monter un service de transport utilisant tel mode entre telle origine et telle destination.

Un autre pan de la littérature traite plus directement de la diffusion d'innovations auprès du consommateur final. En général, les modèles utilisés visent à représenter la progressivité de la diffusion, soit en introduisant une dimension d'hétérogénéité entre consommateurs (goûts pour la qualité différenciés, par exemple), soit par des mécanismes d'interaction entre consommateurs relatifs à la transmission d'informations sur le produit : diffusion de l'information sur l'existence du produit, ses caractéristiques ou son degré d'adoption au sein de la population considérée (Mansfield 1968). La transmission d'informations se fait de façon assez "mécanique" (un nouvel adopteur génère une mise à jour d'information à tous les adopteurs potentiels, ou dans un certain voisinage). Ces modèles aboutissent à représenter des processus de diffusion aboutissant à une diffusion complète de la nouvelle technologie, ou un niveau de diffusion partielle, avec souvent des effets de seuil par rapport la taille d'un noyau d'adopteurs initiaux (phénomènes de "lock-in" dans l'utilisation de la nouvelle technologie - Arthur, 1989 - ou au contraire de généralisation complète) ou des "cascades informationnelles" (Geroski, 2000)<sup>1</sup>. Certains de ces modèles sont des modèles évolutionnaires (Metcalfe, 1995).

<sup>1</sup>Les cascades informationnelles sont définies comme des situations dans lesquelles il est optimal pour un individu, après avoir observé les actions passées des autres joueurs, de se contenter de reconduire le comportement de l'acteur qui le précède, sans considérer sa propre information privée.

Le mécanisme de diffusion fait intervenir la propagation d'information, soit par la mobilisation de réseaux sociaux (Zimmermann et Deroïan, 2001), soit par une révélation progressive d'information (Bergemann et Välimäki, 1997; Bhattacharya, Chatterjee et Samuelson, 1986), par un processus aléatoire de contact entre agent informé et agent non informé, par exemple. Certains modèles prennent en compte le risque associé à l'adoption en faisant évoluer les croyances des agents ou en faisant diminuer l'incertitude avec le temps (Jensen 1982). D'autres font diminuer le prix d'acquisition avec le temps (Fudenberg et Tirole, 1985). Que ce soit par diffusion d'information positive sur le produit, réduction du prix d'acquisition avec le temps ou diminution du risque avec le temps, une majorité de modèles font augmenter l'attractivité du produit au cours du temps, et donc sa diffusion, souvent jusqu'à éviction totale du produit antérieur, ce qui est difficilement imaginable pour le cas du transport multimodal. Il existe des modèles dans lesquels l'attractivité peut diminuer dans une seconde phase de diffusion. On y trouve, entre autres, les modèles d'innovations successives ou générations de produits, dans lesquels le client potentiel doit arbitrer entre l'utilité du produit du moment et l'utilité future attendue du produit de la génération suivante (Balcer et Lippman, 1984; Stenbacka et Tombak, 1994). Là aussi, cependant, la logique des modèles table implicitement sur une idée de progrès constant des techniques, et d'obsolescence de chaque génération technique, à terme.

Des externalités d'adoption sont parfois modélisées, le plus souvent des externalités de réseau (Katz et Shapiro, 1986; Choi, 1994) ou des externalités liées à la complémentarité entre produits ou l'existence de gammes de produits techniquement compatibles (Farrel et Saloner, 1986), pouvant aller jusqu'à des biens-systèmes (exemple : lecteur numérique obéissant à tel ou tel standard et supports numérisés de musique ou de films). Les externalités d'adoption peuvent être négatives, notamment en contexte concurrentiel (Reinganum, 1981). Elles peuvent se traduire par une révélation d'information, complète ou non, générée par les premières décisions d'adoption (Mariotti, 1992; Kapur, 1995).

Les modèles d'adoption de technologie par des entreprises font la plupart du temps référence à une situation de concurrence oligopolistique, ou à une problématique d'entrée sur un marché monopolistique. Parmi les modèles les plus simples d'adoption de technologie par une entreprise on peut noter les modèles classiques de décision d'investissement, souvent avec une composante de risque. Certains de ces travaux font le lien avec la littérature sur les options réelles (investissement irréversible dont la valeur évolue stochastiquement dans le temps : Farzin et al., 1998). Certains modèles de formation de coalition conjuguent contexte concurrentiel et externalités positives d'adoption : c'est le cas des " plates-formes bimodales " <sup>2</sup>, pour lesquelles le succès dépend de l'obtention de l'adhésion de deux types d'acteurs (exemple utilisé dans Rochet et Tirole 2002 : un réseau de cartes bancaires doit convaincre à la fois les banques et les utilisateurs de cartes).

<sup>2</sup>traduction approximative du terme anglais " two-sided platforms "

Les modèles d'adoption par une entreprise se déclinent à plusieurs échelles, et abordent soit la diffusion au sein d'une population d'entreprises, avec un choix exclusif de technologie par chaque entreprise, soit la diffusion progressive au sein d'une entreprise, dont seule la décision de première adoption est alors une décision de tout ou rien, le degré d'adoption effective pouvant varier ensuite de façon continue.

La plupart de ces modèles s'attachent à représenter la progressivité de la diffusion et à retrouver les courbes de diffusion "en S" qui sont souvent observées empiriquement, et s'intéressent au niveau final ou asymptotique d'adoption. La nouvelle technologie est très souvent supposée être intrinsèquement supérieure à la technologie existante (avantage en coût et en qualité) et l'optimum collectif correspond alors à la diffusion maximale de la nouvelle technologie. Moins fréquents sont les modèles qui adoptent une approche plus normative en comparant l'issue du jeu d'adoption avec un optimum collectif moins trivial (Ireland et Stoneman, 1986; Jensen, 1992; Magnac et Verdier, 1993). Dès que le contexte du jeu est un peu élaboré, la résolution est en effet complexe, et souvent les résultats sont peu conclusifs. Les modèles à approche normative se placent souvent dans le contexte simple de deux entreprises.

Les phénomènes classiquement représentés par les modèles d'adoption sont, outre la fameuse courbe en S, les situations de sous-adoption ou d'adoption trop lente ("excess inertia") voire de non-démarrage de l'adoption, les situations de sur-adoption ou d'adoption trop rapide ("excess momentum"), ainsi que les phénomènes de dissipation de la rente générée par l'adoption, quand les mécanismes de concurrence incitent chaque entreprise à adopter dès qu'elle peut le faire avec un profit nul (Fudenberg et Tirole, 1985; Riordan et Salant, 1994).

Mettons maintenant en relation ces approches théoriques avec le premier chapitre. Tout d'abord, les modèles de diffusion considèrent en général un problème de différenciation verticale, c'est-à-dire que la nouvelle technologie est supposée apporter intrinsèquement un accroissement d'utilité à n'importe quel client. Il est clair que cette hypothèse peut difficilement être soutenue pour les services multimodaux, et qu'il faudra opter pour une modélisation adaptée.

La clientèle potentielle des services multimodaux est constituée de chargeurs directs, qui peuvent en première approximation être identifiés au consommateur des modèles de diffusion d'information cités ci-dessus. Mais cette clientèle comporte également des intermédiaires de transport, qui sont en concurrence entre eux et sont plus assimilables à des entreprises. C'est ce type de client qui semble le plus intéressant à analyser. Qui plus est, ces intermédiaires sont en nombre relativement faible, et l'hypothèse de concurrence pure et parfaite n'est pas nécessairement vérifiée, on se trouve plutôt dans un contexte d'oligopole.

Par ailleurs, sont apparues dans le premier chapitre des considérations pratiques portant sur la segmentation de la clientèle du service multimodal, avec

la possibilité que ces clients soient plus ou moins concurrents entre eux selon les segments (cas des intermédiaires de transport susceptibles de confier des trafics au service multimodal). Ceci pose la question de l'existence éventuelle d'externalités locales, alors que la plupart des modèles utilisent des externalités globales, en traitant de façon symétrique les adopteurs potentiels, qui sont interchangeables au sein de leur groupe d'adoption. Cette distinction entre externalités locales et externalités globales renvoie à des débats anciens, dont les emblèmes sont les positions de Kaldor (1935) en faveur d'une approche par externalités locales, et Chamberlin (1933) en faveur des externalités globales.

Enfin, dans la mesure où l'on souhaite introduire des considérations normatives, il faut disposer d'un modèle représentant la fonction d'utilité du client final ainsi que les fonctions de profit.

En définitive, il est proposé de définir une modélisation qui introduise une possibilité de différenciation non verticale, dans un contexte d'adoption par des entreprises en concurrence oligopolistique avec des interactions locales, et avec la possibilité de mesurer l'incidence en termes de bien-être. La question des externalités globales sera examinée à travers un modèle d'adoption en oligopole traitant les entreprises de façon totalement symétrique.

Voici tout d'abord le premier type de modèle.



## 2 Un modèle " kaldorien " (modèle avec externalités locales)

### 2.1 Présentation générale

On suppose ici que le produit final livré au client est constitué d'un produit de base (le transport physique de marchandises dans l'exemple concret) qui est enrichi par un intermédiaire en y adjoignant diverses prestations spécifiques au client ou à un groupe de clients. Ces prestations recouvrent des notions de service personnalisé, supposant un savoir-faire spécifique et une bonne connaissance des besoins du client (dans l'exemple, il peut s'agir de conditionnement de marchandise, de gestion de stocks, de groupage logistique, de formalités administratives et douanières, etc...). Les prestataires intermédiaires sont en concurrence oligopolistique, chacun se concentrant par exemple sur tel ou tel segment de marché sur lequel son expérience acquise constitue une barrière à l'entrée.

Le produit de base est disponible sur un marché parfaitement concurrentiel. Un produit innovant apparaît qui, pour un coût moindre pour l'intermédiaire, répond au besoin du client de façon un peu différente du produit classique, en fonction de facteurs propres au client.

Le choix stratégique de chaque intermédiaire consiste à opter entre inclure ce nouveau produit dans sa prestation globale, ce qui nécessite alors d'engager un coût d'investissement, ou utiliser exclusivement le produit classique.

Le modèle utilisé pour représenter cette situation rend compte de cette concurrence oligopolistique d'une façon inspirée par le cercle de Salop (1979), en traitant en quelque sorte de façon indépendante ou successive, d'une part, le positionnement stratégique sur la prestation de service et, d'autre part, le choix stratégique portant sur le produit de base.<sup>3</sup> Le produit de base innovant sera supposé fourni avec un avantage de coût par rapport au produit de base initial, connu et déterminé sans incertitude.

Il s'agit alors de représenter le résultat du fonctionnement du marché concurrentiel et d'examiner en quoi il se rapproche ou se distingue de la maximisation du bien-être collectif.

<sup>3</sup>Cette hypothèse simplificatrice peut être discutée. Les services ajoutés sont probablement différents selon le produit de base utilisé, il y a en réalité une interaction entre les deux dimensions. Mais cela peut devenir très complexe à représenter sans spécification précise de cette interaction. L'hypothèse simplificatrice qui est faite peut partiellement se justifier en supposant que l'interaction est négligeable, ou en supposant qu'il existe un "niveau optimum" de service ajouté, indépendamment du produit de base (et dans ce cas, que le coût d'investissement intègre les coûts fixes de "mise à niveau équivalent" de la prestation services, la variation du coût du produit de base intégrant de façon similaire les coûts variables induits).

## 2.2 Présentation du modèle

Il s'agit d'un modèle de concurrence oligopolistique symétrique dans lequel  $n$  entreprises sont positionnées de façon régulière sur un cercle qui représente la distribution des clients finals selon la dimension de "service ajouté" :

\* un client qui achète le produit de l'entreprise  $E_i$  doit acquitter le prix pratiqué par  $E_i$ , et subit en outre une perte d'utilité d'autant plus grande que le positionnement de  $E_i$  sur le cercle est éloigné de la position idéalement souhaitée par le client (c.f. figure 1). Cette désutilité sera supposée varier linéairement avec la longueur de l'arc de cercle concerné, avec un coût unitaire  $T$ . La distance entre deux entreprises successives sera prise comme unité de longueur d'arc<sup>4</sup>. Ainsi, en référence au schéma, on considère un client dont le produit idéal est situé sur le segment  $[E_i, E_{i+1}]$  en l'abscisse  $x \in [0, 1]$ . Si ce client s'adresse à l'entreprise  $E_i$  (respectivement  $E_{i+1}$ ), il obtiendra l'utilité initiale du produit proposé par l'entreprise, diminuée de son prix et de la désutilité  $xT$  (respectivement  $(1-x)T$ ). La taille globale du marché sur l'ensemble du cercle sera notée  $D$ .

\* initialement, seule une technologie ( $O$ ) est proposée, pour un coût de production  $c$ ;

\* chaque entreprise  $E_i$  fixe son prix  $p_i$  de façon à maximiser son profit

\* chaque entreprise peut ou non opter pour une technologie nouvelle ( $N$ ) qui assure un coût de production  $(c - \delta c)$  contre un coût d'investissement initial  $K$

\* si le client se voit proposer la nouvelle technologie, il la compare à l'ancienne en fonction d'un différentiel d'utilité  $u$  distribué sur l'intervalle  $\left[ \underline{U}; \bar{U} \right]$  selon  $f(u)$  avec une espérance  $E(u)$  et un écart-type  $\sigma$ ; la distribution  $f(u)$  est supposée indépendante du positionnement du client sur le cercle; la demande totale  $D$  est supposée insensible à la composante technologique.

Les étapes du jeu de base sont :

1. choix stratégique de chaque entreprise ( $O$  ou  $N$ ) de façon simultanée

Ce choix est caractérisé par  $\beta_i$  ( $\beta_i = 1$  si l'entreprise choisit  $N$ , 0 si elle choisit  $O$ ).

2. concurrence en prix entre les entreprises.

Le vecteur des choix de l'ensemble des entreprises sera noté par le vecteur colonne :

$$[\beta] = [(\beta_i)_{1 \leq i \leq n}]$$

Voici tout d'abord un résumé des résultats obtenus pour l'analyse de ce modèle.

<sup>4</sup>Cette convention diffère de celle adoptée classiquement pour le cercle de Salop, où l'unité de distance est le périmètre total du cercle. Elle est adoptée ici pour simplifier les écritures, déjà assez complexes par ailleurs, mais elle n'est justifiée que tant que le nombre d'entreprises reste fixe, bien entendu.

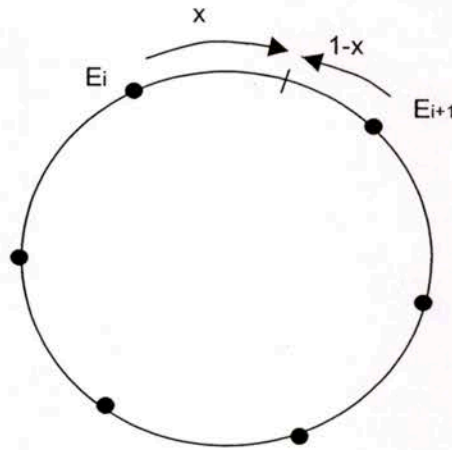


Figure 1:

### 2.3 Annonce de résultats

De la même manière que les coefficients  $\beta_i$  caractérisent le choix individuel de l'entreprise  $E_i$ , on fera apparaître lors de la résolution du modèle des coefficients  $\gamma_i$  qui peuvent être interprétés comme représentant l'impact sur  $E_i$  des choix stratégiques de l'ensemble des entreprises.

L'expression des prix et parts de marché obtenus à l'équilibre par chaque entreprise, de même que le surplus des consommateurs et le bien-être collectif  $W$ , vont permettre de traduire l'influence des choix individuels de stratégie.

Ces expressions sont obtenues à partir de l'écriture de référence des prix  $p_i$  :

$$p_i = c + T + \beta_i E(u) - \gamma_i \varphi \quad \text{où } \varphi = E(u) + \delta c.$$

La situation initiale dans laquelle toutes les entreprises utilisent l'ancienne technologie sera notée  $O^n$  et la situation où toutes les entreprises utiliseraient la nouvelle technologie sera notée  $N^n$ .

On montrera plus loin que la configuration optimale  $[\beta^*]$  au sens de la notion de bien-être collectif adoptée (le cas échéant, la famille de configurations optimales symétriques par rotation) va varier selon les valeurs de  $K$ , allant de  $[\beta^*] = N^n$  pour  $K$  faible ( $K \leq \tilde{K}_-$ ) à  $[\beta^*] = O^n$  pour  $K$  élevé ( $K \geq \tilde{K}_+$ ). Si l'on introduit un différentiel de coûts externes  $\delta_{CE}$  en faveur de la nouvelle technologie, ces seuils varieront bien sûr en fonction du montant  $\delta_{CE}$ .

Il existe de même des valeurs limites de  $K$  notées  $K_-$  et  $K_+$ , à partir desquelles  $N$  (respectivement  $O$ ) est une stratégie dominante contre toute stratégie des autres entreprises.

Analyse en statique :

La comparaison entre équilibre concurrentiel oligopolistique et optimum collectif se traduit la plupart du temps par des conclusions ambiguës en-dehors des cas triviaux. Ici, il sera cependant montré deux types de résultats.

Tout d'abord, on mettra en évidence un goût collectif pour la diversité des produits, à la fois du point de vue des consommateurs et de l'ensemble des entreprises. Contrairement à un certain nombre de modèles de différenciation stratégique, ce n'est pas une hypothèse de base du modèle mais cela résulte de la résolution du modèle.

Pour une entreprise  $E_i$  donnée, la variation du bien-être collectif obtenue quand  $E_i$  passe de la stratégie  $O$  à la stratégie  $N$  est d'autant plus grande que peu d'entreprises ont déjà adopté  $N$  et que les entreprises ayant adopté  $N$  sont plus éloignées de  $E_i$ . Ceci est également vrai pour l'intérêt individuel de  $E_i$  à adopter  $N$  (c.f. partie 2.4.2.). Schématiquement, cela veut dire qu'il sera préférable collectivement que les entreprises offrant  $N$  soient réparties de façon à couvrir le marché de façon "régulière" et que l'intérêt collectif de la diffusion de  $N$  ira diminuant avec la "densité de couverture" en  $N$ . Vue sous cet angle, l'incitation collective à innover correspond qualitativement à l'incitation individuelle à innover. Pour autant, les deux critères ne coïncident pas (c.f. 2.4.3.).

On obtient en effet dans le cadre de ce modèle un résultat non ambiguü : la valeur de  $K$  au-delà de laquelle la stratégie  $\beta = O^n$  devient collectivement optimale correspond toujours à une situation dans laquelle conserver  $O$  est une stratégie dominante pour toute entreprise :  $\tilde{K}_+ > K_+$ . Cela signifie qu'il y a sous-investissement systématique dans la nouvelle technologie pour une gamme de valeurs élevées de  $K$  ( $K \in [K_+; K_+ + d]$  où  $d > 0$ ). Ce résultat se généralise à toutes les situations dans lesquelles l'adoption de  $N$  par  $E_i$  augmente la diversité des stratégies, au sens d'un indicateur de diversité  $X(\beta)$  qui est défini formellement dans la partie 2.4.2..

La valeur inférieure  $\tilde{K}_-$  au-dessous de laquelle  $\beta = N^n$  est collectivement optimal, quant à elle, peut ou non correspondre à une situation dans laquelle adopter  $N$  est une stratégie dominante pour toute entreprise (il peut y avoir sur ou sous-investissement pour des valeurs faibles de  $K$ ).

La démonstration de ces résultats passe par les développements techniques figurant en annexe, dans lesquels on calcule explicitement l'expression des coefficients ( $\gamma_i$ ) en fonction des ( $\beta_i$ ), et on utilise certaines de leurs propriétés.

Analyse en dynamique :

L'analyse en statique menée ci-dessus laisse de côté le problème de l'aboutissement à un équilibre de Nash, ce qui peut être gênant quand on s'intéresse à des phénomènes de diffusion.

Aussi un petit complément théorique a été réalisé sur les aspects dynamiques, complété par des simulations. Ils figurent en annexe. Leurs conclusions indiquent que, dans le cadre du modèle utilisé :

\* en décision myope<sup>5</sup> avec ordre de décision séquentiel, les pertes de profit semblent être le lot commun, et avec un ordre de décision moins rigide cela n'est que partiellement corrigé

\* la première adoption effective a un effet déterminant, car la nature des choix change radicalement une fois que l'un des joueurs a adopté (la rentabilité globale devient secondaire face à la rentabilité relative par rapport à la nouvelle situation créée de facto par l'adoption).

Analyse des étapes-clef

L'influence de l'existence d'un seuil de viabilité de la nouvelle technologie (diffusion minimale) est analysée à travers la robustesse aux coalitions des équilibres du jeu initial. Il est montré la possibilité de comportements opportunistes de la part d'entreprises individuelles, ou de la part d'une coalition, aboutissant à l'échec de la nouvelle technologie  $N$  en raison de l'introduction d'une possibilité d'action stratégique sur la viabilité de  $N$  (quel que soit, par ailleurs, l'intérêt collectif de l'adoption de  $N$ ).

L'étape-clef de la première adoption est analysée à travers un jeu avec deux étapes d'adoption. Il est montré que, dans le cadre étudié, une entreprise n'a pas nécessairement intérêt à lancer une nouvelle technologie, pourtant intrinsèquement attractive, si elle s'expose à une réaction rapide de ses concurrents (gains de différenciation trop éphémères). Une technologie "trop" attractive peut ne pas être choisie.

---

<sup>5</sup>Aucune anticipation des entreprises : la décision de chaque entreprise est prise en considérant que les choix de technologies des autres entreprises, observées au moment de la décision, resteront figées.

## 2.4 Résolution du modèle

On rappelle que le choix de l'entreprise est caractérisé par  $\beta_i$  ( $\beta_i = 1$  si l'entreprise choisit N, 0 si elle choisit O).

Pour l'instant on considérera les profits bruts des coûts d'investissement, en se plaçant dans la situation "ex-post" (seconde étape du jeu, après choix stratégique).

Le client situé sur le segment concurrentiel  $[E_i; E_{i+1}]$  choisit l'entreprise  $E_i$  si et seulement si :

$$\beta_i * u - p_i - xT \geq \beta_{i+1} * u - p_{i+1} - (1-x)T$$

$$\text{ie ssi : } x \leq \frac{(\beta_i - \beta_{i+1})u - p_i + p_{i+1} + T}{2T}$$

On suppose que les prix sont tels qu'ils ne rendent aucune frange du marché  $\left[ \underline{U}; \bar{U} \right]$  totalement captive d'une entreprise, c'est-à-dire que

$$0 \leq \frac{(\beta_i - \beta_{i+1})\underline{U} - p_i + p_{i+1} + T}{2T} \leq 1 \text{ et } 0 \leq \frac{(\beta_i - \beta_{i+1})\bar{U} - p_i + p_{i+1} + T}{2T} \leq 1.^6$$

On suppose également que l'utilité de réservation de chaque client potentiel appartenant au segment est suffisamment élevée pour que l'ensemble du segment soit servi par  $E_i$  ou  $E_{i+1}$ . Pour simplifier les écritures ultérieures, on normalisera à 0 l'utilité intrinsèque liée à la consommation de O.

Comme la demande totale correspondant à l'ensemble du cercle est D, la demande servie par  $E_i$  sur le segment  $[E_i; E_{i+1}]$  est alors :

$$\frac{(\beta_i - \beta_{i+1})E(u) - p_i + p_{i+1} + T}{2T} * \frac{D}{n}$$

où  $E(u) = \text{espérance de } u = \int u f(u) du$ .

et la demande totale servie par  $E_i$  est :

$$x_i = \frac{(2\beta_i - \beta_{i+1} - \beta_{i-1})E(u) - 2p_i + p_{i+1} + p_{i-1} + 2T}{2T} * \frac{D}{n}$$

Le profit de  $E_i$  s'écrit alors :

$$\pi_i = (p_i - c + \beta_i * \delta c) * \left( \frac{(2\beta_i - \beta_{i+1} - \beta_{i-1})E(u) - 2p_i + p_{i+1} + p_{i-1} + 2T}{2T} \right) * \frac{D}{n}$$

La condition du second ordre est assurée ( $\frac{d^2 \pi_i}{dp_i^2} = -\frac{1}{T} < 0$ ).

La condition du premier ordre de maximisation du profit donne :

$$[(2\beta_i - \beta_{i+1} - \beta_{i-1})E(u) - 2p_i + p_{i+1} + p_{i-1} + 2T] + (p_i - c + \beta_i * \delta c) * (-2) = 0$$

soit :

<sup>6</sup>Ceci n'est possible que si les valeurs prises par u ne varient pas trop fortement par rapport à T et si la nouvelle technologie n'est pas trop fortement attractive. Des conditions suffisantes explicites sont fournies en annexe, et on supposera par la suite que ces conditions sont vérifiées. A noter que ce type de conditions est qualitativement cohérent avec l'hypothèse de faible sensibilité de la demande totale D au choix de technologie.

$$4p_i - p_{i+1} - p_{i-1} = (2\beta_i - \beta_{i+1} - \beta_{i-1})E(u) + 2 * (c - \beta_i * \delta c + T).$$

Supposons que les prix  $p_i$  soient de la forme :

$$\boxed{p_i = c + T + \beta_i E(u) - \gamma_i \varphi \quad \text{où } \varphi = E(u) + \delta c} \quad (HP)$$

Cette écriture des prix, sans perte de généralité, permet de définir des coefficients  $\gamma_i$  qui vont être d'une grande utilité pour résoudre le modèle.

Remarque :

On suppose  $\varphi > 0$ , ce qui impose un minimum d'attractivité de  $N$  afin d'éviter de traiter des cas triviaux, mais sans pour autant exclure  $E(u) < 0$ .

L'hypothèse simplificatrice émise plus haut s'exprime sous la forme :

$$0 \leq \frac{(\beta_i - \beta_{i+1})(\bar{U} - E(u)) + (\gamma_i - \gamma_{i+1})\varphi + T}{2T} \leq 1$$

$$\text{et } 0 \leq \frac{(\beta_i - \beta_{i+1})(\underline{U} - E(u)) + (\gamma_i - \gamma_{i+1})\varphi + T}{2T} \leq 1.$$

Des conditions suffisantes sont fournies en annexe, elles seront supposées vérifiées par la suite. Elles expriment que le différentiel d'utilité relative de  $N$  par rapport à  $O$  n'est pas trop variable (qu'il ne va pas fluctuer de façon forte par rapport à  $T$ ) et que le différentiel de compétitivité "intrinsèque" de  $N$  n'est pas trop élevé ( $\varphi \leq \frac{T}{2}$ ).

Les  $n$  équations du premier ordre se réécrivent en :

$$2(c + T) + (4\beta_i - \beta_{i+1} - \beta_{i-1})E(u) - (4\gamma_i - \gamma_{i+1} - \gamma_{i-1})\varphi$$

$$= (2\beta_i - \beta_{i+1} - \beta_{i-1})E(u) + 2 * (c - \beta_i * \delta c + T)$$

soit :

$$-(4\gamma_i - \gamma_{i+1} - \gamma_{i-1})\varphi = -2\beta_i E(u) - 2\beta_i * \delta c = -2\beta_i * \varphi$$

Avec  $\varphi \neq 0$ , il vient :  $\boxed{\forall i \in \{1, \dots, n\} \quad 4\gamma_i - \gamma_{i+1} - \gamma_{i-1} = 2\beta_i} \quad (E0).$

Cela fournit un système de  $n$  équations à  $n$  inconnues, de déterminant non nul, qui caractérise le vecteur des prix  $p = (p_i)_{i \in \{1, \dots, n\}}$  pour chaque stratégie de technologie choisie par les entreprises  $\beta = (\beta_i)_{i \in \{1, \dots, n\}}$ .

Au passage, on peut noter en sommant les équations (E0) que  $\sum \beta_i = \sum \gamma_i$ .

Si l'on note (E0) sous la forme :  $[\gamma] = M[\beta]$  où  $M$  est une matrice  $n \times n$ , le système d'équations étant invariant par translation des indices, chaque colonne de  $M$ , solution de (E0) pour  $[\beta] = [0 \dots 010 \dots 0]^t$ , coïncide avec la colonne précédente décalée d'un cran vers le bas.

De plus, si on note  $[\gamma^a]$  la solution de (E0) pour  $[\beta] = [100 \dots 0]^t$ , l'inversion de l'ordre de numérotation des entreprises sur le cercle laisserait le système d'équations invariant, donc :

$$\boxed{\gamma_k^a = \gamma_{n+2-k}^a}$$

et la sommation des équations donne :

$$\boxed{\sum_{1 \leq k \leq n} \gamma_k^a = 1}$$

Pour faciliter l'écriture des calculs ultérieurs, on adoptera donc la convention de notation suivante : pour tout  $k' \notin \{1, \dots, n\}$ ,  $\gamma_{k'}^a = \gamma_k^a$  où  $k \in \{1, \dots, n\}$  et  $k' \equiv k [n]$  (idem pour les  $\beta_i$  et  $\gamma_i$ ).

La solution  $[\gamma]$  s'écrit alors sous forme de combinaison linéaire simple :

$$\boxed{\gamma_i = \sum_{j=1 \text{ à } n} \beta_j \gamma_{j-i+1}^a} \quad (E\gamma)$$

On peut alors écrire le profit brut obtenu par chaque entreprise :

$$\begin{aligned} \pi_i &= (p_i - c + \beta_i * \delta c) * \left( \frac{(2\beta_i - \beta_{i+1} - \beta_{i-1})E(u) - 2p_i + p_{i+1} + p_{i-1} + 2T}{2T} \right) * \frac{D}{n} \\ &= (T + (\beta_i - \gamma_i)\varphi) \left( \frac{(2\beta_i - \beta_{i+1} - \beta_{i-1})E(u) + (-2\beta_i + \beta_{i+1} + \beta_{i-1})E(u) + (2\gamma_i - \gamma_{i+1} - \gamma_{i-1})\varphi + 2T}{2T} \right) \frac{D}{n} \end{aligned}$$

La demande qui s'adresse à  $i$  est donc :

$$x_i = \frac{(2\gamma_i - \gamma_{i+1} - \gamma_{i-1})\varphi + 2T}{2T} * \frac{D}{n}$$

et, en réutilisant l'équation (E0) caractérisant les  $\gamma_i$  :

$$\boxed{\pi_i = \frac{(T + (\beta_i - \gamma_i)\varphi)^2}{T} * \frac{D}{n} = (T + 2(\beta_i - \gamma_i)\varphi + \frac{((\beta_i - \gamma_i)\varphi)^2}{T}) * \frac{D}{n}} \quad (E\pi)$$

$$\boxed{x_i = \frac{(T + (\beta_i - \gamma_i)\varphi)}{T} * \frac{D}{n}} \quad (Ex)$$

On déduit de (E $\pi$ ) le profit brut agrégé des entreprises (car  $\sum \beta_i = \sum \gamma_i$ ) :

$$\boxed{\Pi = D * \left( T + \frac{\sum_{i=1 \text{ à } n} (\beta_i - \gamma_i)^2}{nT} \varphi^2 \right)} \quad (E\Pi)$$



### 2.4.1 Premières propriétés et éléments d'interprétation :

Profit agrégé et variations du profit brut avec l'apparition de N :

De  $(E\Pi)$ , on déduit que le profit brut agrégé est minimal, sur l'ensemble  $B$  des stratégies possibles, quand la différenciation stratégique est minimale, c'est-à-dire quand toutes les entreprises conservent  $O$ , ou quand toutes passent à  $N$ .

Proposition :

$$\boxed{\Pi(\beta^0) = \underset{(\beta) \in B}{\text{Min}}[\Pi(\beta)] \Leftrightarrow [(\forall k)(\beta_k^0 = 1) \text{ ou } (\forall k)(\beta_k^0 = 0)]}$$

Démonstration :

En effet, le coefficient de  $\varphi^2$  dans  $(E\Pi)$  est positif, et ne peut s'annuler que si  $\gamma_i = \beta_i = 0$  ou 1 pour tout  $i$ .

Or l'équation  $(E\gamma)$ , et les propriétés des  $\gamma_k^a$  établissant que  $\sum_{1 \leq k \leq n} \gamma_k^a = 1$  et que  $0 < \gamma_k^a < 1$  (voir annexe), impliquent que :  $\gamma_i = 1$  si et seulement si  $(\forall k)(\beta_k = 1)$  et  $\gamma_i = 0$  si et seulement si  $(\forall k)(\beta_k = 0)$ .

Des propriétés des  $\gamma_k^a$ , on tire également que  $(\forall \beta)(\forall i)(0 \leq \gamma_i \leq 1)$ .

CQFD

En revenant alors à l'expression du profit individuel  $(E\pi)$ , on note que le profit brut d'une entreprise ayant opté pour  $N$  est strictement supérieur à son profit initial  $\frac{D}{n}T$ , car  $(\beta_i - \gamma_i) = 1 - \gamma_i \geq 0$ . Son profit net du coût d'investissement  $K$  peut être, lui, négatif.

Pour une entreprise ayant conservé  $O$ , si  $\varphi$  n'est pas trop élevé, le profit est strictement inférieur à son profit initial  $\frac{D}{n}T$  dès lors qu'au moins une entreprise a opté pour  $N$ . En effet, dans  $(E\pi)$ , le terme négatif  $2(0 - \gamma_i)\varphi$  est supérieur en valeur absolue au double du terme positif  $+\frac{((0 - \gamma_i)\varphi)^2}{T}$  dès lors que  $\varphi < T$  et  $\gamma_i > 0$ .

CQFD

Interprétation des coefficients  $\gamma_i$  :

L'ampleur des variations de profits est conditionnée par le coefficient  $\gamma_i$  : l'équation  $(E\pi)$  indique que le profit sera d'autant plus grand que le coefficient  $\gamma_i$  est faible. De même,  $(HP)$  et  $(Ex)$  indiquent que le prix  $p_i$  et la part de marché  $x_i$  seront d'autant plus élevés que le coefficient  $\gamma_i$  est faible.

En outre,  $(E\gamma)$  indique que le coefficient  $\gamma_i$  sera d'autant plus élevé que les stratégies des autres entreprises seront  $N$  ( $\beta_j = 1$ ) plutôt que  $O$  ( $\beta_j = 0$ ) :  $(\forall j)(\frac{\partial \gamma_i}{\partial \beta_j} = \gamma_{j-i+1}^a > 0)$

De la même manière que les coefficients  $\beta_i$  caractérisent le choix individuel de l'entreprise  $E_i$ , on peut donc interpréter les coefficients  $\gamma_i$  comme représentant l'impact sur  $E_i$  des choix stratégiques de l'ensemble des entreprises.

Part de marché servie avec  $N$  :

La part de marché servie par  $E_i$  avec la nouvelle technologie sera nulle si  $\beta_i = 0$  et, d'après  $(Ex)$ , sera égale à  $\frac{(T+(\beta_i-\gamma_i)\varphi)}{T} * \frac{D}{n}$  si  $\beta_i = 1$ .

En sommant ces parts de marché et en utilisant  $(E\gamma)$ , la part du marché total servie avec la nouvelle technologie sera donc:

$$x_N = \sum_{i=1}^n \beta_i * \left( \frac{T+(\beta_i-\gamma_i)\varphi}{T} \right) * \frac{D}{n} = \frac{D}{nT} * \sum_{i=1}^n \beta_i * \left( T + (1 - \gamma_1^a - \sum_{j=2}^n \beta_{j+i-1} \gamma_j^a) \varphi \right)$$

On peut vérifier à propos de cette équation que, conformément à l'intuition, la part du marché total servie avec  $N$  augmente avec le nombre d'offreurs de  $N$ . Il suffit pour cela de montrer que la fonction  $x_N$  considérée comme fonction de variables continues  $(\beta_i)$  est strictement croissante (voir en annexe).

Surplus des consommateurs :

Le surplus individuel des clients situés sur le segment  $[E_i; E_{i+1}]$  sera (hors l'utilité intrinsèque du produit de base, normalisée à 0) :

$$s_c = \beta_i u - p_i - xT \quad \text{si } x \leq \frac{(\beta_i - \beta_{i+1})(u - E(u)) + (\gamma_i - \gamma_{i+1})\varphi + T}{2T}$$

$$\text{et } s_c = \beta_{i+1} u - p_{i+1} - (1-x)T \quad \text{si } x \geq \frac{(\beta_i - \beta_{i+1})(u - E(u)) + (\gamma_i - \gamma_{i+1})\varphi + T}{2T}$$

On intègre alors le surplus sur l'ensemble des clients servis par  $E_i$  sur le segment, puis sur les deux segments concernés par  $E_i$ , et enfin on somme sur l'ensemble des entreprises. Après diverses simplifications techniques (voir annexe), et en notant le degré de diffusion de  $N$  (la proportion des entreprises ayant adopté  $N$ ) par

$$N(\beta) \equiv \frac{1}{n} \sum_{1 \leq i \leq n} \beta_i$$

on obtient :

$$S_c(\beta) = D * \left[ \left( -c - \frac{5T}{4} \right) + N(\beta) * \varphi + \frac{\varphi^2}{4nT} (\sum (\beta_i - \beta_{i+1})^2) + \frac{\varphi^2}{4nT} (\sum (\gamma_i - \gamma_{i+1})^2) \right] \quad (ES_c)$$

Dans l'écriture  $(ES_c)$  on trouve un terme constant correspondant à la situation initiale  $\beta = O^n$ , un terme linéaire proportionnel au degré de diffusion de  $N$  et deux termes non négatifs qui s'annulent quand les choix technologiques des entreprises sont tous alignés. On peut dans ce sens interpréter ces derniers termes comme une valorisation positive de la variété offerte aux consommateurs.

On peut également écrire  $W(\beta)$  (c.f. annexe) en sommant profits et surplus des consommateurs, auxquels on adjoint un éventuel différentiel de coûts externes. Plus précisément, on suppose que le choix de  $N$ , relativement au choix de  $O$ , génère un gain unitaire en coûts externes de  $\delta_{CE}$ . Alors :

$$W(\beta) = D * [(-c - \frac{T}{4} - \delta_{CE}) + (N(\beta) * (\varphi + \delta_{CE} - \frac{nK}{D}))] + X(\beta)$$

$$\text{où } X(\beta) = D * [(\varphi * \delta_{CE} * \frac{2\sum(\beta_i - \gamma_i)^2 + \sum(\gamma_i - \gamma_{i+1})^2}{2nT}) + (\frac{\sigma^2}{4nT} (\sum(\beta_i - \beta_{i+1})^2)) \\ + (\frac{\varphi^2}{4nT} (4\sum(\beta_i - \gamma_i)^2 + \sum(\gamma_i - \gamma_{i+1})^2))]$$

Bien entendu,  $W(\beta)$  décroît quand  $K$  augmente, et si on note que :

$$W(O^n) = D * [(-c - \frac{T}{4} - \delta_{CE})]$$

$$W(N^n) = D * [(-c - \frac{T}{4}) + (\varphi - \frac{nK}{D})]$$

on aboutit à une écriture de  $W(\beta)$  comportant une partie linéaire dépendant du degré de diffusion de  $N$ , et une partie dépendant de la dispersion des stratégies :

$$W(\beta) = (1 - N(\beta))W(O^n) + N(\beta)W(N^n) + X(\beta) \quad (EW)$$

Les deux premiers termes de  $W(\beta)$  tiennent compte de l'avantage moyen procuré par l'adoption de  $N$  par une proportion  $N(\beta)$  d'entreprises, toutes choses égales par ailleurs (soit  $D * N(\beta) * (\varphi + \delta_{CE})$ ). Le reste de l'expression,  $X(\beta)$ , contient des termes non négatifs qui s'annulent uniquement quand les choix technologiques sont tous alignés. Il peut être interprété comme l'expression d'une préférence collective pour la variété.



**2.4.2 Intérêt collectif et individuel d'un changement de stratégie individuel :**

Nous allons montrer que, pour une entreprise  $E_i$  donnée, l'intérêt collectif du passage de la stratégie  $O$  à la stratégie  $N$  est d'autant plus grand que peu d'entreprises ont déjà adopté  $N$  et que les entreprises ayant adopté  $N$  sont plus "éloignées" de  $E_i$  (que  $E_i$  se différencierait beaucoup de ses voisins en adoptant  $N$ ). Ceci est également vrai pour l'intérêt individuel de  $E_i$  à adopter  $N$ .

Schématiquement, cela veut dire qu'il sera préférable collectivement que les entreprises offrant  $N$  soient réparties de façon à couvrir le marché de façon "régulière" et que l'intérêt collectif de la diffusion de  $N$  ira diminuant avec la "densité de couverture" en  $N$ . Vu sous cet angle, l'incitation collective à innover correspond qualitativement à l'incitation individuelle à innover. Pour autant, les deux critères ne coïncident pas (c.f. 2.4.3.).

**Intérêt individuel pour l'adoption de  $N$  :**

On notera  $\Delta_i \pi_i(\beta_{-i})$  la variation de profit relative que l'entreprise  $E_i$  trouverait à choisir  $N$  plutôt que  $O$ , face à la stratégie  $(\beta_{-i})$  des  $(n - 1)$  autres entreprises :

$$\Delta_i \pi_i(\beta_{-i}) = \pi_i(1, \beta_{-i}) - \pi_i(0, \beta_{-i})$$

Nous allons montrer que la fonction  $\Delta_i \pi_i(\beta_{-i})$  est une fonction décroissante de  $\beta_j$  pour tout  $j \neq i$ , et d'autant plus décroissante que  $E_j$  est proche de  $E_i$ . Cela est exprimé plus formellement par la proposition suivante.

Proposition :

$$\Delta_i \pi_i(\beta_{-i}) = (2 + \frac{(1-\gamma_i^+)^2 - 2 \sum_{j=1}^{n-1} \alpha_{n,j} \beta_j \gamma_j^+ \gamma_{-i+1}^+ \varphi}{T}) * (1 - \gamma_i^+) \varphi \frac{D}{n} - K$$

$$(\forall j \neq i) (\frac{\partial \Delta_i \pi_i(\beta_{-i})}{\partial \beta_j} < 0) \text{ et } (\forall j)(\forall k)(|j - i| [n] < |k - i| [n] \Rightarrow \frac{\partial \Delta_i \pi_i(\beta_{-i})}{\partial \beta_j} < \frac{\partial \Delta_i \pi_i(\beta_{-i})}{\partial \beta_k})$$

Démonstration :

On simplifiera la notation des  $\gamma_i$  correspondant aux deux choix possibles de  $E_i$  :

$$\gamma_i^+ = \gamma_i(1, \beta_{-i}) \text{ et } \gamma_i^- = \gamma_i(0, \beta_{-i})$$

En utilisant  $(E\pi)$ :

$$\Delta_i \pi_i(\beta_{-i}) + K = (2(1 - \gamma_i^+) \varphi + \frac{((1 - \gamma_i^+) \varphi)^2}{T}) * \frac{D}{n} - (2(0 - \gamma_i^-) \varphi + \frac{((0 - \gamma_i^-) \varphi)^2}{T}) * \frac{D}{n}$$

$$= (2(1 + \gamma_i^- - \gamma_i^+) \varphi + \frac{((1 - \gamma_i^+)^2 - \gamma_i^-^2) \varphi^2}{T}) * \frac{D}{n}$$

$$= (2(1 + \gamma_i^- - \gamma_i^+) \varphi + \frac{(1 - \gamma_i^+ + \gamma_i^-)(1 - \gamma_i^+ - \gamma_i^-) \varphi^2}{T}) * \frac{D}{n}$$

$$= (2 + \frac{(1 - \gamma_i^+ - \gamma_i^-) \varphi}{T}) * (1 + \gamma_i^- - \gamma_i^+) \varphi \frac{D}{n}$$

et d'après  $(E\gamma)$  :

$$\begin{aligned} \gamma_i &= \beta_i \gamma_1^a + \sum_{j=1 \text{ à } n, j \neq i} \beta_j \gamma_{j-i+1}^a \\ \text{donc : } \gamma_i^+ &= \gamma_i^- + \gamma_1^a \text{ et } \gamma_i^- = \sum_{j=1 \text{ à } n, j \neq i} \beta_j \gamma_{j-i+1}^a. \end{aligned}$$

$$\Delta_i \pi_i(\beta_{-i}) = \left( 2 + \frac{(1-\gamma_1^a - 2 \sum_{j=1 \text{ à } n, j \neq i} \beta_j \gamma_{j-i+1}^a) \varphi}{T} \right) * (1 - \gamma_1^a) \varphi \frac{D}{n} - K \quad (E\Delta)$$

$E_i$  a intérêt à opter pour  $N$  ssi  $\Delta_i \pi_i(\beta_{-i}) \geq 0$ , et  $\Delta_i \pi_i(\beta_{-i})$  varie entre :

$$\begin{aligned} &* \left( 2 - \frac{(1-\gamma_1^a) \varphi}{T} \right) * (1 - \gamma_1^a) \varphi \frac{D}{n} - K \text{ (cas où } (\beta_{-i}) = N^{n-1} \text{) et} \\ &* \left( 2 + \frac{(1-\gamma_1^a) \varphi}{T} \right) * (1 - \gamma_1^a) \varphi \frac{D}{n} - K \text{ (cas où } (\beta_{-i}) = O^{n-1} \text{).} \end{aligned}$$

Or, d'après (EΔ), la fonction  $\Delta_i \pi_i(\beta_{-i})$  est une fonction décroissante de  $\beta_j$  pour tout  $j \neq i$ , et d'autant plus décroissante que  $\gamma_{j-i+1}^a$  est élevé, c'est-à-dire (c.f. propriétés des  $\gamma_k^a$  en annexe) d'autant plus décroissante que  $E_j$  est proche de  $E_i$ .

L'incitation à adopter  $N$  diminue donc avec la diffusion de  $N$  au sein des autres entreprises, et ce d'autant plus que cette adoption est le fait de voisins proches.

CQFD

En outre, on constate que, à  $(\beta_{-i})$  donné,  $\Delta_i \pi_i(\beta_{-i})$  est positif si et seulement si  $K$  est inférieur à une valeur-seuil  $K_i(\beta_{-i})$ .

On notera  $K_+ = K_i(O^{n-1})$  et  $K_- = K_i(N^{n-1})$  les valeurs-seuil de  $K$  qui rendent le premier adopteur potentiel (respectivement, le dernier) indifférent entre adopter ou non  $N$ . D'après (EΔ), dans la mesure où :

$$0 \leq \sum_{j=1 \text{ à } n, j \neq i} \beta_j \gamma_{j-i+1}^a \leq 1 - \gamma_1^a : \quad K_- \leq K_i(\beta_{-i}) \leq K_+.$$

On obtient donc :

$$\Delta_i \pi_i(\beta_{-i}) \geq 0 \text{ ssi } K \leq K_i(\beta_{-i}) \text{ où } K_- \leq K_i(\beta_{-i}) \leq K_+$$

**Intérêt collectif de l'adoption individuelle :**

Nous allons montrer que l'adoption individuelle est souhaitable d'un point de vue collectif quand  $K$  est inférieur à une valeur-seuil et que l'intérêt collectif de l'adoption est plus grand pour la première adoption que pour la dernière. En utilisant des notations similaires à celles qui précèdent, on exprime ces résultats par la proposition formelle :

Proposition :

$$(\forall (\beta_{-i})) (\exists \tilde{K}_i(\beta_{-i}) \text{ tel que } [(\Delta_i W(\beta_{-i}) \geq 0) \text{ ssi } K \leq \tilde{K}_i(\beta_{-i})])$$

et  $\Delta_i W(O^{n-1}) \geq \Delta_i W(N^{n-1})$

Démonstration :

En ce qui concerne l'intérêt collectif, d'après (EW) :

$$\Delta_i W(\beta_{-i}) = \frac{W(N^n) - W(O^n)}{n} + \Delta_i X(\beta_{-i})$$

où :  $\Delta_i X(\beta_{-i}) \equiv D * [(\varphi * \delta_{CE} * \frac{2 \sum \Delta_i(\beta_j - \gamma_j)^2 + \sum \Delta_i(\gamma_j - \gamma_{j+1})^2}{2nT}) + (\frac{\sigma^2}{4nT}(2 - 2\beta_{i+1} - 2\beta_{i-1})) + (\frac{\varphi^2}{4nT}(4 \sum \Delta_i(\beta_j - \gamma_j)^2 + \sum \Delta_i(\gamma_j - \gamma_{j+1})^2))]$ .

Le premier terme de  $\Delta_i W(\beta_{-i})$  est indépendant des stratégies  $(\beta_{-i})$ .

On peut le réécrire en :  $\frac{D}{n}(\varphi + \delta_{CE}) - K$ .

Il est positif si et seulement si l'adoption complète  $N^n$  est préférable au statu-quo  $O^n$  d'un point de vue collectif. Il dépend linéairement de K, alors que le second terme est indépendant de K. Cette linéarité implique qu'il existe pour tout  $(\beta_{-i})$  une valeur-seuil  $\tilde{K}_i(\beta_{-i})$  telle que  $\Delta_i W(\beta_{-i})$  est positif si et seulement si  $K$  est inférieur à  $\tilde{K}_i(\beta_{-i})$ . On peut noter  $\tilde{K}_+ = \tilde{K}_i(O^{n-1})$  et  $\tilde{K}_- = \tilde{K}_i(N^{n-1})$ .

Le second terme,  $\Delta_i X(\beta_{-i})$ , exprime une mesure de la variation de la diversité des stratégies quand  $E_i$  vient à adopter  $N$ .

Dans l'écriture de  $\Delta_i X(\beta_{-i})$ , on remarque que pour  $\beta = O^n$  et  $\beta = N^n$ , les termes  $\sum \Delta_i(\beta_j - \gamma_j)^2$  et  $\sum \Delta_i(\gamma_j - \gamma_{j+1})^2$  s'annulent, alors qu'ils seront strictement positifs pour les autres stratégies des entreprises.

On en déduit que dans les cas polaires :  $\beta_{-i} = O^{n-1}$  (respectivement,  $\beta_{-i} = N^{n-1}$ ), le coefficient de  $\varphi * \delta_{CE}$  dans le second terme est strictement positif (respectivement, strictement négatif), de même que le coefficient de  $\frac{\varphi^2}{4nT}$  et celui de  $\frac{\sigma^2}{4nT}$ . L'intérêt collectif pour que  $E_i$  adopte  $N$  sera donc plus grand pour la première adoption ( $\beta_{-i} = O^{n-1} : \Delta_i X(\beta_{-i}) > 0$ ) que pour la dernière ( $\beta_{-i} = N^{n-1} : \Delta_i X(\beta_{-i}) < 0$ ).

CQFD

Plus généralement, si l'on part d'une situation de faible diffusion, l'adoption de  $N$  par  $E_i$  aura tendance à augmenter la diversité des stratégies, alors que si l'on part d'une situation de très forte diffusion, cette adoption aura tendance à diminuer la diversité des stratégies. A  $K$  donné, et à situation de voisinage immédiat donnée pour  $E_i$  (c'est-à-dire à  $\beta_{i+1}$  et  $\beta_{i-1}$  donnés), l'intérêt collectif d'une augmentation de diffusion de  $N$  sera donc plus important quand la diffusion initiale est faible que quand la diffusion initiale est déjà importante.

**2.4.3 Adoption insuffisante de  $N$  du point de vue collectif pour  $K$  élevé**

Nous allons montrer que la valeur de  $K$  au-delà de laquelle la stratégie  $\beta = O^n$  devient collectivement optimale correspond toujours à une situation dans laquelle  $O$  est stratégie dominante pour toute entreprise :  $\tilde{K}_+ > K_+$ . Cela signifie qu'il y a sous-investissement systématique dans la nouvelle technologie pour une gamme de valeurs élevées de  $K$ .

Proposition :

$$(\exists d > 0)(\forall K \in [K_+; K_+ + d])(\Delta_1 \pi_1(O^{n-1}) < 0 \text{ et } \Delta_1 W(O^{n-1}) > 0)$$

Ce résultat se généralise à toutes les situations dans lesquelles l'adoption de  $N$  par  $E_i$  augmente la diversité des stratégies, au sens de l'indicateur de diversité  $X(\beta)$  défini formellement ci-dessus.

Démonstration :

Il s'agit tout d'abord de regarder ce qui se passe au voisinage de la situation d'absence totale d'adoption de la nouvelle technologie, pour identifier si une adoption (évolution de  $\beta = O^n$  à  $\beta = NO^{n-1}$ ) serait collectivement souhaitable ou non :

- \* entre  $O^n$  et  $NO^{n-1}$ , le profit agrégé brut de l'investissement augmente (voir (EII))
- \* entre  $O^n$  et  $NO^{n-1}$ , les coûts externes sont réduits (puisque la clientèle utilisant  $N$ , aux coûts externes réduits, va augmenter :  $\frac{\partial x_N}{\partial \beta_i} > 0$  - c.f. 2.4.1.)
- \* entre  $O^n$  et  $NO^{n-1}$ , le surplus des clients est augmenté (c.f. (ES<sub>c</sub>))
- \* la question est de savoir si ces augmentations compensent l'investissement  $K$ .

Sans perte de généralité, on considère la meilleure réponse de l'entreprise  $E_1$  (choisir entre  $O$  et  $N$ ) face à la stratégie  $\beta_{-1} = O^{n-1}$  dans laquelle toutes les autres entreprises conservent  $O$ .

Selon (EΔ) :

$$\Delta_1 \pi_1(O^{n-1}) = (2 + \frac{(1-\gamma_1^a)\varphi}{T}) * (1 - \gamma_1^a)\varphi \frac{D}{n} - K$$

Situons nous au seuil d'indifférence entre  $O$  et  $N$ , c'est-à-dire au cas limite  $K = K_+$  tel que :  $(2 + \frac{(1-\gamma_1^a)\varphi}{T}) * (1 - \gamma_1^a)\varphi \frac{D}{n} - K_+ = 0$ .

Alors la variation de  $W$  entre  $O^n$  et  $NO^{n-1}$  est :

$$\Delta_1 W(O^{n-1}) = \frac{W(N^n) - W(O^n)}{n} + \Delta_1 X(O^{n-1})$$

$$\Delta_1 W(O^{n-1}) = \frac{D}{n}(\varphi + \delta_{CE}) - K_+ + \Delta_1 X(O^{n-1})$$

$$\Delta_1 W(O^{n-1}) = [\frac{D}{n}\varphi + \frac{D}{n}\delta_{CE} - 2(1 - \gamma_1^a)\varphi \frac{D}{n} - \frac{D\varphi^2}{nT}(1 - \gamma_1^a)^2] + \Delta_1 X(O^{n-1})$$

et comme  $X(O^n) = 0$  :

$$\Delta_1 X(O^{n-1}) = D * [(\varphi * \delta_{CE} * \frac{2\sum(\beta_j - \gamma_j)^2 + \sum(\gamma_j - \gamma_{j+1})^2}{2nT}) + (\frac{\sigma^2}{2nT}) + (\frac{\varphi^2}{4nT}(4\sum(\beta_j - \gamma_j)^2 + \sum(\gamma_j - \gamma_{j+1})^2))]$$

avec  $(\beta) = (1000\dots 0)^t = NO^{n-1}$ .

Dans l'expression de  $\Delta_1 W(O^{n-1})$ , les coefficients de  $\delta_{CE}$  et de  $\sigma^2$  (respectivement,  $\frac{D}{n}(1 + \varphi \frac{2\sum(\beta_j - \gamma_j)^2 + \sum(\gamma_j - \gamma_{j+1})^2}{2nT})$  et  $\frac{1}{2nT}$ ) sont donc strictement positifs.

On identifie ensuite le coefficient de  $\frac{D\varphi^2}{nT}$  dans  $\Delta_1 W(O^{n-1})$  :

$$-(1 - \gamma_1^a)^2 + \frac{4\sum(\beta_j - \gamma_j)^2 + \sum(\gamma_j - \gamma_{j+1})^2}{4}$$

qui est strictement supérieur à  $\sum(\beta_j - \gamma_j)^2 - (1 - \gamma_1^a)^2$ .

Or  $\sum(\beta_j - \gamma_j)^2 = (1 - \gamma_1^a)^2 + \sum_{j \neq i}(\beta_j - \gamma_j)^2$

donc le coefficient de  $\frac{D\varphi^2}{nT}$  est lui aussi positif.

Il reste alors uniquement à examiner le coefficient de  $\frac{D\varphi}{n}$  dans  $\Delta_1 W(O^{n-1})$ , qui est :

$$1 - (2(1 - \gamma_1^a)) = 2\gamma_1^a - 1.$$

Il suffit de prouver que  $\gamma_1^a > \frac{1}{2}$  (c.f. annexe) pour obtenir enfin

$$\Delta_1 W(O^{n-1}) > 0$$

On en déduit alors, par continuité de  $\Delta_1 W$  au voisinage de  $K_+$ , qu'il existe un intervalle  $[K_+; K_+ + d]$  sur lequel le choix collectivement optimal serait que  $E_1$  adopte  $N$  ( $\Delta_1 W(O^{n-1}) > 0$ ) alors que sa décision individuelle sera de conserver  $O$  (car  $K > K_+$ ).

CQFD

La généralisation de ce résultat exprime que, si  $\Delta_i X(\beta_{-i}) > 0$  alors  $\Delta_i W(\beta_{-i})$  demeure strictement positif sur un intervalle de valeurs de  $K$  pour lesquelles  $E_i$  décide pourtant de ne pas adopter  $N$ .

Proposition :

$$\frac{(\forall(\beta_{-i}) \text{ tel que } \Delta_i X(\beta_{-i}) > 0)}{(\exists k > 0)(\exists k' > k)(\forall K \in ]k; k'[)(\Delta_i \pi_i(\beta_{-i}) < 0 \text{ et } \Delta_i W(\beta_{-i}) > 0)}$$

Démonstration :

Il suffit pour cela de considérer l'écriture de  $\Delta_i W(\beta_{-i})$  et de constater que pour  $K = K_i(\beta_{-i})$ , valeur-seuil pour laquelle  $E_i$  est indifférent entre adopter  $N$  et conserver  $O$ , le premier terme de  $\Delta_i W(\beta_{-i})$  est :

$$\frac{D}{n}(\varphi + \delta_{CE}) - K_i(\beta_{-i})$$

soit :  $\frac{D}{n}\delta_{CE} + \frac{D}{n}\varphi(1 - (1 - \gamma_1^a)(2 + \frac{(1 - \gamma_1^a - 2\sum_{j=1 \text{ à } n, j \neq i} \beta_j \gamma_{j-i+1}^a)\varphi}{T}))$ .

Donc il est supérieur à :  $\frac{D}{n}\varphi(1 - (1 - \gamma_1^a)(2 + \frac{(1 - \gamma_1^a)\varphi}{T})) = \frac{D}{n}\varphi(2\gamma_1^a - 1 -$

$\frac{(1 - \gamma_1^a)^2 \varphi}{T})$  qui, comme  $\frac{\varphi}{T}$  est supposé inférieur à  $\frac{1}{2}$ , est supérieur à :  $\frac{D}{n}\varphi(2\gamma_1^a - 1 - \frac{(1 - \gamma_1^a)^2}{2})$ .

La condition de positivité correspond à une inéquation du second degré dont la résolution est simple et conduit à la condition  $\gamma_1^a > 3 - \sqrt{6}$ . Celle-ci est bien vérifiée (c.f. annexe).

CQFD



2.5 Analyse de la "stabilité" d'un profil de stratégies

*Definition*

Un profil de stratégies ( $\beta$ ) sera dit stable si aucune des entreprises ne trouverait intérêt à changer de façon unilatérale son choix stratégique  $\beta_i$ . Cette notion coïncide avec la notion d'équilibre de Nash du choix de stratégies lors de la première étape du jeu de base, les gains associés étant ceux issus de l'écriture ( $E\pi$ ).

Nous allons déterminer une caractérisation simple des profils de stratégies stables et montrer qu'un profil de stratégies est, soit instable pour toute valeur de  $K$ , soit stable pour un intervalle déterminé de valeurs de  $K$ .

Pour cela, nous allons utiliser les propriétés de symétrie du modèle en raisonnant à partir de  $E_1$  pour ( $\beta_{-i}$ ) quelconque, et construire une fonction  $l(K)$  qui fournira la caractérisation recherchée.

A  $\beta_{-1} = (\beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n)$  donné,  $E_1$  peut répondre par  $\beta_1 = 0$  ou 1.

En utilisant ( $E\Delta$ ), l'avantage relatif de répondre par  $\beta_1 = 1$  est donné par:

$$\Delta_1 \pi_1(\beta_{-1}) = (2 + \frac{(1-\gamma_1^a - 2 \sum_{k=2 \text{ à } n} \beta_k \gamma_k^a) \varphi}{T}) * (1 - \gamma_1^a) \varphi \frac{D}{n} - K$$

Alors :  $\Delta_1 \pi_1(\beta_{-1}) \geq 0$  ssi  $\frac{KT}{(1-\gamma_1^a) \varphi \frac{D}{n}} \leq (2T + (1 - \gamma_1^a - 2 \sum_{k=2 \text{ à } n} \beta_k \gamma_k^a) \varphi)$   
soit :

$$2(\sum_{k=2 \text{ à } n} \beta_k \gamma_k^a) \varphi \leq (2T + (1 - \gamma_1^a) \varphi) - \frac{nKT}{(1-\gamma_1^a) \varphi D}$$

Si l'on note :  $l(K) \equiv \frac{1}{2} * ((2 - \frac{nK}{D\varphi(1-\gamma_1^a)}) * \frac{T}{\varphi}) + 1 - \gamma_1^a$   
qui est fonction linéaire décroissante de  $K$ ,  
alors, par construction de  $l(K)$  :

$$\Delta_1 \pi_1(\beta_{-1}) \geq 0 \text{ ssi } \sum_{j=2, \dots, n} \beta_j \gamma_j^a \leq l(K)$$

On introduit la notation simplificatrice :

$$\gamma_{-i}(\beta) \equiv \sum_{j=2, \dots, n} \beta_{j+i-1} \gamma_j^a$$

et les fonctions :

$$L_+(\beta) = \text{Max}_{i \text{ tel que } \beta_i=1} [\gamma_{-i}(\beta)] , \quad L_-(\beta) = \text{Min}_{i \text{ tel que } \beta_i=0} [\gamma_{-i}(\beta)] .$$

On obtient alors une caractérisation des profils de stratégies stables pour  $\beta \neq O^n$  et  $\neq N^n$ .

Proposition :

$$\boxed{\beta \text{ est stable ssi } (L_+(\beta) \leq l(K) \leq L_-(\beta))}$$

ce qui implique en particulier que :

$\beta$  n'est stable pour aucune valeur de  $K$  si  $L_+(\beta) > L_-(\beta)$

Cette inégalité traduit le fait que, dans tout équilibre ( $\beta$ ), l'impact stratégique de l'ensemble des adopteurs sur tout utilisateur de  $N$  doit être nécessairement strictement supérieur au même impact stratégique sur toute entreprise conservant  $O$ . Ceci exprime en quelque sorte une condition de cohérence des stratégies dans un équilibre : les adopteurs de  $N$  sont ceux qui gagnent le plus à adopter  $N$  dans le profil de stratégie considéré<sup>7</sup>.

Démonstration :

Il suffit de noter que la stabilité de la stratégie  $\beta$  se traduit par :

$$\begin{aligned} (\forall i \text{ tel que } \beta_i = 0) (\Delta_i \pi_i(\beta_{-i}) \leq 0) \quad \text{ie} \quad \sum_{j=2, \dots, n} \beta_{i-j+1} \gamma_j^\alpha \geq l(K) \\ \text{et} \quad (\forall i \text{ tel que } \beta_i = 1) (\Delta_i \pi_i(\beta_{-i}) \geq 0) \quad \text{ie} \quad \sum_{j=2, \dots, n} \beta_{i-j+1} \gamma_j^\alpha \leq l(K). \end{aligned}$$

1. En examinant les stratégies "polaires" particulières  $O^n$  et  $N^n$  et en utilisant les propriétés des  $\gamma_j^\alpha$ , on obtient :

$L_-(O^n) = 0$  et  $L_+(O^n)$  n'est pas défini

$L_-(N^n)$  n'est pas défini et  $L_+(N^n) = 1 - \gamma_1^\alpha$

Comme  $l(K)$  est une fonction strictement décroissante :

$O^n$  est stable ssi  $K \geq K_+$  tel que  $l(K_+) = 0$

$N^n$  est stable ssi  $K \leq K_-$  tel que  $l(K_-) = 1 - \gamma_1^\alpha$ .

2. Soit maintenant  $\beta \notin \{O^n, N^n\}$  : d'après les propriétés des  $\gamma_j^\alpha$ ,

$$(0 \leq \sum_{j=2, \dots, n} \beta_j \gamma_j^\alpha \leq 1 - \gamma_1^\alpha), \text{ donc}$$

$$0 \leq L_-(\beta) \leq 1 - \gamma_1^\alpha = l(K_-) \text{ et } l(K_+) = 0 \leq L_+(\beta) \leq 1 - \gamma_1^\alpha$$

Donc si  $\beta$  est stable pour la valeur  $K$  :

$$l(K_+) \leq L_+(\beta) \leq l(K) \leq L_-(\beta) \leq l(K_-).$$

La réciproque est immédiate.

CQFD

On déduit de la décroissance de  $l(K)$  que :

si  $\beta \notin \{O^n, N^n\}$  est stable pour  $K$ , alors  $K_- < K < K_+$ .

Plus précisément, on peut caractériser la stabilité en utilisant la stricte décroissance de  $l(K)$  et la fonction inverse  $l^{-1}$ .

$\beta \notin \{O^n, N^n\}$  est stable pour  $K$  si et seulement si

$$l^{-1}(L_-(\beta)) \leq K \leq l^{-1}(L_+(\beta))$$

c'est-à-dire que  $\beta$  sera stable sur une gamme de valeurs intermédiaires de  $K$  (à condition bien sûr que  $L_+(\beta) \leq L_-(\beta)$ ) et ne sera pas stable si  $N$  est trop attractif ( $K$  faible) ou si  $N$  est trop peu attractif ( $K$  élevé).

<sup>7</sup>Ceci apparaît clairement quand on rapproche les définitions de  $L_+(\beta)$  et  $L_-(\beta)$ , de l'équation ( $E\pi$ ) qui montre que les profits sont d'autant plus bas que  $\gamma_{-i}$  est élevé.

## 2.6 Simulations

Les cas  $n = 7$ ,  $n = 8$  et  $n = 10$  ont été testés. En dehors des cas polaires, les profils de stratégies dont le domaine de stabilité en  $K$  est le plus grand alternent les  $O$  et les  $N$ .

Les valeurs-limite des  $\gamma_j^a$  obtenues par la résolution explicite (c.f. annexe) ont été vérifiées dans les simulations.

Une propriété intéressante aurait été que, quand  $K$  augmente de  $K_-$  à  $K_+$ , les profils de stratégies stables "diminuent en  $N$ " (c'est-à-dire que les valeurs de  $N(\beta)$  pour les  $\beta$  stables décroissent quand  $K$  augmente). Ce n'est malheureusement pas nécessairement le cas, sauf pour de faibles valeurs de  $n$ .

Des éléments détaillés sur les simulations effectuées figurent en annexe.

## 2.7 Examen de la toute première adoption et de l'influence d'un seuil de viabilité de $N$ ("étapes-clef")

Le premier chapitre a montré l'importance des phases de démarrage, avec le rôle important joué par les tout premiers adopteurs, et le caractère critique du franchissement d'un "seuil de viabilité" correspondant à un événement dont l'existence est connaissance commune (fin de versement de subvention publique, délai de grâce accordé par les banques).

D'où l'introduction de deux approches :

■ analyse de l'impact de l'existence d'un seuil de viabilité, représenté par un nombre minimum d'adopteurs,  $s \leq n$ , nécessaire à la pérennisation de l'existence de  $N$ . Cette analyse se fera à travers l'étude des possibilités de déviation individuelle (équilibre de Nash classique) mais aussi des possibilités de déviation collective, en utilisant des raffinements de la notion d'équilibre de Nash introduits par Aumann (1959) et Bernheim et al (1987), qui considèrent les profils de stratégies robustes aux coalitions

■ analyse plus fine de la décision de première adoption : dans un premier sous-jeu, une entreprise peut choisir d'être le premier adopteur de  $N$ , et bénéficie alors de l'exclusivité de  $N$  pendant une certaine durée. Cette durée peut correspondre, par exemple, à la durée de réaction des autres entreprises à la décision de première adoption. Puis un second sous-jeu se déroule, qui est un jeu d'adoption du type de ceux étudiés précédemment (décision simultanée des  $(n - 1)$  entreprises restantes pour adopter ou non  $N$ ).

Impact d'un seuil de viabilité :

Examinons les profils de stratégies  $(\beta)$  candidats à être un équilibre de Nash du jeu. Si l'entreprise  $E_i$  n'a pas la possibilité d'influer sur la viabilité de  $N$ , son critère de décision reste inchangé par rapport au jeu initial ( $\Delta_i \pi_i(\beta_{-i}) \geq 0$ ). Si  $E_i$  a la possibilité de décider de la viabilité de  $N$  à travers sa décision, qui lui donnerait  $\frac{D}{n}T$  si  $\beta_i = 0$ , le critère devient :  $\pi_i(\beta_i = 1, \beta_{-i}) - \frac{D}{n}T \geq 0$  soit :

$$\left(2 + \frac{(1 - \gamma_1^a - \sum_{j=1 \text{ à } n, j \neq i} \beta_j \gamma_{j-i+1}^a) \varphi}{T}\right) * (1 - \gamma_1^a - \sum_{j=1 \text{ à } n, j \neq i} \beta_j \gamma_{j-i+1}^a) \varphi \frac{D}{n} - K \geq 0.$$

Ce critère est plus contraignant que le critère du jeu initial car le profit de référence est supérieur (dans le jeu initial, une stratégie  $O$  face à  $(\beta_{-i})$  donne moins que  $\frac{D}{n}T$  comme cela a été vu au début du 2.4.1.).

On en déduit que tout équilibre du jeu avec seuil de viabilité doit être un équilibre du jeu initial, et en outre vérifier une condition plus contraignante pour les entreprises qui seraient en position décisionnaire sur la viabilité de  $N$ .

On part donc d'un équilibre  $(\beta)$  du jeu initial et l'on distingue les cas :

\*  $\sum_{j=1 \text{ à } n} \beta_j < s$  : un tel profil de stratégie ne peut être un équilibre en raison du non-respect du critère de viabilité (l'investissement  $K$  serait fait à fonds perdus)

\*  $\sum_{j=1 \text{ à } n} \beta_j = s$  : toute entreprise telle que  $\beta_j = 1$  est décisionnaire de la viabilité en fonction de sa seule décision individuelle et donc  $(\beta)$  est un équilibre si et seulement si :

$$(\forall i \text{ tel que } \beta_i = 1) \left( 2 + \frac{(1 - \gamma_1^a - \sum_{j=1 \text{ à } n, j \neq i} \beta_j \gamma_{j-i+1}^a) \varphi}{T} \right) * (1 - \gamma_1^a - \sum_{j=1 \text{ à } n, j \neq i} \beta_j \gamma_{j-i+1}^a) \varphi \frac{D}{n} \geq K$$

ou :  $(2 + \frac{(1 - \gamma_1^a - L_+(\beta)) \varphi}{T}) * (1 - \gamma_1^a - L_+(\beta)) \varphi \frac{D}{n} \geq K$ .

Certains des équilibres du jeu initial ne seront donc plus équilibres du jeu avec seuil de viabilité.

\*  $\sum_{j=1 \text{ à } n} \beta_j > s$  : aucune entreprise n'est décisionnaire de la viabilité à elle seule. Mais si l'on examine les coalitions susceptibles de se former, là aussi certains équilibres du jeu initial ne seront pas robustes à la formation de coalitions.

Prenons un exemple simple :  $K < K_-$  : dans le jeu initial, le seul équilibre est l'adoption unanime. Mais l'adoption unanime donne à chaque entreprise in fine :

$\frac{D}{n} T - K_-$  donc moins que la situation de non-adoption unanime. Dans ce cas tout ensemble de  $(n - s + 1)$  entreprises constitue une coalition susceptible de détruire l'équilibre d'adoption unanime.

Nous avons donc mis en évidence la possibilité de comportements opportunistes de la part d'entreprises individuelles, ou de la part d'une coalition, aboutissant à l'échec de la nouvelle technologie  $N$  en raison de l'introduction d'une possibilité d'action stratégique sur la viabilité de  $N$  (quel que soit, par ailleurs, l'intérêt collectif de l'adoption de  $N$ ).

Analyse de la première décision d'adoption :

Dans un premier sous-jeu, une entreprise peut choisir d'être le premier adopteur de  $N$ , et bénéficie alors de l'exclusivité de  $N$  pendant une certaine durée. Cette durée peut correspondre, par exemple, à la durée de réaction des autres entreprises à la décision de première adoption. Puis un second sous-jeu se déroule, qui est un jeu d'adoption du type de ceux étudiés précédemment (décision simultanée des  $(n - 1)$  entreprises restantes pour adopter ou non  $N$ ).

Les profits seront représentés par :

$$\pi_i = \alpha \pi_i^1 + (1 - \alpha) \pi_i^2$$

où  $\pi_i^1$  (respectivement,  $\pi_i^2$ ) est le profit de référence de la première (seconde) période et  $\alpha \in [0, 1]$  est un coefficient de pondération qui sera d'autant plus grand que la durée d'exclusivité est longue ou que le taux d'actualisation est élevé.

Tout d'abord, il est trivial que si l'entreprise se lance dans la première adoption, elle a intérêt à conserver  $N$  pour le second sous-jeu quelle que soit la stratégie des autres entreprises. Les critères d'obtention d'un équilibre pour le second sous-jeu sont les mêmes que pour le jeu de base.

In fine, l'entreprise qui est en position de faire la première adoption a le choix entre adopter, et obtenir d'après ( $E\pi$ ) si le profil de stratégie obtenu dans le second sous-jeu est ( $\beta$ ) :

$$\pi_i = \alpha \left( \frac{(T+(1-\gamma_1^a)\varphi)^2}{T} * \frac{D}{n} \right) + (1-\alpha) \left( \frac{(T+(1-\gamma_1^a-\gamma_{-i})\varphi)^2}{T} * \frac{D}{n} \right) - K$$

où  $\gamma_{-i} = \sum_{j=1 \text{ à } n, j \neq i} \beta_j \gamma_j^a$

Soit :

$$\pi_i = \left[ \frac{(T+(1-\gamma_1^a)\varphi)^2}{T} * \frac{D}{n} - K \right] - (1-\alpha) \gamma_{-i} \varphi \left( \frac{(2T+(2(1-\gamma_1^a)-\gamma_{-i})\varphi)}{T} * \frac{D}{n} \right)$$

D'après les propriétés des  $\gamma_j$ , le second terme est toujours négatif ou nul. Il dépend de la stratégie menée par les autres entreprises, ce qui peut correspondre en général à plusieurs équilibres possibles du second sous-jeu.

Là encore, une technologie trop attractive peut ne pas être choisie : si  $K < K_-$ , le seul équilibre possible du second sous-jeu est l'adoption unanime ( $\gamma_{-i} = 1 - \gamma_1^a$ ) et alors :

$$\pi_i = \left[ \frac{(T+(1-\gamma_1^a)\varphi)^2}{T} * \frac{D}{n} - K \right] - (1-\alpha)(1-\gamma_1^a)\varphi \left( \frac{(2T+(1-\gamma_1^a)\varphi)}{T} * \frac{D}{n} \right)$$

$$\pi_i = \frac{DT}{n} + (1-(1-\alpha)) \left( \frac{2\varphi D}{n} (1-\gamma_1^a) + \frac{\varphi^2 D}{nT} (1-\gamma_1^a)^2 - K \right)$$

$$\pi_i = \frac{DT}{n} + \left[ \alpha \frac{\varphi D}{n} (1-\gamma_1^a) \left( 2 + \frac{\varphi}{T} (1-\gamma_1^a) \right) - K \right]$$

Si  $\alpha$  est assez petit, le second terme est négatif et donc l'entreprise en position d'être premier adopteur perdrait in fine à adopter, par rapport au statu quo initial offert par l'ancienne technologie.

Dans le cadre étudié, une entreprise n'a donc pas nécessairement intérêt à lancer une nouvelle technologie, pourtant intrinsèquement attractive, si elle s'expose à une réaction rapide de ses concurrents (gains de différenciation trop éphémères).

## 2.8 Résumé des notations et hypothèses du modèle kaldorien

- \*  $O$  est une technologie ancienne de coût de production  $c$ ,
- \*  $N$  est une nouvelle technologie de coût de production  $c - \delta c$  qui ne peut être mise en oeuvre sans un coût d'investissement  $K$
- \*  $n$  entreprises notées  $E_i$  sont réparties de façon équidistante sur un cercle
  - le choix de technologie de  $E_i$  est noté  $\beta_i = 0$  pour le choix initial  $O$  et  $\beta_i = 1$  au cas où  $E_i$  opte pour  $N$
  - $p_i \equiv$  prix de  $E_i$ ,  $\pi_i \equiv$  profit de  $E_i$ ,  $x_i \equiv$  demande servie par  $E_i$
  - $(\beta_{-i}) \equiv$  les choix de technologie des  $(n - 1)$  entreprises autres que  $E_i$
  - la variation de profit de  $E_i$  selon la stratégie qu'elle adopte sera désignée par

$$\Delta_i \pi_i(\beta_{-i}) \equiv \pi_i(1, \beta_{-i}) - \pi_i(0, \beta_{-i})$$

et plus généralement la variation d'un paramètre quelconque selon la stratégie de  $E_i$  sera désigné par  $\Delta_i(\cdot)(\beta_{-i})$

- \* les consommateurs sont répartis uniformément sur le cercle, avec une demande totale  $D$ 
  - les consommateurs situés sur l'arc de cercle  $[E_i; E_{i+1}]$  sont servis par l'une ou l'autre de ces entreprises; l'utilité que retire un consommateur à être servi par chaque entreprise dépend de son abscisse  $x \in [0; 1]$  qui détermine l'ampleur d'un coût de transport dont le coût unitaire est  $T$ , et dépend de l'utilité relative qu'il ressent si il consomme  $N$  plutôt que  $O$ ; cette utilité, indépendante de  $x$ , est notée  $u$  et distribuée sur  $[\underline{U}; \bar{U}]$  selon  $f(u)$  d'espérance  $E(u)$  et d'écart-type  $\sigma$
  - le surplus des consommateurs est noté  $S_c(\beta)$

\* le bien-être collectif est noté  $W(\beta)$  et représente la somme de  $S_c(\beta)$  et des profits des entreprises, avec le cas échéant un différentiel de coûts externes  $\delta_{CE}$  en faveur de l'utilisation de  $N$  (production et/ou consommation) comparativement à l'utilisation de  $O$ .

\*  $N(\beta) \equiv \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_i$  désigne la proportion d'entreprises ayant adopté  $N$

\*  $\varphi \equiv E(u) + \delta c$  est supposé strictement positif

$$\gamma_i \equiv \frac{1}{\varphi} (c + T + \beta_i E(u) - p_i)$$

on suppose que  $(\forall i)(U = \underline{U}, U = \bar{U})(|(\beta_i - \beta_{i+1})U - p_i + p_{i+1}| \leq T)$

cette hypothèse est vérifiée avec les prix d'équilibre déterminés dès que  $\varphi \leq \frac{T}{2}$  et  $|U - E(u)| \leq \frac{T}{2}$ .

### 3 Un modèle " chamberlinien "

Si l'on part de l'hypothèse que les effets de voisinage local sont négligeables, et que les interactions entre entreprises se limitent à une interaction entre chaque entreprise et un indicateur agrégé représentatif de l'ensemble des autres entreprises considérées de façon anonyme (sans logique de proximité relative), on se place dans le cadre de la concurrence monopolistique, autour des principes de base établis par Chamberlin (1933, 1952) :

\* le nombre d'entreprises est suffisamment élevé pour que l'influence de chaque entreprise prise individuellement puisse être considérée comme négligeable

\* les entreprises répondent au même besoin générique, mais en produisant des biens différenciés entre eux, plus ou moins substituables et chaque entreprise fixe le prix de son produit (il n'y a donc pas, a priori, un prix de marché unique)

\* il y a libre entrée et libre sortie, ce qui conduit à une situation dans laquelle les profits des entreprises sont nuls (les coûts fixes d'entrée étant tout juste couverts par les profits).

Il faut cependant noter que cette approche classique considère également que chaque entreprise ne produit qu'un seul bien, il y a donc exclusivité dans le choix du bien à produire. Or la problématique d'adoption d'innovation demeure binaire à la base. Pour résoudre cette difficulté apparente, nous considérerons ici deux familles de produits, l'une utilisant une ancienne technologie, et l'autre une nouvelle technologie. Chaque entreprise présente au sein d'une famille produira un bien différencié, au sein de la famille.

On adoptera ici une fonction d'utilité agrégée des consommateurs, inspirée du modèle de Dixit et Stiglitz (1977) mais dans un cadre d'équilibre partiel, l'objet étant ici d'analyser plus en détail les choix technologiques sur un marché donné.

La fonction d'utilité du consommateur sera représentée par une fonction de Cobb-Douglas avec comme arguments des quantités agrégées des deux biens (technologies) considérés, ces quantités agrégées étant constituées de fonctions à élasticité de substitution constantes (CES) :

$$U = (X_1)^\mu (X_2)^{1-\mu}$$

$$\text{où } X_l = ((\sum_{i=1}^n (x_{il})^{\rho_l})^{\frac{1}{\rho_l}}), l = 1, 2 \quad \text{et } 0 < \mu < 1$$

$x_{il}$  étant la quantité de bien du type  $l$  produite par l'entreprise  $i$  (et consommée)

$$U = ((\sum_{i=1}^n (x_{i1})^{\rho_1})^{\frac{1}{\rho_1}})^\mu ((\sum_{i=1}^n (x_{i2})^{\rho_2})^{\frac{1}{\rho_2}})^{1-\mu}.$$



### 3.1 Résolution du modèle de base

Les conditions du premier ordre pour le programme de consommation donnent ( $\frac{\partial U}{\partial x_{ji}} = 0$ ) :

$$\mu \left( \left( \sum_{i=1}^n x_{i1} \right)^{\rho_1} \right)^{\frac{1}{\rho_1} - \mu} \frac{\partial \left( \sum_{i=1}^n x_{i1} \right)^{\rho_1}}{\partial x_{j1}} \left( \left( \sum_{i=1}^n x_{i2} \right)^{\rho_2} \right)^{\frac{1}{\rho_2} - 1} = \lambda p_{j1}$$

où  $\lambda$  est le multiplicateur de Lagrange associé à la contrainte de budget :

$$R \geq \sum_{i=1}^n p_{i1} x_{i1} + \sum_{i=1}^n p_{i2} x_{i2}.$$

La résolution de ce modèle est assez classique (voir détails en annexe) : des conditions du premier ordre on tire l'expression des prix  $p_{ji}$  en fonction de l'utilité  $U$  et des quantités  $x_{ji}$ . L'expression des dépenses relatives à chaque produit et de la contrainte de budget permettent alors d'aboutir à une expression "simple" des quantités en fonction des prix :

$$x_{k1} = \frac{\mu R}{\sum_{j=1}^n p_{j1}} \frac{-\frac{1}{1-\rho_1}}{-\frac{\rho_1}{1-\rho_1}} p_{k1}$$

$$x_{k2} = \frac{(1-\mu)R}{\sum_{j=1}^n p_{j2}} \frac{-\frac{1}{1-\rho_2}}{-\frac{\rho_2}{1-\rho_2}} p_{k2}$$

On en déduit le profit de l'entreprise  $i$  produisant le bien  $l$ , dont l'écriture se simplifie en utilisant l'hypothèse de concurrence monopolistique, selon laquelle le joueur néglige l'impact de sa stratégie sur la résultante globale des stratégies, c'est-à-dire qu'il considère  $\sum_{j=1}^n p_{j1}^{-\frac{\rho_1}{1-\rho_1}}$  comme constant. On obtient alors les prix par maximisation des profits, ainsi que l'expression des profits obtenus :

$$p_{i1} = \frac{c_{i1}}{\rho_1}$$

$$p_{j2} = \frac{c_{j2}}{\rho_2}$$

$$\pi_{i1} = \frac{c_{i1}(1-\rho_1)}{\rho_1} \frac{\mu R}{\sum_{j=1}^n p_{j1}} \left( \frac{c_{i1}}{\rho_1} \right)^{-\frac{1}{1-\rho_1}}$$

Si tous les coûts marginaux de production du produit 1 sont identiques et si  $m_1$  entreprises sur les  $n$  possibles produisent le bien 1 (respectivement, pour le produit 2) l'expression des profits se simplifie en :

$$\pi_{i1} = \frac{c_1(1-\rho_1)}{\rho_1} \frac{\mu R}{m_1}$$

$$\pi_{j2} = \frac{c_{j2}(1-\rho_2)}{\rho_2} \frac{(1-\mu)R}{m_2}$$

Face au coût fixe d'entrée sur le marché supposé égal à  $K_1$ , l'équilibre de libre entrée est obtenu pour :  $\pi_{i1} = K_1$ , soit :

$$K_1 = \frac{c_1(1-\rho_1)}{\rho_1} \frac{\mu R}{m_1}$$

le nombre d'entrants est alors fixé par :

$$m_1(K_1) = \frac{c_1(1-\rho_1)}{\rho_1} \frac{\mu R}{K_1}$$

De même, sur le marché 2, pour un coût d'entrée  $K$ , le nombre d'entrants sera :

$$m_2(K) = \frac{c_2(1-\rho_2)}{\rho_2} \frac{(1-\mu)R}{K}$$

On supposera  $m_1$  et  $m_2$  entiers par la suite, pour simplifier l'analyse.

### 3.2 Adaptation du modèle au choix de technologie

Les fonctions de Cobb Douglas sont très pratiques pour les simplifications mathématiques qu'elles permettent. Cependant, elles supposent que tout bien  $i$  (ici,  $i = 1, 2$ ) doit avoir une consommation strictement positive, faute de quoi  $U = 0$  quelle que soit la consommation de l'autre bien. On ne peut donc pas dans ce cadre comparer pleinement la variation d'utilité induite par l'introduction de la nouvelle technologie par rapport à la situation initiale dans laquelle elle est inexistante. On peut uniquement analyser l'effet des divers niveaux d'adoption de la nouvelle technologie une fois celle-ci introduite effectivement, c'est-à-dire adoptée par au moins une entreprise.

Par ailleurs, le fait que, dans ce modèle, les prix d'un marché n'affectent pas les consommations de l'autre marché reflète une hypothèse implicite de relatif cloisonnement des marchés. Cela peut correspondre à une vision selon laquelle solution routière et service multimodal sont deux types de marchés différents, correspondant par exemple à des produits à transporter distincts. Le fait qu'ils se retrouvent mêlés au sein d'une même fonction d'utilité peut correspondre au fait que chaque client a besoin des deux types de produits à la fois.

Un avantage de ce modèle est qu'il permet d'envisager aisément la présence simultanée d'une même entreprise sur les deux marchés, en raison justement du cloisonnement entre les deux marchés dans le cadre de ce modèle : le marché 1 optimise l'utilisation de la ressource  $\mu R$  en fonction des entreprises présentes sur le marché 1 et de leurs prix sur ce marché, et le marché 2 optimise l'utilisation de la ressource  $(1 - \mu)R$  en fonction des entreprises présentes sur le marché 2 et de leurs prix sur ce marché. S'il n'y a pas de contrainte a priori, par exemple sur l'exclusivité de technologie ou sur le différentiel de prix d'une même entreprise sur les 2 marchés, la maximisation du profit joint correspond à la somme des maximisations sur chaque marché.

Du point de vue des décisions des entreprises, on peut distinguer 2 cas :

- \* l'apparition de la nouvelle technologie est anticipée
- \* cette apparition est imprévue et survient après les décisions d'entrée sur le marché de l'ancienne technologie.

Nous nous placerons ici dans le second cas, qui peut paraître plus réaliste pour les cas d'application envisagés.

Déroulement du jeu :

\* étape 1 : choix simultané des  $n$  entreprises (comprenant les entreprises présentes sur le marché 1 et les autres), qui décident d'entrer ou de ne pas entrer sur le marché 2

\* étape 2 : réalisation des choix par acquittement du coût d'investissement et production au coût  $c_2$ . Le coût d'investissement sera désigné par  $K_2$  pour une entreprise historique et  $K'_2$  pour un nouvel entrant. Ces deux coûts peuvent différer, ils peuvent refléter par exemple des coûts d'entrée sur le marché des produits concernés (publicité par exemple), des coûts d'apprentissage ou des coûts d'adaptation à un nouveau marché.

Les entreprises seront désignées par un indice  $i \in \{1, \dots, n\}$ , les  $m_1$  premiers indices correspondant aux entreprises présentes sur le marché 1. Le choix de l'entreprise  $i$  sera noté  $\beta_i$  où  $\beta_i = 1$  si  $i$  choisit d'entrer sur le marché 2 et  $\beta_i = 0$  sinon.

Un profil de stratégies de l'ensemble des entreprises sera noté  $(\beta) = (\beta_i)_{1 \leq i \leq n}$ .

Le nombre d'entreprises présentes sur le marché 1 entrant sur le marché 2 sera alors  $\sum_{i=1}^{m_1} \beta_i \equiv n_1$ , le nombre d'entreprises non présentes sur le marché 1 entrant sur le marché 2 sera  $\sum_{i=m_1}^n \beta_i \equiv n_2$  et le nombre total d'entrants sur le marché 2 sera  $\sum_{i=1}^n \beta_i = n_1 + n_2$ .

Résolution :

On note tout d'abord que, d'après l'expression des profits déterminée plus haut, le profit fait sur le marché 2 par une entreprise historique (c'est-à-dire une entreprise déjà présente sur le marché 1) sera :

$$\pi_{i2} = \frac{c_2(1-\rho_2)(1-\mu)R}{\rho_2 \left(\sum_{i=1}^n \beta_i\right)} - K_2$$

Et si l'on note pour simplifier  $m_2 \equiv m_2(K_2)$  (c.f. définition au 3.1.) :

$$\pi_{i2} = \frac{c_2(1-\rho_2)(1-\mu)R}{\rho_2} \left[ \frac{1}{\sum_{i=1}^n \beta_i} - \frac{1}{m_2} \right]$$

De même, en notant  $m'_2 \equiv m_2(K'_2)$ , le profit réalisé sur le marché 2 par un nouvel entrant sera

$$\pi_{i2} = \frac{c_2(1-\rho_2)(1-\mu)R}{\rho_2} \left[ \frac{1}{\sum_{i=1}^n \beta_i} - \frac{1}{m'_2} \right]$$

Proposition :

soit  $(\beta)$  un équilibre de Nash du jeu en stratégies pures :

\* si  $(\exists j \leq m_1 \text{ tel que } \beta_j = 1)$  alors  $\sum_{i=1}^n \beta_i \leq m_2$  (1)

\* si  $(\exists j \leq m_1 \text{ tel que } \beta_j = 0)$  alors  $\sum_{i=1}^n \beta_i \geq m_2$  (2)

\* si  $(\exists j > m_1 \text{ tel que } \beta_j = 1)$  alors  $\sum_{i=1}^n \beta_i \leq m'_2$  (3)

\* si  $(\exists j > m_1 \text{ tel que } \beta_j = 0)$  alors  $\sum_{i=1}^n \beta_i \geq m'_2$  (4)

Cette proposition résulte des écritures ci-dessus du profit  $\pi_{j2}$ , qui deviennent strictement négatives si  $\sum_{i=1}^n \beta_i > m_2$  (respectivement  $> m'_2$ ), ce qui montre que dans ce cas l'entreprise  $j$  telle que  $\beta_j = 1$  aurait intérêt à dévier du profil  $(\beta)$  en renonçant à entrer sur le marché 2. Ceci démontre (1) et (3).

De même, pour (2) et (4), si  $\sum_{i=1}^n \beta_i \leq m_2 - 1$  (respectivement  $< m'_2 - 1$ ), l'entreprise  $j$  telle que  $\beta_j = 0$  aurait intérêt à dévier du profil  $(\beta)$  en entrant sur le marché 2.

CQFD

Sur ces bases, une analyse rapide des cas de figure possibles conduit aux tableaux de résultats suivants. Chaque tableau résume, pour chaque gamme de valeur de  $n, m_1, m_2, m'_2$  possible (colonne 1), la caractérisation des équilibres de Nash (colonne 2) et indique en colonne 3 la correspondance avec la diffusion globale de la nouvelle technologie :  $(\sum_{i=1}^n \beta_i)$ .

1)  $m_2 < m'_2$  : tableau 1

Cas $n > m_1 + m'_2$	$(\forall j \leq m_1, \beta_j = 0)$ et $\sum_{i=m_1+1}^n \beta_i = m'_2$	$m'_2$
Cas $m_1 + m_2 < n < m_1 + m'_2$	$\beta_j = 1$ ssi $j > m_1$	$n - m_1$
Cas $m_2 \leq n \leq m_1 + m_2$	$\sum_{i=1}^{m_1} \beta_i = m_1 + m_2 - n$ et $(\forall j > m_1, \beta_j = 1)$	$m_2$
Cas $n < m_2$	$(\forall j, \beta_j = 1)$	$n$

2)  $m_2 = m'_2$  : tableau 2

Cas $m_2 \leq n$	$\sum_{i=1}^n \beta_i = m_2$	$m_2 = m'_2$
Cas $n < m_2$	$(\forall j, \beta_j = 1)$	$n$

3)  $m_2 > m'_2$  : tableau 3

Cas $m_2 \leq m_1$	$\sum_{i=1}^{m_1} \beta_i = m_2$ et $(\forall j > m_1, \beta_j = 0)$	$m_2$
Cas $m'_2 < m_1 < m_2$	$\beta_j = 1$ ssi $j \leq m_1$	$m_1$
Cas $m_1 \leq m'_2 \leq n$	$(\forall j \leq m_1, \beta_j = 1)$ et $\sum_{i=m_1+1}^n \beta_i = m'_2 - m_1$	$m'_2$
Cas $n < m'_2$	$(\forall j, \beta_j = 1)$	$n$

Dans ce dernier tableau, les trois premiers cas impliquent tous que  $m'_2 \leq n$ , ils sont bien complémentaires au quatrième cas.

Discussion :

Dans ce modèle, les entrées sont fortement segmentées : dans la plupart des équilibres, les entrées sur le marché 2 sont le fait uniquement, soit des entreprises historiques, soit des entreprises non présentes sur le marché initial. Ceci est étroitement lié au fait que, selon que  $K_2 > K'_2$  ou  $K_2 < K'_2$ , l'une des deux sous-populations a un avantage concurrentiel décisif sur l'autre, qui peut conduire à faire sortir l'autre du marché, à la condition toutefois que l'effectif de la sous-population soit assez élevé pour lui permettre de dépasser le seuil de viabilité  $m_2(\cdot)$  autorisant le maintien d'un représentant de l'autre sous-population sur le marché 2.

Le modèle supposant des décisions simultanées reste très théorique. Les entreprises historiques peuvent par exemple disposer d'un avantage en termes de plus grande rapidité d'information, de moindres délais d'adoption. Mais elles peuvent tout aussi bien être handicapées par une plus grande inertie, étant déjà en situation de production sur un autre marché. Ces différentiels peuvent par exemple faire naître des comportements de préemption dans les cas de figure autorisant des équilibres dans lesquels une des deux sous-populations (entreprises historiques, entreprises non présentes sur le marché 1) n'entre que partiellement sur le marché 1. Dans ce modèle, il s'agit de préemption à l'intérieur d'une sous-population, et pas entre sous-populations, excepté le cas où il n'y a pas de différentiel de compétitivité entre les deux sous-populations ( $m_2 = m'_2$ ).

Une hypothèse de plus grande interaction entre les deux marchés, souvent observée dans la pratique, peut s'avérer intéressante à regarder. En effet, on peut imaginer que l'investissement global  $K'_2$  d'un nouvel entrant (entreprise non présente sur le marché initial) lui permette également de produire le produit 1. On supposera que ce sera avec le même coût de production  $c_1$  pour simplifier. Dans ce cas, tout nouvel entrant sur le marché 2 a intérêt à entrer conjointement sur le marché 1 plutôt qu'entrer uniquement sur le marché 2, car cela lui génère un profit supplémentaire.

Avec cette hypothèse variante, la condition de profitabilité d'un éventuel "premier nouvel entrant" devient :

$K'_2 \leq \frac{c_1(1-\rho_1)}{\rho_1} \frac{\mu R}{m_1 + \sum_{i=m_1+1}^n \beta_i} + \frac{c_2(1-\rho_2)}{\rho_2} \frac{(1-\mu)R}{\sum_{i=1}^n \beta_i}$  alors qu'elle était réduite à son second terme  $\frac{c_2(1-\rho_2)}{\rho_2} \frac{(1-\mu)R}{\sum_{i=1}^n \beta_i}$  avec l'hypothèse initiale.

Cette possibilité de "double entrée" génère deux conséquences : une plus grande profitabilité de l'entrée pour une entreprise non présente sur le marché initial, et un risque de perte pour les entreprises historiques. En effet, ces éventuels cas de "double entrée" peuvent être dommageables pour les entreprises présentes sur le marché 1 car ils conduisent à des pertes sur le marché "historique" (le nombre global d'intervenants pouvant dépasser alors le seuil  $m_1$ ). Même si une entreprise historique entre sur le marché 2 pour tenter de compenser cette perte, son profit net global, tous marchés confondus, peut devenir négatif (ceci même en l'absence de sur-entrée des nouveaux entrants, c'est-à-dire en supposant qu'aucun nouvel entrant ne fait de pertes).

En effet, le différentiel de profit global entre une entreprise historique et un nouveau "double entrant" se résume à  $K'_2 - (K_2 + K_1)$  :

si  $K'_2 \leq (K_2 + K_1)$  et que les nouveaux doubles entrants peuvent entrer jusqu'à obtenir un profit quasi-nul, l'irruption de la nouvelle technologie conduit alors à une situation de perte globale, nette des coûts fixes, pour les entreprises historiques si elles entrent sur le marché 2 et se maintiennent sur le marché 1. Si on considère  $K_1$  comme un "sunk cost", les entreprises historiques ont de toute façon intérêt à se maintenir sur le marché 1 qui continue à générer des profits bruts positifs, et en ce sens on peut considérer qu'aucune entreprise historique ne sortira du marché 1.

Regardons en quoi la possibilité de double entrée modifierait les équilibres du jeu initial.

Le principe consiste à distinguer les valeurs possibles du nombre d'entreprises historiques adoptant  $N$  :  $n_1 = \sum_{i=1}^{m_1} \beta_i$ , et à examiner les équilibres ( $\beta$ ) respectant cette valeur. Cette façon de procéder permet de réutiliser les tableaux obtenus ci-dessus, moyennant le remplacement du paramètre  $m'_2$  par le paramètre  $m(n_1)$  défini par :

$$\frac{c_1(1-\rho_1)}{\rho_1} \frac{\mu R}{m_1 + (m(n_1) - n_1)} + \frac{c_2(1-\rho_2)}{\rho_2} \frac{(1-\mu)R}{m(n_1)} = K'_2 .$$

En effet, ainsi défini,  $m(n_1)$  correspond au nombre maximal d'entreprises actives sur le marché 2 permettant de rentabiliser l'entrée d'un nouveau "double entrant", si le nombre d'entreprises historiques présentes sur le marché 2 est  $n_1$ .

La revue de cas de figure correspondant aux diverses valeurs de  $n_1$  possibles permet de caractériser l'ensemble des équilibres avec double entrée. Cette revue de cas est plutôt fastidieuse et ne sera pas reprise ici en détail, seuls les résultats qualitatifs seront mentionnés.

On aboutit encore à des équilibres généralement segmentés, mais les cas de figure où les nouveaux entrants sont présents sur le marché 2 sont plus nombreux (comparaison effectuée à coût d'investissement égal). Cela tient au fait que la possibilité de double entrée génère des ressources supplémentaires permettant de mieux rentabiliser le coût d'investissement  $K'_2$ .

Le point intéressant concernant la double entrée apparaît quand on s'intéresse à une nouvelle technologie à laquelle est attachée un seuil de viabilité (c.f. section suivante). En l'absence de possibilité de double entrée, les deux marchés de produits restent indépendants et, dans la mesure où il n'y a pas d'externalité entre les deux marchés, aucune entreprise n'a intérêt à faire disparaître le marché 2.



### 3.3 Seuil de viabilité pour $N$ avec double entrée :

Que se passe-t-il si la survie de la nouvelle technologie dépend de son niveau d'adoption ? Supposons comme pour le modèle kaldorien que cette problématique de survie corresponde à un nombre minimal d'adopteurs  $s$  qui, s'il n'est pas atteint, fait disparaître l'innovation.

Alors le positionnement stratégique des entreprises historiques change : il peut être préférable pour une entreprise historique de ne pas adopter le produit 2, afin de "tuer" la nouvelle technologie, dont l'existence pérenne permet l'entrée de nouveaux concurrents, générant des pertes sur le marché historique.

Pour que cette possibilité d'action stratégique existe, il faut que l'on se trouve dans un équilibre "mixte" dans lequel les deux types d'entreprises sont présentes sur le marché 2 en l'absence de seuil de viabilité.

Sans entrer dans tous les cas de figure, considérons les cas dans lesquels, en l'absence de seuil de viabilité, de nouveaux entrants et des entreprises historiques sont effectivement présents sur le marché 2 et où la condition de rentabilité des nouveaux entrants est saturée (nombre total d'entrants sur le marché 2 =  $m(n_1)$ )

$$K'_2 = \frac{c_1(1-\rho_1)}{\rho_1} \frac{\mu R}{m_1 + (m(n_1) - n_1)} + \frac{c_2(1-\rho_2)}{\rho_2} \frac{(1-\mu)R}{m(n_1)} = K_1 \frac{m_1}{m_1 + (m(n_1) - n_1)} + K_2 \frac{m_2}{m(n_1)}$$

Alors le profit d'une entreprise historique sera :

\* si elle entre sur le marché 2 :

$$\left( K_1 \frac{m_1}{m_1 + (m(n_1) - n_1)} + K_2 \frac{m_2}{m(n_1)} \right) - K_2 = K'_2 - K_2$$

\* si elle n'entre pas sur le marché 2 :

$$\left( K_1 \frac{m_1}{m_1 + (m(n_1) - n_1)} \right) - 0$$

alors que son profit dans la situation initiale était :  $K_1$ .

Il est clair que l'existence du produit 2 génère une perte de revenus pour les entreprises historiques n'entrant pas sur le marché 2 si et seulement si  $n_2 =$

$m(n_1) - n_1 > 0$ . Les entreprises historiques qui entreraient sur le marché 2 éviteraient cette perte de revenus si et seulement si :

$$K'_2 \geq K_2 + K_1.$$

Plus formellement, comme dans le cas du modèle kaldorien, examinons les éventuelles déviations individuelle ou collective, à partir d'un profil de stratégie ( $\beta$ ) qui constitue un équilibre du jeu avec double entrée, qui seraient rendues possibles par l'existence d'un seuil de viabilité :

\* si  $m(n_1) < s$ , le seuil de viabilité n'est pas atteint donc aucune entreprise n'a intérêt à se maintenir sur le marché 2, tout  $i$  tel que  $\beta_i = 1$  a intérêt à dévier et l'équilibre est détruit

\* si  $m(n_1) = s$  : si les deux types d'entreprises sont présents sur le marché 2 dans le profil de stratégies considéré, et si  $K_1 \frac{m_1}{m_1+n_2} + K_2 \frac{m_2}{n_2+n_1} < K_1$  (condition (C)), alors toute entreprise historique présente sur le marché 2 ( $\beta_i = 1$ ) gagnerait à revenir au statu quo ante (profit brut égal à  $K_1$ ). La déviation individuelle est profitable à chacune de ces entreprises historiques, le profil de stratégies étudié n'est donc plus un équilibre

\* de même, si  $m(n_1) > s$  et  $n_2 < s$  : si les deux types d'entreprises sont présents sur le marché 2 dans le profil de stratégies considéré, et si la condition (C) ci-dessus est remplie, le profil de stratégies étudié n'est pas robuste à une coalition d'entreprises historiques du marché 2. En effet, toute entreprise historique présente sur le marché 2 ( $\beta_i = 1$ ) gagnerait à revenir au statu quo ante, et les entreprises nouvelles du marché 2 ne peuvent maintenir la viabilité de la nouvelle technologie à elles seules dans ce profil de stratégies (car  $n_2 < s$ ).

On a donc montré que certains équilibres du jeu n'étaient pas robustes à la déviation individuelle ou à une coalition, en présence d'un seuil de viabilité. Cela signifie que les configurations viables pour la nouvelle technologie vont être réduites.

Pour autant, existe-t-il des cas dans lesquels aucune configuration assurant la viabilité de la nouvelle technologie n'existe ? La réponse est positive, on construit par exemple pour cela un cas dans lequel le nombre de nouveaux entrants potentiels,  $n - m_1$ , est inférieur à  $s$  et où, parmi tous les équilibres potentiels, la configuration la plus favorable aux entreprises historiques en l'absence de seuil de viabilité est quand même moins favorable que le statu quo ante (marché 1 uniquement) pour les entreprises historiques.

Exemple :

$$\begin{array}{llll} m_1 = 10 & m_2 = 8 & n = 16 & s = 7 \\ K_1 = 2 & K_2 = 2 & K'_2 = 3 & \end{array}$$

La nouvelle technologie serait viable en l'absence de menace de double entrée ( $m_2 > s$ ).

Mais la compétitivité globale supérieure des nouveaux entrants potentiels ( $K'_2 < K_1 + K_2$ ) conduirait, si l'atteinte du seuil de viabilité de  $N$  n'était pas empêchée, à des équilibres dans lesquels toute entreprise historique, présente ou non sur le marché 2, ferait une perte relativement à la situation initiale.

En fait, dans cet exemple, aucun profil de stratégie n'est robuste à la déviation collective des entreprises historiques qui seraient présentes sur le marché 2 dans ce profil.

### 3.4 Conclusions de l'analyse sans externalités locales

\* le modèle étudié peut rendre compte du caractère partiel de la diffusion d'une nouvelle technologie et d'une certaine ségrégation des entrants sur le nouveau marché

\* la menace d'entrée peut jouer un rôle incitatif à l'adoption de la nouvelle technologie, pour des raisons de préemption, quand les conditions de concurrence sont équilibrées sur le marché 2 ( $K'_2 = K_2$ )

\* mais s'il y a possibilité d'intervention stratégique sur la survie de la nouvelle technologie, la menace d'entrée de nouveaux acteurs conjointement sur les deux marchés peut au contraire jouer un rôle dissuasif pour l'adoption de la nouvelle technologie par les entreprises historiques. Elle peut même empêcher le développement d'une nouvelle technologie qui aurait été viable en présence des seules entreprises historiques du marché 1.

## 4 Analyse à partir des "étapes-clef"

Le premier chapitre a montré l'importance des phases de démarrage, avec le rôle important joué par les tout premiers adopteurs, et le caractère critique du franchissement d'un "seuil de viabilité" correspondant à un événement dont l'existence est connaissance commune (fin de versement de subvention publique, délai de grâce accordé par les banques).

Les deux modèles conçus, résolus et analysés pour ce chapitre, sont restés essentiellement dans un cadre statique. Pour autant, les analyses de l'intérêt individuel à adopter une nouvelle technologie (examen de  $\Delta_i \pi_i(\beta_{-i})$ , par exemple) et les jeux plus complets bâtis autour de l'existence d'étapes-clef dans la dynamique de diffusion de la nouvelle technologie, livrent des indications partielles sur la dynamique de diffusion. Ces analyses tendent à montrer que, dans un cadre théorique relativement épuré, il n'y a pas nécessairement entraînement successif des adopteurs avec "effet-domino", comme cela est le cas dans de nombreux modèles de diffusion d'innovation. Dans le modèle kaldorien, une décision d'adoption peut au contraire figer localement d'autres adopteurs potentiels sur le produit initial.

Les interactions globales, qu'elles soient directes dans le cas chamberlinien ou indirectes (à travers  $\gamma_{-i}$ ) dans le cas kaldorien, conduisent à diminuer voire à annuler à terme l'avantage concurrentiel conféré par l'adoption d'innovation<sup>8</sup> : si une entreprise  $E_i$  adopte la nouvelle technologie, les profits de toutes les autres entreprises diminuent, ce qui les incite à adopter à leur tour et, si elles le font, l'avantage concurrentiel de  $E_i$  diminue. L'anticipation de cette diminution ou disparition finale pèse sur la décision d'adoption initiale. Cet effet est d'autant plus important que les réactions des concurrents sont rapides et efficaces, que ce soit pour réduire la rente d'innovation en ampleur et en durée par une décision d'adoption (cas des modèles traditionnels) ou pour menacer la viabilité de l'innovation comme cela a été vu dans les jeux représentant cette étape-clef de diffusion de la nouvelle technologie.

---

<sup>8</sup>Cet effet est présent dans les modèles du présent chapitre, même s'il est moins marqué que dans les modèles de type Reinganum ou Fudenberg / Tirole.

## 5 Applicabilité aux cas réels

A la lumière de ces considérations théoriques, réexaminons maintenant les cas réels de services multimodaux.

Tout d'abord, comme pour le modèle du précédent chapitre, ce modèle peut déjà servir par l'introduction ou l'affirmation de certains concepts utiles à l'analyse des services multimodaux. Il en découle des questionnements pouvant permettre de structurer des analyses de la demande, pour l'évaluation, ex-ante et ex-post, de projets de services multimodaux, ou d'actions de l'Etat ou d'autres acteurs, ou d'estimer l'impact d'événements ou chocs divers. Mettons en regard les principaux types d'intervention publique avec les paramètres du modèle : subventions et fiscalité jouent sur le niveau de coût  $c$  ou sur l'avantage en coût  $\delta c$  ; la réglementation peut intervenir sur le degré de concurrence (c'est-à-dire sur le nombre d'entreprises  $n$  dans le modèle ou, éventuellement, sur le paramètre  $T$ ), elle peut permettre ou interdire la modulation de  $\delta c$  par l'opérateur du service multimodal en fonction des clients, voire, même si cela est de plus en plus rare, interdire ou réserver des situations de choix de technologie de prévention à certains types d'acteurs (habilitations). Les concepts du modèle amènent à accorder une certaine importance aux signaux émis par la puissance publique, volontairement ou non, sur la continuité de ses décisions (variation de  $\delta c$  selon les fluctuations du niveau de subvention, par exemple), la visibilité qu'elle dégage ou non et la cohérence de ses diverses actions : création ou disparition d'étapes-clé notamment, à travers l'affichage d'une durée rigide (réglementaire) pour les aides publiques.

Une application plus quantitative peut être effectuée, en reliant par exemple l'observation de la marge pratiquée à une estimation de la valeur de  $T$ . Cela serait encore plus intéressant si l'on examinait un cas où l'on serait capable d'observer la variation de marge après introduction du service multimodal.

Reprenons maintenant de façon plus détaillée les grilles d'analyse que peuvent suggérer les considérations théoriques de ce chapitre et du chapitre précédent.

La question de base peut être exprimée par "que représente l'arrivée d'un service multimodal pour un chargeur / pour un intermédiaire ?".

On peut distinguer trois cas de figure généraux de ce point de vue.

### Premier cas :

Tout d'abord, le cas d'un chargeur important, capable d'apporter un trafic de base suffisant pour assurer la viabilité du service multimodal (exemple : ligne de cabotage maritime Montoir-Vigo). Une première modalité d'application du modèle apparaît immédiatement : si les trafics du chargeur principal et ceux des autres clients potentiels sont a priori indépendants, on ne se trouve pas dans le cadre strict des modèles de base étudiés. On peut cependant considérer

que le modèle kaldorien, par exemple, reste applicable pour chaque segment de marché, c'est-à-dire appliquer ce modèle en prenant en compte des cercles de demande indépendants représentant chaque segment.

Dans le cas du chargeur prépondérant, la rentabilité et la viabilité du service multimodal ont de très bonnes chances d'être assurées, surtout si la relation entre service multimodal et chargeur est formalisée dans une optique de moyen terme. Mais comment le service multimodal est-il vu par les autres chargeurs ou intermédiaires ? Tout d'abord, la pérennité du service et les perspectives de stabilité tarifaire étant jugées positivement a priori, l'existence du client principal se traduit alors par la quasi-disparition de l'étape-clef "viabilité du service multimodal".

Cependant, la prépondérance du principal chargeur entraîne assez naturellement le service multimodal à favoriser ce chargeur, de diverses manières (définition du service en fréquence, prix, qualité, réservation de capacité, réactivité en cas d'incident, ...), et ceci est anticipé par les autres clients potentiels. De plus, tant que la pérennité du service est entièrement dépendante du client principal, le risque sur la pérennité n'est plus un risque lié au comportement collectif, mais à la situation ou au comportement d'un seul acteur, ce qui crée en quelque sorte une relation de dépendance stratégique du client potentiel face au principal chargeur. En outre, le service multimodal lui-même n'a pas nécessairement intérêt à diversifier sa clientèle pour augmenter un trafic qui, certes, augmenterait ses recettes, mais au prix d'un service à fournir plus différencié, et en augmentant le risque d'interférences avec les trafics de son client principal. Ces raisons font que, tant que l'opérateur du service multimodal ne prend pas le risque de changer de positionnement et d'échelle de son service, et donc reste avec un chargeur principal prépondérant, le service multimodal aura plutôt tendance à ne pas agglomérer beaucoup de trafics tiers, autres que des trafics d'opportunité.

#### Second cas :

Examinons ensuite le cas d'un service multimodal lancé par un gros transporteur, comme un feeder d'armateur, plus ou moins ouvert à d'autres clients. Les considérations ci-dessus sur la priorité relative accordée aux trafics de l'armateur, et sur le risque de dépendance stratégique, demeurent. Ce type de service est plus ouvert aux chargeurs, car ceux-ci ne sont plus nécessairement indépendants de l'armateur mais peuvent être considérés comme des clients par celui-ci, contrairement au positionnement du chargeur principal du cas précédent. Mais vis-à-vis des intermédiaires, au contraire, on se retrouve plus directement dans les cas des modèles étudiés précédemment. On pourrait introduire dans le modèle kaldorien une variante consistant à introduire un différentiel d'utilité pour un des intermédiaires du cercle, celui qui se trouve être l'armateur : à travers une économie de coût supplémentaire - si le tarif "interne" pratiqué par l'armateur pour son propre compte diffère du tarif "autres clients" -, ou

à travers une fonction d'utilité de l'armateur intégrant une part des profits du service multimodal.

Par ailleurs, vis-à-vis des intermédiaires, autres armateurs ou commissionnaires de transport, le risque de dépendance stratégique dans un contexte de relations de concurrence laisse présager que l'usage du service multimodal par ce type de client devrait probablement se limiter au transport "brut", c'est-à-dire sans acheminements terminaux, afin de préserver des informations stratégiques sur le client final.

Le modèle kaldorien peut être étendu au cas où une des entreprises bénéficie d'un avantage de coût spécifique :  $\delta c' > \delta c$ . En effet, supposons que ce soit l'entreprise  $E_1$  : l'expression générale des profits des autres entreprises en fonction des prix  $p_i$  ne change pas, et celle de l'entreprise  $E_1$  diffère par :

$$\begin{aligned} \pi'_1 &= \pi_1 + \beta_1(\delta c' - \delta c)x_1 \\ \text{donc } \frac{\partial \pi'_1}{\partial p_1} &= \frac{\partial \pi_1}{\partial p_1} + \beta_1(\delta c' - \delta c) \frac{\partial x_1}{\partial p_1} \\ \text{or } \frac{\partial x_1}{\partial p_1} &= -\frac{1}{T} \frac{D}{n} \text{ (inchangé)} \\ \text{donc : } \frac{\partial \pi'_1}{\partial p_1} &= \frac{\partial \pi_1}{\partial p_1} - \beta_1(\delta c' - \delta c) \frac{D}{nT} \\ &= \frac{D}{2nT}(p_2 + p_n - 4p_1 + (2\beta_1 - \beta_2 - \beta_n)E(u) + 2*(c - \beta_1*(\delta c + (\delta c' - \delta c)) + T) \end{aligned}$$

En utilisant la même expression générique des prix (HP) que dans le modèle de base, on aboutit donc au système d'équations :

$$4\gamma_1 - \gamma_2 - \gamma_n = 2\beta_1 \left(1 + \frac{\delta c' - \delta c}{\varphi}\right) \text{ et } \forall i \in \{2, \dots, n\} \quad 4\gamma_i - \gamma_{i+1} - \gamma_{i-1} = 2\beta_i \quad (E'0).$$

Les propriétés des suites associées aux  $\gamma_i^a$  nous conduisent directement à la solution de ce système :

$$\gamma_i = \beta_1 \left(1 + \frac{\delta c' - \delta c}{\varphi}\right) \gamma_{n-i+2}^a + \sum_{j=2}^n \beta_j \gamma_{j-i+1}^a \quad (E\gamma)$$

#### Troisième cas :

Voyons enfin le cas d'un service multimodal indépendant "multi-clients" : ce cas peut inclure un service multimodal ayant évolué d'une situation de gros transporteur dédié vers un service filialisé relativement indépendant - cas de RSC - ou le cas d'un service multimodal à chargeur principal qui changerait d'option stratégique en élargissant fondamentalement sa base de clientèle.

Ce troisième cas est le plus intéressant, et les modèles ci-dessus devraient trouver à s'y appliquer plus facilement, quitte à distinguer pour le modèle kaldorien plusieurs cercles de demande correspondant aux divers segments de marché, comme évoqué déjà plus haut. En pratique, l'hypothèse de symétrie sur le cercle n'est bien entendu pas respectée, mais les formules analytiques obtenues peuvent se généraliser à des répartitions du marché dissymétriques, moyennant une écriture un peu plus complexe.

Pour cela, on adopte l'écriture générique suivante pour la solution en prix :

$$p_i = c + \alpha_i T + \beta_i E(u) - \gamma_i \varphi \quad \text{où } \varphi = E(u) + \delta d$$

Ceci nous permet de ramener l'équation de maximisation de profit à l'écriture déjà obtenue dans le cas d'une répartition totalement symétrique :

$$\forall i \in \{1, \dots, n\} \quad 4\gamma_i - \gamma_{i+1} - \gamma_{i-1} = 2\beta_i \quad (E0)$$

sous condition que les coefficients  $\alpha_i$  vérifient l'équation :

$$\forall i \in \{1, \dots, n\} \quad 4\alpha_i - \alpha_{i+1} - \alpha_{i-1} = 2\xi_i$$

où  $\xi_i$  désigne la demi-longueur globale des segments  $[E_i; E_{i+1}]$  et  $[E_{i-1}; E_i]$ , c'est-à-dire la moitié du marché potentiel sur lequel  $E_i$  est en concurrence directe avec ses voisins.

Cette condition est formellement identique à l'équation (E0) et se résoud de la même manière. Il reste à vérifier les conditions de non-captivité d'un segment de marché, qui imposent que les  $\xi_i$  ne varient pas trop.

En définitive, moyennant les observations ci-dessus, il ne paraît pas aberrant d'analyser les services multimodaux en termes d'adoption d'innovation dans un contexte d'oligopole d'intermédiaires fournissant un service-système. Les modèles étudiés peuvent fournir un cadre d'analyse, certes imparfait et réducteur par rapport à la réalité, mais susceptible de capturer des considérations stratégiques observées dans la pratique.



## 6 Limitations des modèles employés - potentialités de développements ultérieurs

Dans ce qui suit, nous allons évoquer des pistes complémentaires pour le développement de travaux ultérieurs, dans le cadre de la recherche de représentations théoriques applicables au transport multimodal de marchandises.

En effet, les modèles utilisés dans le présent chapitre ne rendent pas compte de la totalité des caractéristiques applicables au transport multimodal, notamment du caractère non nécessairement intégralement spécifique des investissements consentis. Les modèles utilisés considèrent l'investissement pour accéder au service multimodal comme un "sunk cost" alors même qu'il peut servir totalement ou partiellement, par exemple, pour un autre service multimodal (ainsi en est-il d'un investissement visant à obtenir une organisation de production et de stockage par lots; l'expérience du service multimodal peut également être valorisée ultérieurement sur d'autres flux ou pour une autre organisation logistique).

Ces modèles ne représentent pas le risque de perte d'indépendance stratégique pour le chargeur (lié au caractère spécifique d'une partie des investissements), ou de perte de la spécificité de l'intermédiaire vis-à-vis de son client chargeur (les intermédiaires pouvant devenir interchangeables pour le chargeur, si de toute façon le service de transport est assuré par le service multimodal). Pour le risque de dépendance, il serait possible, par exemple, d'introduire une probabilité d'augmentation de tarif du service multimodal pour le chargeur (représentant l'exercice d'un pouvoir issu de la dépendance logistique), cette probabilité pouvant prendre une valeur d'autant plus élevée que le trafic (et donc le pouvoir relatif) du service multimodal est important. De même pour l'intermédiaire, il serait possible d'introduire une probabilité de perte du client pour l'intermédiaire, cette probabilité prenant une valeur plus élevée en cas de recours au service multimodal, et d'autant plus élevée que le trafic du service multimodal est important.

Une autre limitation de ces modèles est le principe de tarification uniforme: introduire une tarification différenciée dans le modèle kaldorien pourrait constituer un développement du modèle, tout en notant que la différenciation peut s'opérer selon la position du client sur le cercle (i.e. selon son écart au fournisseur) mais aussi selon son goût relatif pour la nouvelle technologie (utilité relative  $u$ ). Il ne serait cependant pas aberrant de considérer que, sur le court terme, les informations disponibles pour l'entreprise portent préférentiellement sur son positionnement concurrentiel pour le client, en raison de son expérience commerciale avec ce client, alors que l'information sur  $u$  ne peut qu'être plus indirecte et plus difficile d'accès, faute d'analyses ciblées coûteuses pour l'entreprise.



## 7 ANNEXE relative au modèle kaldorien

### 7.1 Ecriture et propriétés des coefficients $\gamma_i$

Le principe de résolution va consister à utiliser la linéarité des équations (E0) et à introduire des suites infinies permettant de générer les coefficients  $\gamma_i$ .

On revient tout d'abord à l'écriture des  $\gamma_i$  pour le profil de stratégie  $\beta = (1000\dots000)^t$ , que l'on notera  $NO^{n-1}$  :

$$4\gamma_i - \gamma_{i+1} - \gamma_{i-1} = 0 \text{ pour } 2 \leq i \leq n \text{ et } 4\gamma_1 - \gamma_2 - \gamma_n = 2.$$

Ces coefficients génériques seront par la suite utilisés de façon à obtenir l'écriture générale des  $\gamma_i$  correspondant à un profil de stratégie  $\beta$  quelconque. On désignera alors ces coefficients génériques par  $\gamma_i^a$ , et cette notation plus lourde sera utilisée uniquement dans les résultats encadrés de la présente analyse de  $\beta = (1000\dots000)^t = NO^{n-1}$ .

Analyse de  $\beta = NO^{n-1}$ :

On introduit la suite des  $\mu_i$  telle que :

$$\mu_1 = 1, \mu_2 = 0 \text{ et } 4\mu_i - \mu_{i+1} - \mu_{i-1} = 0 \quad \forall i \geq 2$$

et la suite des  $\nu_i$  telle que :

$$\nu_1 = 0, \nu_2 = 1 \text{ et } 4\nu_i - \nu_{i+1} - \nu_{i-1} = 0 \quad \forall i \geq 2.$$

Alors, par construction :

$$(\forall i \leq n)(\gamma_i = \mu_i \gamma_1 + \nu_i \gamma_2)$$

et  $\gamma_1 = \mu_{n+1} \gamma_1 + \nu_{n+1} \gamma_2$  ainsi que  $\gamma_2 = 4\gamma_1 - \gamma_n - 2$ .

En effet, la première égalité est vérifiée trivialement pour  $i = 1$  et  $i = 2$ , et se vérifie par simple récurrence pour  $i \geq 3$ . Les deux autres égalités résultent de (E0) pour analyse de  $\beta = (1000\dots000)^t = NO^{n-1}$  et  $i = n, 1$ .

On en déduit le système de 2 équations à deux inconnues :

$$\begin{aligned} (\mu_{n+1} - 1)\gamma_1 + \nu_{n+1}\gamma_2 &= 0 \\ (4 - \mu_n)\gamma_1 - (1 + \nu_n)\gamma_2 &= 2 \end{aligned}$$

qui se résoud aisément (on verra plus loin que le dénominateur est non nul, et même  $>0$ ) :

$$\boxed{\gamma_1^a = \frac{2\nu_{n+1}}{(\mu_{n+1} - 1)(1 + \nu_n) + (4 - \mu_n)\nu_{n+1}} \text{ et } \gamma_2^a = \frac{1 - \mu_{n+1}}{\nu_{n+1}} \gamma_1^a} \quad (E 12)$$

## 7.2 Propriétés des suites associées

### 7.2.1 Propriétés des suites $\mu_i$ et $\nu_i$

1. On montre par récurrence que :

$$\boxed{(\forall i \geq 3)(\mu_i = -\nu_{i-1} \text{ et } 4\nu_{i-1} \geq \nu_i > 3\nu_{i-1} > 0) (P)}$$

Démonstration :

La propriété est vraie pour  $i = 3$  car  $\mu_3 = -1 = -\nu_2$  et  $\nu_3 = 4$

et si cela est vrai pour  $i \leq n$ , alors :

$$\mu_{n+1} = 4\mu_n - \mu_{n-1} = -4\nu_{n-1} + \nu_{n-2} = -\nu_n$$

$\nu_{n+1} = 4\nu_n - \nu_{n-1}$  avec  $\nu_n > 3\nu_{n-1} > \nu_{n-1}$  et  $\nu_{n-1}$  strictement positif, donc  $4\nu_n \geq \nu_{n+1} > 3\nu_n > 0$ .

CQFD

2. Montrons ensuite que

$$\boxed{\gamma_i^a > 0}$$

Démonstration :

Le dénominateur de  $\gamma_1^a$  s'écrit :

$$-(1 + \nu_n)^2 + (4 + \nu_{n-1})(4\nu_n - \nu_{n-1}).$$

Il est positif ssi :

$$(\nu_n - \nu_{n-1})^2 < 14\nu_n + 2\nu_n\nu_{n-1} - 4\nu_{n-1} - 1 \quad (\text{condition } C_n).$$

On peut vérifier cette condition pour  $n=3$  ( $(4-1)^2 < 14*4 + 2*4*1 - 4 - 1$ )

Puis, si  $C_{n-1}$  est vérifiée, alors en notant que :

$$\nu_n - \nu_{n-1} = 3\nu_{n-1} - \nu_{n-2} \quad \text{et} \quad \nu_n\nu_{n-1} = 4\nu_{n-1}^2 - \nu_{n-1}\nu_{n-2}$$

la condition  $C_n$  s'écrit :

$$9\nu_{n-1}^2 + \nu_{n-2}^2 - 6\nu_{n-1}\nu_{n-2} < 14*(4\nu_{n-1} - \nu_{n-2}) + (8\nu_{n-1}^2 - 2\nu_{n-1}\nu_{n-2}) - 4\nu_{n-1} - 1$$

soit :  $\nu_{n-1}^2 + \nu_{n-2}^2 - 2\nu_{n-1}\nu_{n-2} < 52\nu_{n-1} - 14\nu_{n-2} + 2\nu_{n-1}\nu_{n-2} - 1$

ou :  $(\nu_{n-1} - \nu_{n-2})^2 < 52\nu_{n-1} - 14\nu_{n-2} + 2\nu_{n-1}\nu_{n-2} - 1$

Or, comme d'après  $C_{n-1}$  :

$$(\nu_{n-1} - \nu_{n-2})^2 < 14\nu_{n-1} + 2\nu_{n-1}\nu_{n-2} - 4\nu_{n-2} - 1$$

et étant donné que  $0 < \nu_{n-2} < \nu_{n-1}$  :

$$52\nu_{n-1} - 14\nu_{n-2} + 2\nu_{n-1}\nu_{n-2} - 1 < 14\nu_{n-1} + 2\nu_{n-1}\nu_{n-2} - 4\nu_{n-2} - 1$$

CQFD.

3. On peut enfin montrer que

$$\boxed{\gamma_1^a > \frac{1}{2}}$$

Démonstration :

D'après (E 1 2), cette condition est équivalente à (dénominateur positif) :

$$4\nu_{n+1} > -(1 + \nu_n)^2 + (4 + \nu_{n-1})\nu_{n+1}$$

soit, selon la définition de  $\nu_{n+1}$  :

$$(1 + \nu_n)^2 > 16\nu_n + 4\nu_n\nu_{n-1} - 4\nu_{n-1} - \nu_{n-1}^2 - 16\nu_n + 4\nu_{n-1}$$

ou :  $(\nu_n - \nu_{n-1})^2 > 2\nu_n\nu_{n-1} - 1$ .

Cela se montre encore par récurrence :

pour  $n = 3$  :  $(4 - 1)^2 > 2 * 4 * 1 - 1$

et comme ci-dessus, la condition de degré  $n$  se réécrit en :

$$9\nu_{n-1}^2 + \nu_{n-2}^2 - 6\nu_{n-1}\nu_{n-2} > (8\nu_{n-1}^2 - 2\nu_{n-1}\nu_{n-2}) - 1$$

soit :  $(\nu_{n-1} - \nu_{n-2})^2 > 2\nu_{n-1}\nu_{n-2} - 1$

ce qui exprime simplement la condition de degré  $(n-1)$ .

CQFD

4. Une autre propriété intéressante des  $\nu_i$ , facilement montrée par récurrence, est l'identité suivante :

$$\boxed{(\forall n)(\nu_{n+1} = 2 \sum_{i=1}^n \nu_i + \nu_n + 1)} \quad (I\nu)$$

Cette propriété est vraie pour  $n = 3$  et si elle est vraie au rang  $n$ , la quantité  $2 \sum_{i=1}^n \nu_i + \nu_n + 1 = 4\nu_n - \nu_n + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \nu_i + 1$  est égale à :  $4\nu_n - (2 \sum_{i=1}^{n-1} \nu_i + \nu_{n-1} + 1) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \nu_i + 1 = 4\nu_n - \nu_{n-1}$  qui représente bien  $\nu_{n+1}$  par définition de la suite  $(\nu_i)$ .

7.2.2 Propriétés remarquables des  $\gamma_i^a$

On rappelle que, pour simplifier les notations, on note  $\gamma_i$  les  $\gamma_i^a$  dans ce qui suit, excepté pour les résultats encadrés.

Nous allons établir que :

$$\boxed{(\forall i \in \{1, \dots, n\})(0 < \gamma_i^a < 1 \text{ et } \gamma_i^a > \sum_{k=i+1}^{n-i+1} \gamma_k^a)}$$

La première propriété implique que toute décision d'adoption nouvelle diminue les prix (c.f. l'écriture des prix (HP) et (E $\gamma$ ) qui impliquent que  $\frac{\partial p_i}{\partial \beta_j} < 0$ ). La seconde propriété s'interprète aisément : l'impact potentiel d'un voisin du jème rang est plus important que l'impact potentiel total de l'ensemble des voisins de rangs plus éloignés.

En outre, nous calculerons explicitement les limites des  $\gamma_i^a$  lorsque  $n$  devient grand, et montrerons que  $\gamma_1^a > \lim_{n \rightarrow \infty} \gamma_1^a = \frac{1}{\sqrt{3}} > 3 - \sqrt{6}$  (l'inégalité  $\gamma_1^a > 3 - \sqrt{6}$  est utilisée dans la généralisation évoquée à la fin du 2.4.2.).

Démonstration :

1. Par définition :  $\gamma_i = \mu_i \gamma_1 + \nu_i \gamma_2$   
 soit :  $\gamma_i = -\nu_{i-1} \gamma_1 + (4\nu_{i-1} - \nu_{i-2}) \gamma_2$   
 $= \nu_{i-1} (4\gamma_2 - \gamma_1) + (-\nu_{i-2}) \gamma_2$   
 ou :  $\gamma_i = \mu_{i-1} \gamma_2 + \nu_{i-1} \gamma_3$  et par récurrence

$$\boxed{(\text{pour } 3 \leq i \leq n)(\forall j \in \{0, \dots, i-1\})(\gamma_i^a = \mu_{i-j} \gamma_{j+1}^a + \nu_{i-j} \gamma_{j+2}^a)}$$

2. Distinction selon la parité de  $n$  :

2.1. Pour  $n$  impair on peut exprimer les  $\gamma_i$  de façon assez simple avec les  $\nu_i$  : si  $n = 2l + 1$

$$\gamma_i = (\nu_{l-i+3} - \nu_{l-i+2}) \gamma_{l+1} \text{ pour } 1 \leq i \leq l + 1$$

obtenu par récurrence à partir de  $i=l+1$

en notant que :

$$\nu_{l-i+3} - \nu_{l-i+2} = (4\nu_{l-i+2} - \nu_{l-i+1}) - (4\nu_{l-i+1} - \nu_{l-i}) = 4(\nu_{l-i+2} - \nu_{l-i+1}) - (\nu_{l-i+1} - \nu_{l-i})$$

et que :  $(\forall i \geq 1)(\gamma_i = 4\gamma_{i+1} - \gamma_{i+2})$  car  $\beta_{i+1} = 0$

et on obtient alors :

$$\gamma_1 = 1 - 2\nu_{l+1} \gamma_{l+1}$$

(en écrivant que  $\gamma_1 + 2 \sum_{2 \leq i \leq l+1} \gamma_i = \sum_{1 \leq i \leq n} \gamma_i = 1$  et  $\sum_{2 \leq i \leq l+1} \gamma_i = \nu_{l+1} \gamma_{l+1}$ )

donc :  $\gamma_1 = \frac{\nu_{l+2} - \nu_{l+1}}{\nu_{l+2} + \nu_{l+1}}$ ,  $\gamma_{l+1} = \frac{1}{\nu_{l+2} + \nu_{l+1}}$  et

$$\gamma_i^a = \frac{\nu_{l-i+3} - \nu_{l-i+2}}{\nu_{l+2} + \nu_{l+1}} \text{ pour } 1 \leq i \leq l+1$$

De cette écriture et des propriétés (P) des  $\nu_i$  on déduit que :

$$\gamma_i^a > \frac{2\nu_{l-i+2}}{\nu_{l+2} + \nu_{l+1}} > 0 \text{ pour } 1 \leq i \leq l+1.$$

Et la symétrie des  $\gamma_i^a = \gamma_{n-i+2}^a$  permet d'étendre ce résultat de stricte positivité pour tout  $i \leq n$ .

On trouve également les limites des  $\gamma_i$  quand  $n$  tend vers l'infini :

$$\gamma_1 = \frac{1}{\sqrt{3}}; \gamma_i = \frac{1}{(2+\sqrt{3})^{i-1}\sqrt{3}}.$$

En effet : la suite des  $\frac{\nu_{k+1}}{\nu_k}$  est bornée inférieurement (on a vu que  $\nu_{k+1} > 3\nu_k$ ) et décroissante ( $\frac{\nu_{k+1}}{\nu_k} = 4 - \frac{\nu_{k-1}}{\nu_k}$  et la fonction  $g(x) = 4 - \frac{1}{x}$  vérifie : ( $x > 2 + \sqrt{3} \Rightarrow x > g(x) > 2 + \sqrt{3}$ )).

Cette suite admet donc une limite, qui vérifie donc  $g(x) = x$  - ie  $x = 2 - \sqrt{3}$  ou  $x = 2 + \sqrt{3}$  - et qui reste  $\geq 2 + \sqrt{3}$ , c'est donc  $2 + \sqrt{3}$ .

On en déduit la limite de  $\nu_{l+1}\gamma_{l+1} = \frac{\nu_{l+1}}{\nu_{l+2} + \nu_{l+1}}$ , soit :  $\frac{1}{3+\sqrt{3}}$

puis celle de  $\gamma_1 = 1 - 2\nu_{l+1}\gamma_{l+1} : \frac{3+\sqrt{3}-2}{3+\sqrt{3}} = \frac{2\sqrt{3}}{6} = \frac{1}{\sqrt{3}}$

et celle de  $\frac{\gamma_i}{\gamma_{i+1}} = \frac{\nu_{l-i+3} - \nu_{l-i+2}}{\nu_{l-i+2} - \nu_{l-i+1}} = \frac{3\nu_{l-i+2} - \nu_{l-i+1}}{\nu_{l-i+2} - \nu_{l-i+1}} = \frac{3^{\nu_{l-i+2}-1}}{\frac{\nu_{l-i+2}-1}{\nu_{l-i+1}}} = \frac{5+3\sqrt{3}}{1+\sqrt{3}} =$

$$2 + \sqrt{3} = (2 - \sqrt{3})^{-1}.$$

$$\Rightarrow \lim_{n \rightarrow \infty} \gamma_i^a = \frac{(2-\sqrt{3})^{i-1}}{\sqrt{3}}$$

Par ailleurs, la décroissance de la suite ( $\frac{\nu_{k+1}}{\nu_k}$ ) entraîne la croissance de la suite ( $\nu_{l+1}\gamma_{l+1}$ ) et donc la décroissance en fonction de  $n$  des  $\gamma_1 = 1 - 2\nu_{l+1}\gamma_{l+1}$ .

Donc on obtient pour toute valeur de  $n$  :

$$\gamma_1^a > \lim_{n \rightarrow \infty} \gamma_1^a = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

Ceci nous permet de minorer  $\gamma_1^a$  par  $(3-\sqrt{6})$  à l'issue d'un calcul élémentaire.

2.2. De même pour  $n = 2l$ , on montre que :

$$\gamma_i^a = \frac{2\nu_{l-i+2} - \nu_{l-i+1}}{\sum_{2 \leq k \leq l+1} \nu_k - \nu_{l+1}} \text{ pour } 1 \leq i \leq l+1$$

et on obtient les mêmes propriétés de stricte positivité des  $\gamma_i^a$ . On obtient également les mêmes limites pour les  $\gamma_i$ , en utilisant le résultat intermédiaire :

$$\lim_{l \rightarrow \infty} \frac{\sum_{2 \leq k \leq l} \nu_k}{\nu_l} = \frac{1+\sqrt{3}}{2}$$

3. Plus simplement, sans distinguer selon la parité de  $n$ , on peut d'ailleurs directement montrer par récurrence que :

$$(\forall i \leq n)(\gamma_i^a = \gamma_1^a \frac{\nu_{n-i+2} + \nu_i}{\nu_{n+1}})$$

En effet, cette propriété est triviale pour  $i = 1$  et elle découle de (E 1 2) et (P) pour  $i = 2$ . Elle se transmet au rang  $(i + 1)$  à partir des rangs  $i$  et  $(i - 1)$  car la quantité  $X_{i+1}$  définie par  $\gamma_1^a \frac{\nu_{n-i+2} + \nu_i}{\nu_{n+1}}$  vérifie  $4X_i - X_{i+1} - X_{i-1} = 0 = 4\gamma_i^a - X_{i+1} - \gamma_{i-1}^a$ , donc  $X_{i+1} = \gamma_{i+1}^a$ .

En écrivant alors  $\sum_{1 \leq i \leq n} \gamma_i^a = 1$  on obtient  $\gamma_1^a = \frac{\nu_{n+1}}{\sum_{i=1}^n (\nu_{n-i+2} + \nu_i)}$

soit, comme  $\nu_1 = 0$  :  $\gamma_1^a = \frac{\nu_{n+1}}{\nu_{n+1} + 2 \sum_{i=1}^n \nu_i}$

En utilisant (Iν), on obtient :

$$\left( \forall i \leq n \right) \left( \gamma_i^a = \frac{\nu_{n-i+2} + \nu_i}{\nu_{n+1} + 2 \sum_{j=1}^n \nu_j} = 3 \frac{\nu_{n-i+2} + \nu_i}{4 \sum_{1 \leq j \leq n+1} \nu_j - \nu_{n-1}} \right) \quad (E\gamma\nu)$$

et cela permet également prouver la stricte positivité des  $\gamma_i^a$  et de calculer les limites des  $\gamma_i^a$  pour  $n \rightarrow \infty$ .

Comme (Iν) nous permet de déduire directement que pour  $i < \frac{n+1}{2}$  :

$$\nu_{n-i+2} + \nu_i > 2 \sum_{j=i+1}^{n-i+1} \nu_j$$

on peut également montrer la propriété importante :

$$\left( \forall j < \frac{n+1}{2} \right) \left( \gamma_j^a > \sum_{k=j+1}^{n-j+1} \gamma_k^a \right)$$

en explicitant simplement les  $\gamma_k^a$  et  $\gamma_j^a$  en fonction des  $\nu_j$  selon (Eγν).

En effet :

$$\sum_{k=j+1}^{n-j+1} \gamma_k^a = \sum_{k=j+1}^{n-j+1} 3 \frac{\nu_{n-k+2} + \nu_k}{4 \sum_{1 \leq j \leq n+1} \nu_j - \nu_{n-1}} = 3 \frac{\sum_{k=j+1}^{j+1} \nu_k + \sum_{k=j+1}^{n-j+1} \nu_k}{4 \sum_{1 \leq j \leq n+1} \nu_j - \nu_{n-1}} = 3 \frac{2 \sum_{k=j+1}^{n-j+1} \nu_k}{4 \sum_{1 \leq j \leq n+1} \nu_j - \nu_{n-1}}$$

alors que :

$$\gamma_j^a = 3 \frac{\nu_{n-i+2} + \nu_i}{4 \sum_{1 \leq j \leq n+1} \nu_j - \nu_{n-1}} > 3 \frac{2 \sum_{k=j+1}^{n-j+1} \nu_k}{4 \sum_{1 \leq j \leq n+1} \nu_j - \nu_{n-1}}$$

CQFD.

Cette propriété s'interprète aisément : l'impact potentiel d'un voisin du jème rang est plus important que l'impact potentiel total de l'ensemble des voisins de rangs plus éloignés.



### 7.3 Hypothèse de "non-captivité d'une frange de marché"

On vérifie dans quelles conditions la condition de "non-captivité d'une frange de marché" peut être respectée :

$$|(\beta_i - \beta_{i+1})u + p_{i+1} - p_i| \leq T$$

Cette équation devient, selon (HP) :

$$|(\beta_i - \beta_{i+1})(u - E(u)) + (\gamma_i - \gamma_{i+1})\varphi| \leq |u - E(u)| + |\gamma_i - \gamma_{i+1}|\varphi$$

La condition est donc assurée avec les conditions suffisantes suivantes, que l'on conservera comme hypothèse dans le chapitre :

$$|\bar{U} - E(u)| < \frac{T}{2}, |\underline{U} - E(u)| < \frac{T}{2} \text{ et } \varphi < \frac{T}{2}.$$

Ces conditions expriment que le différentiel d'utilité relative de  $N$  par rapport à  $O$  n'est pas trop variable (qu'il ne va pas fluctuer de façon forte par rapport au coût de transport) et que le différentiel de compétitivité "intrinsèque" de  $N$  n'est pas trop élevé.

7.4 Vérification de la croissance de la demande servie avec  
 $N$  avec le nombre d'offreurs de  $N$  (partie 2.4.1.)

$$x_N = \sum_{i=1}^n \beta_i * \left( \frac{T + (\beta_i - \gamma_i)\varphi}{T} \right) * \frac{D}{n} = \frac{D}{nT} * \sum_{i=1}^n \beta_i * \left( T + (1 - \gamma_1^a - \sum_{j=2}^n \beta_{j+i-1} \gamma_j^a) \varphi \right)$$

On peut vérifier à propos de cette équation que, conformément à l'intuition, la part du marché total servie avec  $N$  augmente avec le nombre d'offreurs de  $N$ .

Il suffit pour cela de montrer que la fonction  $x_N$  considérée comme fonction de variables continues  $(\beta_i)$  est strictement croissante :

$$\frac{\partial x_N}{\partial \beta_k} = \frac{D}{nT} * \left[ (T + (1 - \gamma_1^a - \sum_{j=2}^n \beta_{j+k-1} \gamma_j^a) \varphi) + \sum_{i=1}^n \beta_i (-\sum_{j=k-i+1}^n \gamma_j^a) \varphi \right]$$

$$\text{ou : } \frac{\partial x_N}{\partial \beta_k} = \frac{D}{nT} * \left[ (T + (1 - \gamma_1^a - \sum_{j=2}^n \beta_{j+k-1} \gamma_j^a) \varphi) - \sum_{i=1}^n \beta_i \gamma_{k-i+1}^a \varphi \right]$$

Comme  $(\forall i)(0 \leq \beta_i \leq 1)$  et  $(\forall j)(\gamma_j^a > 0)$ ,  $\varphi > 0$  :

$$\frac{\partial x_N}{\partial \beta_k} > \frac{D}{nT} * \left[ (T + (1 - \gamma_1^a - \sum_{j=2}^n \gamma_j^a) \varphi) - \sum_{i=1}^n \beta_i \gamma_{k-i+1}^a \varphi \right]$$

$$\text{ou } \frac{\partial x_N}{\partial \beta_k} > \frac{D}{nT} * \left[ (T + (1 - \gamma_1^a - 2 \sum_{j=2}^n \gamma_j^a) \varphi) \right]$$

et comme  $\sum_{j=2}^n \gamma_j^a = 1 - \gamma_1^a$  :

$$\frac{\partial x_N}{\partial \beta_k} > \frac{D}{nT} * \left[ (T - (1 - \gamma_1^a) \varphi) \right]$$

$$\text{ou } \frac{\partial x_N}{\partial \beta_k} > \frac{D}{nT} * \left[ T - \varphi + \gamma_1^a \varphi \right]$$

qui est positif car  $T > \varphi$ ,  $\gamma_1^a > 0$  et  $\varphi > 0$ .

CQFD

### 7.5 Obtention et simplification des écritures de $S_c(\beta)$ et $W(\beta)$

Surplus des consommateurs :

Le surplus individuel des clients situés sur le segment  $[E_i; E_{i+1}]$  sera (hors l'utilité intrinsèque du produit de base, normalisée à 0) :

$$s_c = \beta_i u - p_i - xT \quad \text{si } x \leq \frac{(\beta_i - \beta_{i+1})(u - E(u)) + (\gamma_i - \gamma_{i+1})\varphi + T}{2T}$$

$$\text{et } s_c = \beta_{i+1} u - p_{i+1} - (1-x)T \quad \text{si } x \geq \frac{(\beta_i - \beta_{i+1})(u - E(u)) + (\gamma_i - \gamma_{i+1})\varphi + T}{2T}$$

Pour simplifier les écritures, on ne tiendra compte du poids de chaque segment ( $\frac{D}{n}$ ) qu'en fin de calcul. En intégrant sur l'ensemble des clients servis par  $E_i$  sur le segment :

$$S_c^{i,i+1} = \int_U^{\bar{U}} \int_0^{\frac{(\beta_i - \beta_{i+1})(u - E(u)) + (\gamma_i - \gamma_{i+1})\varphi + T}{2T}} (-p_i - xT + \beta_i u) dx f(u) du$$

$$S_c^{i,i+1} = -p_i * \frac{(\gamma_i - \gamma_{i+1})\varphi + T}{2T} - \frac{T}{2} * E\left(\left(\frac{(\beta_i - \beta_{i+1})(u - E(u)) + (\gamma_i - \gamma_{i+1})\varphi + T}{2T}\right)^2\right) + \beta_i E\left(u * \frac{(\beta_i - \beta_{i+1})(u - E(u)) + (\gamma_i - \gamma_{i+1})\varphi + T}{2T}\right)$$

car :  $\int_U^{\bar{U}} [u - E(u)] f(u) du = 0$

soit :

$$S_c^{i,i+1} = -p_i * \frac{(\gamma_i - \gamma_{i+1})\varphi + T}{2T} - \frac{T}{2} * \left( \frac{(\beta_i - \beta_{i+1})^2 \sigma^2 + ((\gamma_i - \gamma_{i+1})\varphi + T)^2}{4T^2} \right) + \beta_i E\left((u - E(u) + E(u)) * \frac{(\beta_i - \beta_{i+1})(u - E(u)) + (\gamma_i - \gamma_{i+1})\varphi + T}{2T}\right)$$

$$= -p_i * \frac{(\gamma_i - \gamma_{i+1})\varphi + T}{2T} - \frac{T}{2} * \left( \frac{(\beta_i - \beta_{i+1})^2 \sigma^2 + ((\gamma_i - \gamma_{i+1})\varphi + T)^2}{4T^2} \right) + \beta_i \left( \frac{(\beta_i - \beta_{i+1})\sigma^2 + E(u) * ((\gamma_i - \gamma_{i+1})\varphi + T)}{2T} \right)$$

On obtient, sur l'ensemble des deux segments concernés par  $E_i$  :

$$S_c^i = -p_i * \frac{(2\gamma_i - \gamma_{i+1} - \gamma_{i-1})\varphi + 2T}{2T} - \frac{T}{2} * \left( \frac{(\beta_i - \beta_{i+1})^2 \sigma^2 + ((\gamma_i - \gamma_{i+1})\varphi + T)^2}{4T^2} \right) - \frac{T}{2} * \left( \frac{(\beta_i - \beta_{i-1})^2 \sigma^2 + ((\gamma_i - \gamma_{i-1})\varphi + T)^2}{4T^2} \right) + \beta_i \left( \frac{(2\beta_i - \beta_{i+1} - \beta_{i-1})\sigma^2 + E(u) * ((2\gamma_i - \gamma_{i+1} - \gamma_{i-1})\varphi + 2T)}{2T} \right)$$

qui s'écrit en utilisant  $(E0)$  :

$$= -p_i * \frac{2(\beta_i - \gamma_i)\varphi + 2T}{2T} - \frac{1}{8T} * [\sigma^2((\beta_i - \beta_{i+1})^2 + (\beta_i - \beta_{i-1})^2) + 2T^2 + 2T(2(\beta_i - \gamma_i)\varphi + (\gamma_i - \gamma_{i-1})^2 \varphi^2 + (\gamma_i - \gamma_{i+1})^2 \varphi^2)] + \beta_i \left( \frac{(2\beta_i - \beta_{i+1} - \beta_{i-1})\sigma^2 + E(u) * (2(\beta_i - \gamma_i)\varphi + 2T)}{2T} \right)$$

Introduire directement l'écriture de  $p_i$  conduit à des calculs complexes, aussi il peut être astucieux à ce stade d'obtenir une écriture, plus simple, d'une composante du bien-être collectif, en utilisant le fait que le prix acquitté disparaît quand on somme l'utilité de l'offreur du service et celle du client.

En réintégrant le poids de chaque segment ( $\frac{D}{n}$ ), en ajoutant  $\pi_i = (p_i - c + \beta_i * \delta c) * x_i$  et en utilisant  $(Ex)$ , on obtient le surplus collectif  $W_i$  relatif à  $E_i$ , brut de l'investissement éventuel de  $E_i$  et d'éventuels coûts externes

$$\frac{n}{D} W_i = [(-p_i + (p_i + \beta_i * \delta c) - c)] * \frac{(\beta_i - \gamma_i)\varphi + T}{T} - \frac{T}{4} - \frac{(\beta_i - \gamma_i)\varphi}{2}$$

$$\begin{aligned}
 & -\frac{1}{8T} * [\sigma^2((\beta_i - \beta_{i+1})^2 + (\beta_i - \beta_{i-1})^2) + \varphi^2((\gamma_i - \gamma_{i-1})^2 + (\gamma_i - \gamma_{i+1})^2)] \\
 & + \beta_i \left( \frac{(2\beta_i - \beta_{i+1} - \beta_{i-1})\sigma^2 + E(u) * (2(\beta_i - \gamma_i)\varphi + 2T)}{2T} \right) \\
 \text{ou } \frac{n}{D} W_i & = [(-c - \frac{T}{4} + \beta_i * \varphi) + ((\beta_i * \varphi - c - \frac{T}{2}) * \frac{(\beta_i - \gamma_i)\varphi}{nT}) \\
 & - \frac{1}{8T} * [\sigma^2((\beta_i - \beta_{i+1})^2 + (\beta_i - \beta_{i-1})^2) + \varphi^2((\gamma_i - \gamma_{i-1})^2 + (\gamma_i - \gamma_{i+1})^2)] \\
 & + \beta_i \left( \frac{(2\beta_i - \beta_{i+1} - \beta_{i-1})\sigma^2}{2T} \right)
 \end{aligned}$$

Si l'on somme pour obtenir le bien-être collectif total, toujours brut des investissements éventuels des  $E_i$  et d'éventuels coûts externes, en utilisant  $\sum \beta_i = \sum \gamma_i$  (on notera pour simplifier  $\sum$  la somme sur  $n$  indices consécutifs) :

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{D} W_{brut}(\beta) & = [(-c - \frac{T}{4} + \sum \beta_i * \varphi) + \sum ((\beta_i * \varphi) * \frac{(\beta_i - \gamma_i)\varphi}{nT}) \\
 & - \frac{1}{8nT} * [\sigma^2(2 \sum (\beta_i - \beta_{i+1})^2) + \varphi^2(2 \sum (\gamma_i - \gamma_{i+1})^2)] \\
 & + \sum \beta_i \left( \frac{(2\beta_i - \beta_{i+1} - \beta_{i-1})\sigma^2}{2nT} \right)
 \end{aligned}$$

On peut remarquer que, étant donné que  $\beta_i = 1$  ou  $0$  :  $(\beta_i - \beta_{i+1})^2 = 1$  si les stratégies des entreprises successives sont différentes, ou est nul dans le cas contraire. Le coefficient  $\sum (\beta_i - \beta_{i+1})^2$  est un indicateur de la "dispersion" des stratégies, compris entre  $0$  et  $n$  (ou plus exactement entre  $0$  et  $2E(\frac{n}{2})$ ). De même, on peut interpréter  $\sum (\gamma_i - \gamma_{i+1})^2$  comme un indicateur de dispersion des impacts stratégiques.

De plus,  $\sum (\beta_i - \beta_{i+1})^2 = 2(\sum \beta_i^2 - \sum \beta_i \beta_{i+1}) = \sum \beta_i (2\beta_i - \beta_{i+1} - \beta_{i-1})$ , et en introduisant le différentiel de coût externe entre les technologies  $O$  et  $N$ , noté  $\delta_{CE}$ , ainsi que le coût des investissements, on obtient enfin le bien-être collectif net total :

$$\begin{aligned}
 W(\beta) & = D * [-c - \frac{T}{4} - \delta_{CE} + (\varphi + \delta_{CE}) * \frac{\sum \beta_i * ((\beta_i - \gamma_i)\varphi + T)}{nT}] \\
 & + \frac{\sigma^2}{4nT} (\sum (\beta_i - \beta_{i+1})^2) - \frac{\varphi^2}{4nT} (\sum (\gamma_i - \gamma_{i+1})^2) - (\sum \beta_i)K
 \end{aligned}$$

on peut réécrire cela en notant :  $N(\beta) = \frac{\sum \beta_i}{n} = \frac{\sum \beta_i^2}{n}$  :

$$\begin{aligned}
 W(\beta) & = D * [-c - \frac{T}{4} - \delta_{CE}] + D * [(\varphi + \delta_{CE}) * (N(\beta) + \frac{\sum \beta_i * ((\beta_i - \gamma_i)\varphi)}{nT}) \\
 & + \frac{\sigma^2}{4nT} (\sum (\beta_i - \beta_{i+1})^2) - \frac{\varphi^2}{4nT} (\sum (\gamma_i - \gamma_{i+1})^2)] - nN(\beta)K \\
 W(\beta) & = D * [(-c - \frac{T}{4} - \delta_{CE}) + N(\beta) * [(\varphi + \delta_{CE}) * \frac{\varphi + T}{T} - \frac{nK}{D}] \\
 & - (\varphi + \delta_{CE}) * \frac{\varphi \sum \beta_i \gamma_i}{nT} + \frac{\sigma^2}{4nT} (\sum (\beta_i - \beta_{i+1})^2) - \frac{\varphi^2}{4nT} (\sum (\gamma_i - \gamma_{i+1})^2)]
 \end{aligned}$$

On peut maintenant revenir à l'expression du surplus des clients, en profitant du fait que l'écriture ( $E\Pi$ ) qui donne le profit agrégé des entreprises est très simple. En écrivant le surplus collectif des clients, il vient :

$$\begin{aligned}
 S_c(\beta) & = W(\beta)_{hors \text{ coûts externes}} - (\Pi(\beta) - nN(\beta)K) \\
 & = D * [(-c - \frac{5T}{4}) + N(\beta) * [\varphi * \frac{\varphi + T}{T}] - \varphi * \frac{\varphi \sum \beta_i \gamma_i}{nT} + \frac{\sigma^2}{4nT} (\sum (\beta_i - \beta_{i+1})^2) \\
 & - \frac{\varphi^2}{4nT} (4 \sum (\beta_i - \gamma_i)^2 + \sum (\gamma_i - \gamma_{i+1})^2)] \\
 & = D * [(-c - \frac{5T}{4}) + N(\beta) * \varphi] + \varphi^2 * \frac{\sum (\beta_i^2) - \sum \beta_i \gamma_i}{nT} + \frac{\sigma^2}{4nT} (\sum (\beta_i - \beta_{i+1})^2)
 \end{aligned}$$

$$-\frac{\varphi^2}{4nT}(4\sum(\beta_i - \gamma_i)^2 + \sum(\gamma_i - \gamma_{i+1})^2)]$$

Cette écriture "extensive" [EE] peut également se reformuler plus simplement :

$$S_c(\beta) = D * [(-c - \frac{5T}{4}) + N(\beta) * \varphi + \frac{\sigma^2}{4nT}(\sum(\beta_i - \beta_{i+1})^2) + \frac{\varphi^2}{4nT}(\sum(\gamma_i - \gamma_{i+1})^2)]$$

(ES<sub>c</sub>)

Démonstration de la simplification :

On écrit :  $\sum_{i=1}^n (\gamma_i - \gamma_{i+1})^2 = 2(\sum_{i=1}^n \gamma_i^2 - \sum_{i=1}^n (\gamma_i \gamma_{i+1})) = \sum_{i=1}^n \gamma_i (2\gamma_i - \gamma_{i+1} - \gamma_{i-1})$

qui se simplifie, d'après l'équation fondamentale (E0), en :

$$\sum_{i=1}^n (\gamma_i - \gamma_{i+1})^2 = \sum_{i=1}^n \gamma_i (2\beta_i - 2\gamma_i) = 2 \sum_{i=1}^n \gamma_i (\beta_i - \gamma_i)$$

soit :  $\sum_{i=1}^n (\gamma_i - \gamma_{i+1})^2 = 2 \sum_{i=1}^n (\gamma_i - \beta_i + \beta_i)(\beta_i - \gamma_i)$

$$\sum_{i=1}^n (\gamma_i - \gamma_{i+1})^2 = -2 \sum_{i=1}^n (\beta_i - \gamma_i)(\beta_i - \gamma_i) + 2 \sum_{i=1}^n \beta_i (\beta_i - \gamma_i)$$

et enfin :

$$\sum_{i=1}^n \beta_i (\beta_i - \gamma_i) = \sum_{i=1}^n (\beta_i - \gamma_i)^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (\gamma_i - \gamma_{i+1})^2$$

On obtient alors directement l'écriture simplifiée de [EE] en remplaçant le terme de gauche par le terme de droite équivalent.

CQFD

Dans l'écriture (ES<sub>c</sub>) on trouve un terme constant correspondant à la situation initiale  $\beta = O^n$ , un terme linéaire proportionnel au degré de diffusion de  $N$  et deux termes non négatifs qui s'annulent quand les choix technologiques des entreprises sont tous alignés. On peut dans ce sens interpréter ces derniers termes comme une valorisation positive de la variété offerte aux consommateurs.

En notant la proportion des entreprises ayant adopté  $N$  par  $N(\beta) \equiv \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_i$  on peut également réécrire  $W(\beta)$  :

$$W(\beta) = D * [(-c - \frac{T}{4} - \delta_{CE}) + (N(\beta) * (\varphi + \delta_{CE} - \frac{nK}{D})) + (\varphi * \delta_{CE} * \frac{2\sum(\beta_i - \gamma_i)^2 + \sum(\gamma_i - \gamma_{i+1})^2}{2nT}) + (\frac{\sigma^2}{4nT}(\sum(\beta_i - \beta_{i+1})^2)) + (\frac{\varphi^2}{4nT}(4\sum(\beta_i - \gamma_i)^2 + \sum(\gamma_i - \gamma_{i+1})^2))]$$

Bien entendu,  $W(\beta)$  décroît quand  $K$  augmente, et :

$$W(O^n) = D * [(-c - \frac{T}{4} - \delta_{CE})]$$

$$W(N^n) = D * [(-c - \frac{T}{4}) + (\varphi - \frac{nK}{D})].$$

On en déduit une écriture de  $W(\beta)$  comportant une partie linéaire dépendant du degré de diffusion de  $N$ , et une partie dépendant de la dispersion des stratégies :

$$\boxed{W(\beta) = (1-N(\beta))W(O^n) + N(\beta)W(N^n) + X(\beta)} \quad \text{(EW)}$$

$$\text{où } X(\beta) = D * \left[ (\varphi * \delta_{CE} * \frac{2 \sum (\beta_i - \gamma_i)^2 + \sum (\gamma_i - \gamma_{i+1})^2}{2nT}) + (\frac{\sigma^2}{4nT} (\sum (\beta_i - \beta_{i+1})^2)) \right. \\ \left. + (\frac{\varphi^2}{4nT} (4 \sum (\beta_i - \gamma_i)^2 + \sum (\gamma_i - \gamma_{i+1})^2)) \right]$$

Les deux premiers termes de  $W(\beta)$  tiennent compte de l'avantage moyen procuré par l'adoption de  $N$  par une proportion  $N(\beta)$  d'entreprises, toutes choses égales par ailleurs (soit  $D * N(\beta) * (\varphi + \delta_{CE})$ ). Le reste de l'expression,  $X(\beta)$ , contient des termes non négatifs qui s'annulent uniquement quand les choix technologiques sont tous alignés. Il peut être interprété comme l'expression d'une préférence collective pour la variété.

## 7.6 Profils de stratégies stables

Il est possible d'utiliser un algorithme de détermination des  $L_+(\beta)$  et  $L_-(\beta)$  définis au 2.5..

De façon schématique :

\* pour  $L_+(\beta)$ , on prend la séquence la plus longue de  $N$  consécutifs et on calcule le  $\sum_{j=2, \dots, n} \beta_{j+i-1} \gamma_j$  de son élément le plus central .

Si la séquence est paire, on départage les deux éléments centraux en prenant celui qui maximise cette somme. Si plusieurs séquences de longueur maximale existent, on les départage par le même critère

\* pour  $L_-(\beta)$ , on prend la séquence la plus longue de  $O$  consécutifs et on calcule le  $\sum_{j=2, \dots, n} \beta_{j+i-1} \gamma_j$  de son élément le plus central .

Si la séquence est paire, on départage les deux éléments centraux en prenant celui qui minimise cette somme. Si plusieurs séquences de longueur maximale existent, on les départage par le même critère.

Pour prouver que cet algorithme fonctionne, on utilise une propriété remarquable des  $\gamma_i^a$ :

$$\boxed{(\forall i \leq n) (\gamma_i^a > \sum_{k=i+1}^{n-i+1} \gamma_k^a)}$$

Cette propriété a été démontrée à la fin du 7.1.2..

### 7.7 Analyse et simulations en dynamique

Deux indicateurs ont une importance particulière, quel que soit le processus d'ajustement dynamique :

\* l'avantage immédiat à adopter

\* le profit net "absolu", défini par rapport à la situation initiale dans laquelle aucun n'a adopté.

L'avantage immédiat est représenté par l'expression :

$$\Delta_i \pi_i(\beta_{-i}) = \frac{D}{n} \varphi(1 - \gamma_1^a)(2 + \frac{\varphi}{T}(1 - \gamma_1^a - 2\gamma_{-i})) \text{ où } \gamma_{-i} = \sum_{j=2 \text{ à } n} \beta_j \gamma_{j-i+1}^a$$

on note que  $\gamma_{-i}$  varie de 0 à  $(1 - \gamma_1^a)$  selon  $\beta_{-i}$ .

Pour simplifier un peu l'analyse, on écrit  $K$  selon une expression similaire en introduisant un paramètre  $\alpha$  :

$$K = \frac{D}{n} \varphi(1 - \gamma_1^a)(2 + \alpha \frac{\varphi}{T}(1 - \gamma_1^a)).$$

Les cas  $K = K_-$  et  $K = K_+$  correspondent respectivement à  $\alpha = -1$  et  $\alpha = +1$ .

Le domaine de variation de  $\alpha$  intéressant est donc  $[-1; 1]$ , en-dehors duquel les équilibres du jeu sont unanimes.

L'avantage immédiat à adopter est alors positif ssi

$$\gamma_{-i} \leq f(\alpha) \text{ où } f(\alpha) = \frac{(1-\alpha)(1-\gamma_1^a)}{2}.$$

On notera que  $f(\alpha)$  n'est rien d'autre que  $l(K)$  défini au 2.5., mais exprimé sous une forme plus simple et plus facilement utilisable.

Le profit net absolu est représenté par l'expression :

$$V \pi_i(\beta_{-i}, \beta_i = 1) = \frac{D}{n} \varphi[-2\gamma_{-i} + \frac{\varphi}{T}(((1 - \gamma_1^a) - \gamma_{-i})^2 - \alpha(1 - \gamma_1^a)^2)].$$

Le profit net dans la situation  $\beta = (\beta_{-i}, \beta_i = 1)$  est alors positif ssi

$$\gamma_{-i} \leq r(\alpha) \text{ où } r(\alpha) = \frac{T}{\varphi} + (1 - \gamma_1^a) - \sqrt{(\frac{T}{\varphi} + (1 - \gamma_1^a))^2 - (1 - \alpha)(1 - \gamma_1^a)^2}.$$

La limite de profitabilité nette est faible par rapport à la limite d'avantage immédiat, ce qui permet de prédire que, à partir du moment où une entreprise adopte, les adoptions ultérieures ont de grandes chances d'aboutir à une situation de profit net négatif, sauf dans certaines régions limitées de variation de  $K$ .

La figure 2 illustre ces limites de profitabilités, en représentant en abscisse le coût d'adoption  $K$  (en fait, le coefficient  $\alpha$  variant sur l'intervalle  $[-1; 1]$ ) et en ordonnée les valeurs-limite de  $\gamma_{-i}$  correspondant à la limite de profitabilité, pour  $n = 8$  et  $\frac{\varphi}{T} = 0,5$ .

Plusieurs processus d'ajustement dynamique ont été simulés, avec diverses valeurs de  $n$ . Les résultats de ces simulations vont dans le sens de ce qui est avancé ci-dessus : seule une petite région de variation de  $K$  est profitable de



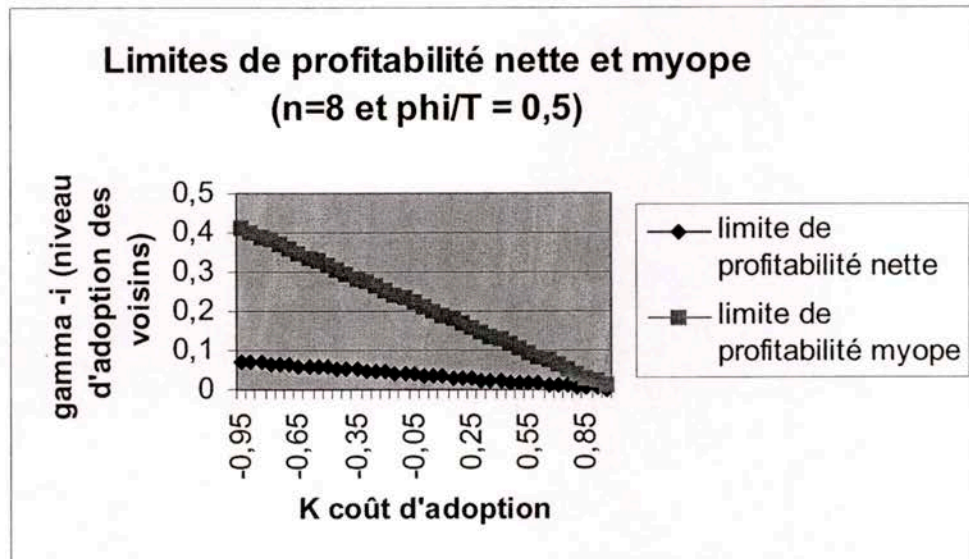


Figure 2:

façon sûre pour le premier adopteur (elle correspond à  $\alpha \in [r^{-1}(\text{Min}_i(\gamma_i^a); 1]$ , domaine sur lequel il est profitable pour une et une seule entreprise d'adopter  $N$ ) et selon le processus dynamique utilisé, d'autres petites régions peuvent s'y adjoindre.

Enseignements empiriques sur la dynamique d'évolution

Les règles testées font varier l'ordre selon lequel les entreprises prennent leur décision, et chaque entreprise en situation de décision est supposée raisonner de façon "myope", c'est-à-dire uniquement en fonction de la situation observée au moment de sa prise de décision. On constate une forte dépendance à la règle de décision "dynamique" adoptée, mais avec quelques convergences :

1. En choix séquentiel "contigü" :

La règle définissant l'ordre de décision est une simple règle d'ordre séquentiel sur le cercle, jusqu'à ce qu'un tour complet ne fournisse aucune décision de changement de stratégie par les entreprises du cercle : 1 choisit, puis 2, etc... :

- si l'adoption de  $N$  est supposée irréversible, ceux qui adoptent, comme ceux qui restent avec  $O$ , voient leur profit diminuer par rapport à la situation initiale (excepté le cas  $\alpha \in [r^{-1}(\text{Min}_i(\gamma_i^a); 1]$  mentionné plus haut)

- avec réversibilité, on permet à une entreprise ayant choisi  $N$  de rebasculer ultérieurement sur  $O$ , ce qui représente une certaine forme de négociation préalable séquentielle.

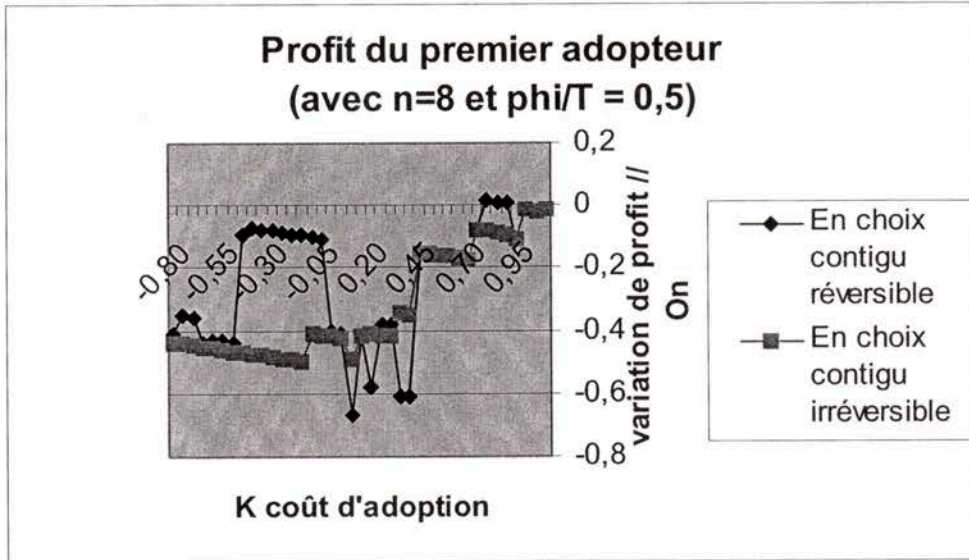


Figure 3:

La règle avec réversibilité définie ici est intermédiaire entre une annonce sans engagement ("cheap talk") et une annonce définitive, dans la mesure où la dernière annonce faite engage chaque entreprise. Dans les simulations effectuées, la règle générale reste que les profits de toutes les entreprises diminuent par rapport à la situation initiale, mais on observe quelques cas de figure dans lesquels le premier adopteur a un profit net légèrement positif, avec parfois un profit net légèrement positif pour d'autres adopteurs également, et on observe quelques cas où, in fine, le profit net du premier adopteur est négatif alors que le profit net d'un autre adopteur est strictement positif.

Remarque :

Les profils de stratégies obtenus avec une règle autorisant la réversibilité sont des équilibres de Nash (profils stables du 2.5.), caractérisés par  $L_+(\beta) \leq f(\alpha) \leq L_-(\beta)$ , alors que les profils obtenus avec irréversibilité peuvent ne respecter qu'une seule des deux inégalités :  $f(\alpha) \leq L_-(\beta)$  (refus de déviation volontaire par les non-adopteurs).

2. En choix séquentiel "défensif" :

La règle définissant l'ordre de décision est une règle séquentielle un peu plus complexe que le choix séquentiel contigu. Elle suppose en quelque sorte que le plus rapide à agir va être celui qui est le plus motivé à le faire, au sens où il a le plus à perdre dans la situation considérée.

Le principe est que celui qui choisit est celui dont le  $\gamma_{-i}$  est le plus élevé, c'est-à-dire celui qui est le plus attaqué par les adopteurs (profit le plus faible s'il conserve  $O$  - c.f. écriture de  $(E\pi)$  -) : 1 choisit puis c'est le tour de 2 ou 3 (probabilité  $\frac{1}{2}$  chacun), puis ainsi de suite selon les décisions prises par chacun, les  $\gamma_{-i}$  étant recalculés après chaque décision, les ex-aequo éventuels en  $\gamma_{-i}$  étant départagés par tirage équiprobable.

Intuitivement, et cela se vérifie dans les simulations effectuées quand on les compare aux simulations avec choix contigu, ce processus donne des adoptions plus concentrées autour de  $E_1$  quand il y a irréversibilité. S'il y a réversibilité, par rapport au choix séquentiel contigu, le premier choix après que  $E_1$  ait adopté est identique (à une symétrie près, neutre pour  $E_1$ ) mais par la suite,  $E_1$  ou les éléments adopteurs situés autour de  $E_1$  (" les plus entourés par des adopteurs " donc au  $\gamma_{-i}$  plus élevé) rebasculeront plus facilement sur  $O$ .

L'introduction de la réversibilité dans le processus offre à ce dernier de plus grandes chances d'aboutir à des combinaisons avec une répartition des adoptions moins irrégulière sur le cercle (exemple : avec  $n = 10$ , des combinaisons d'adoption du type  $E_1/E_6$ , qui sont stables et profitables si  $\alpha < 0,75$  pour  $\frac{\alpha}{T} = 0,5$ ) mais il peut également aboutir à des combinaisons du type  $E_3/E_8$  (toujours dans le cas d'illustration  $n = 10$ ), dans lesquelles le premier adopteur fait finalement une perte nette par rapport à la situation initiale sans  $N$ . Dans ce cas, si  $E_1$  pouvait anticiper ce qui va se passer, il n'aurait pas intérêt à adopter initialement, car son espérance de variation de profit est alors négative donc, tout en conduisant à des combinaisons a priori plus stables et profitables, le processus " défensif " peut conduire à repositionner  $E_1$  dans les perdants de la combinaison stable finale :  $E_1$ , ne pouvant s'approprier la combinaison stable, peut préférer ne pas adopter initialement, les autres premiers adopteurs potentiels ultérieurs pouvant tenir le même type de raisonnement (illustration d'une forme particulière du jeu de première étape d'adoption traité au 2.6.1.).

### 3. En choix séquentiel par "intérêt intrinsèque maximal" :

La règle définissant l'ordre de décision est une règle séquentielle similaire à celle du choix séquentiel défensif. Elle suppose en quelque sorte que le plus rapide à agir va être celui dont le voisinage est le moins pourvu d'adopteurs ( $\gamma_{-i}$  minimal), c'est-à-dire qu'il peut obtenir un avantage concurrentiel plus net à court terme, son voisinage n'ayant pas (ou pas trop) adopté  $N$ . Cette règle est plus difficilement justifiable en pratique, mais elle est intéressante du point de vue théorique car, par rapport aux autres règles simulées, c'est là où on obtient les adoptions les plus profitables. En effet, les simulations montrent des cas plus nombreux de profits nets positifs pour les adopteurs et les adoptions sont réparties moins irrégulièrement sur le cercle. La séquence des décisions indique que les non-adopteurs sont en quelque sorte plus rapidement " entravés " (c'est-à-dire que l'adoption devient plus rapidement non profitable pour eux car leur  $\gamma_{-i}$  est élevé) alors que le  $\gamma_{-i}$  des adopteurs reste relativement faible (car ils sont assez éloignés les uns des autres).

En définitive :

\* en décision myope par choix contigus, les pertes de profit nettes semblent être la règle générale, et avec une règle définissant un ordre de réaction plus élaboré, cela n'est que partiellement corrigé, sauf à imaginer une séquence déterministe conditionnant les choix par ordre d'intérêt potentiel décroissant, en faisant choisir d'abord les  $E_i$  tels que  $\beta_i = 1$  dans un équilibre ( $\beta$ ) préalablement défini. Mais même dans ce cas, il n'est pas évident de trouver des profils ( $\beta$ ) dans lesquels les profits nets sont positifs pour un des adopteurs (et encore moins des profils ( $\beta$ ) pour lesquels tous les adopteurs font un profit net). Par exemple, dans les simulations effectuées pour le cas  $n = 8$ , l'adopteur initial ne peut avoir un profit net strictement positif que sur une faible gamme de  $K$  (faibles fenêtres de variation de  $\alpha$ )

\* la première adoption effective a un effet déterminant, car la nature des choix change une fois que l'un des joueurs a adopté (la rentabilité globale devient secondaire face à la rentabilité relative par rapport à la nouvelle situation créée de facto par l'adoption) : quand personne n'a encore adopté, chacun part d'une situation de référence commune mais quand au moins une entreprise a adopté, les non-adopteurs partent d'une situation de perte relative, il s'agit alors de voir si en adoptant ils peuvent rattraper ou diminuer cette perte immédiatement "toutes choses égales par ailleurs" (décision myope irréversible) ou en introduisant une certaine possibilité de négociation entre les joueurs (ce que permettent quelque peu les règles avec réversibilité)

\* un jeu de négociation (dans lequel chacun peut, quand son tour d'annonce arrive, éventuellement renoncer à adopter  $N$ , chacun devant jouer son annonce quand un tour complet s'est déroulé sans changement d'annonce) peut conduire à des résultats identiques au jeu joué réellement séquentiellement dans le même ordre (avec adoption irréversible), ou aboutir à une moindre adoption globale, plus susceptible d'apporter une rentabilité globale aux adopteurs. La négociation préalable tend à diminuer le nombre d'adopteurs, à augmenter le profit moyen (ou diminuer la perte moyenne) des adopteurs, mais aussi à diminuer la perte moyenne des non-adopteurs (dans les simulations effectuées : le nombre d'adopteurs est toujours conservé ou diminué, la perte moyenne des adopteurs toujours diminuée ou conservée ainsi, souvent, que celle des non-adopteurs - dans 16 cas sur 19 tests effectués avec un pas de 0,1 pour les valeurs de  $\alpha$ ).

## 8 ANNEXE relative au modèle Chamberlinien

### 8.1 Résolution du modèle de base : écriture des quantités, prix et profits (partie 3.1.)

Les conditions du premier ordre pour le programme de consommation donnent :

$$\frac{\partial U}{\partial x_{j1}} = 0 = \mu \left( \sum_{i=1}^n (x_{i1})^{\rho_1} \right)^{\frac{1}{\rho_1} - 1} \frac{\partial \left( \sum_{i=1}^n (x_{i1})^{\rho_1} \right)^{\frac{1}{\rho_1}}}{\partial x_{j1}} \left( \sum_{i=1}^n (x_{i2})^{\rho_2} \right)^{\frac{1}{\rho_2} - 1} - \lambda p_{j1}$$

où  $\lambda$  est le multiplicateur de Lagrange associé à la contrainte de budget :

$$R \geq \sum_{i=1}^n p_{i1} x_{i1} + \sum_{i=1}^n p_{i2} x_{i2}.$$

Prenons tout d'abord, par exemple,  $l = 1$  :

$$\begin{aligned} \lambda p_{j1} &= \mu \left( \sum_{i=1}^n (x_{i1})^{\rho_1} \right)^{\frac{1}{\rho_1} - 1} \frac{1}{\rho_1} \left( \sum_{i=1}^n (x_{i1})^{\rho_1} \right)^{\frac{1}{\rho_1} - 1} \frac{\partial \left( \sum_{i=1}^n (x_{i1})^{\rho_1} \right)}{\partial x_{j1}} \left( \sum_{i=1}^n (x_{i2})^{\rho_2} \right)^{\frac{1}{\rho_2} - 1} \\ \lambda p_{j1} &= \mu \left( \sum_{i=1}^n (x_{i1})^{\rho_1} \right)^{\frac{1}{\rho_1} - 1} \frac{1}{\rho_1} \left( \sum_{i=1}^n (x_{i1})^{\rho_1} \right)^{\frac{1}{\rho_1} - 1} \rho_1 (x_{j1})^{\rho_1 - 1} \left( \sum_{i=1}^n (x_{i2})^{\rho_2} \right)^{\frac{1}{\rho_2} - 1} \\ \lambda p_{j1} &= \mu \left( \sum_{i=1}^n (x_{i1})^{\rho_1} \right)^{\frac{1}{\rho_1} - 1} \left( \sum_{i=1}^n (x_{i1})^{\rho_1} \right)^{\frac{1}{\rho_1} - 1} x_{j1}^{\rho_1 - 1} \left( \sum_{i=1}^n (x_{i2})^{\rho_2} \right)^{\frac{1}{\rho_2} - 1} \\ \lambda p_{j1} &= \mu U \frac{x_{j1}^{\rho_1 - 1}}{\left( \sum_{i=1}^n (x_{i1})^{\rho_1} \right)} \quad (E1) \end{aligned}$$

La condition de second ordre (CSO) est assurée par :  $\rho_1 - 1 < 0$

$$\text{De même, on obtient : } \lambda p_{j2} = (1 - \mu) U \frac{x_{j2}^{\rho_2 - 1}}{\left( \sum_{i=1}^n (x_{i2})^{\rho_2} \right)} \quad (E2)$$

On en déduit :

$$\frac{p_{j1}}{p_{i1}} = \left( \frac{x_{j1}}{x_{i1}} \right)^{1 - \rho_1} \text{ et } \frac{p_{j1}}{p_{k2}} = \frac{\mu}{1 - \mu} \left( \frac{x_{j1}^{\rho_1 - 1}}{x_{k2}^{\rho_2 - 1}} \right) \frac{\sum_{i=1}^n (x_{i2})^{\rho_2}}{\sum_{i=1}^n (x_{i1})^{\rho_1}}$$

$$\text{d'où : } \sum_{j=1}^n p_{j1} x_{j1} = \frac{\mu}{1 - \mu} (p_{k2} \frac{\sum_{j=1}^n x_{j1}^{\rho_1}}{x_{k2}^{\rho_2 - 1}}) \frac{\sum_{i=1}^n (x_{i2})^{\rho_2}}{\sum_{i=1}^n (x_{i1})^{\rho_1}} = \frac{\mu}{1 - \mu} p_{k2} \frac{\sum_{i=1}^n (x_{i2})^{\rho_2}}{x_{k2}^{\rho_2 - 1}}$$

mais aussi :

$$\sum_{j=1}^n p_{j1} x_{j1} = \frac{\mu U}{\lambda} \frac{\sum_{i=1}^n x_{j1}^{\rho_1}}{\left( \sum_{i=1}^n (x_{i1})^{\rho_1} \right)} = \frac{\mu U}{\lambda}$$

$$\text{et de même : } \sum_{i=1}^n p_{i2} x_{i2} = \frac{(1 - \mu) U}{\lambda}$$

En utilisant maintenant la saturation de la contrainte de budget :

$$R = \sum_{i=1}^n p_{i1} x_{i1} + \sum_{i=1}^n p_{i2} x_{i2} = \frac{U}{\lambda}$$

$$\text{d'où : } \sum_{j=1}^n p_{j1} x_{j1} = \mu R \text{ et } \sum_{i=1}^n p_{i2} x_{i2} = (1 - \mu) R$$

et avec (E1) :

$$x_{j1} = \left( \frac{\lambda p_{j1} \left( \sum_{i=1}^n (x_{i1})^{\rho_1} \right)}{\mu U} \right)^{\frac{1}{\rho_1 - 1}} = \left( \frac{\mu R}{p_{j1} \left( \sum_{i=1}^n (x_{i1})^{\rho_1} \right)} \right)^{\frac{1}{1 - \rho_1}}$$

En réutilisant cette utilité en la sommant sur les  $j$  :

$$\sum_{i=1}^n (x_{i1})^{\rho_1} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\mu R}{p_{j1} \left( \sum_{i=1}^n (x_{i1})^{\rho_1} \right)} \right)^{\frac{\rho_1}{1 - \rho_1}} = (\mu R)^{\frac{\rho_1}{1 - \rho_1}} \frac{\sum_{j=1}^n p_{j1}^{-\frac{\rho_1}{1 - \rho_1}}}{\left( \sum_{i=1}^n (x_{i1})^{\rho_1} \right)^{\frac{\rho_1}{1 - \rho_1}}}$$

$$\left( \sum_{i=1}^n (x_{i1})^{\rho_1} \right)^{1 + \frac{\rho_1}{1 - \rho_1}} = (\mu R)^{\frac{\rho_1}{1 - \rho_1}} \sum_{j=1}^n p_{j1}^{-\frac{\rho_1}{1 - \rho_1}}$$

ou :  $(\sum_{i=1}^n x_{i1}^{\rho_1})^{\frac{1}{1-\rho_1}} = (\mu R)^{\frac{\rho_1}{1-\rho_1}} \sum_{j=1}^n p_{j1}^{-\frac{\rho_1}{1-\rho_1}}$   
 et enfin :

$$x_{k1} = \frac{(\mu R)^{\frac{1}{1-\rho_1}}}{p_{k1}^{\frac{\rho_1}{1-\rho_1}} (\mu R)^{\frac{\rho_1}{1-\rho_1}} \sum_{j=1}^n p_{j1}^{-\frac{\rho_1}{1-\rho_1}}}$$

$$x_{k1} = \frac{\mu R}{\sum_{j=1}^n p_{j1}^{-\frac{\rho_1}{1-\rho_1}} p_{k1}^{-\frac{1}{1-\rho_1}}}$$

On en déduit le profit de l'entreprise  $i$  produisant le bien 1 :

$$\pi_i = (p_{i1} - c_{i1})x_{i1}$$

et sa maximisation est alors caractérisée par :

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial p_{i1}} = 0 = x_{i1} + (p_{i1} - c_{i1}) \frac{\partial}{\partial p_{i1}} \left[ \frac{\mu R}{\sum_{j=1}^n p_{j1}^{-\frac{\rho_1}{1-\rho_1}}} p_{k1}^{-\frac{1}{1-\rho_1}} \right]^9$$

En hypothèse de concurrence monopolistique, le joueur néglige l'impact de sa stratégie sur la résultante globale des stratégies, c'est-à-dire qu'il considère  $\sum_{j=1}^n p_{j1}^{-\frac{\rho_1}{1-\rho_1}}$  comme constant.

Sa maximisation de profit donne alors :

$$0 = x_{i1} + (p_{i1} - c_{i1}) \frac{\mu R}{\sum_{j=1}^n p_{j1}^{-\frac{\rho_1}{1-\rho_1}}} \left( -\frac{1}{1-\rho_1} \right) [p_{i1}^{-\frac{1}{1-\rho_1}-1}]$$

$$0 = x_{i1} + (p_{i1} - c_{i1}) x_{i1} \left( -\frac{1}{1-\rho_1} \right) [p_{i1}^{-1}] \text{ soit :}$$

$$0 = x_{i1} \text{ ( ce qui conduirait à un profit nul) ou } (p_{i1} - c_{i1}) = (1 - \rho_1)p_{i1}$$

Soit in fine :

$$p_{i1} = \frac{c_{i1}}{\rho_1}$$

avec un profit

$$\pi_{i1} = \frac{c_{i1}(1-\rho_1)}{\rho_1} \frac{\mu R}{\sum_{j=1}^n p_{j1}^{-\frac{\rho_1}{1-\rho_1}}} \left( \frac{c_{i1}}{\rho_1} \right)^{-\frac{1}{1-\rho_1}}$$

Si tous les coûts marginaux de production sont identiques et si  $m_1$  entreprises sur les  $n$  possibles produisent le bien 1 :

$$\pi_{i1} = \frac{c_1(1-\rho_1)}{\rho_1} \frac{\mu R}{m_1 \left( \frac{c_1}{\rho_1} \right)^{-\frac{\rho_1}{1-\rho_1}}} \left( \frac{c_1}{\rho_1} \right)^{-\frac{1}{1-\rho_1}} = \frac{c_1^{1-\frac{1}{1-\rho_1}} (1-\rho_1)}{\rho_1^{1-\frac{1}{1-\rho_1}}} \frac{\mu R}{m_1 \left( \frac{c_1}{\rho_1} \right)^{-\frac{\rho_1}{1-\rho_1}}}$$

$$\text{soit : } \pi_{i1} = \frac{c_1^{1-\frac{1}{1-\rho_1} + \frac{\rho_1}{1-\rho_1}} (1-\rho_1)}{\rho_1^{1-\frac{1}{1-\rho_1} + \frac{\rho_1}{1-\rho_1}}} \frac{\mu R}{m_1}$$

$$\pi_{i1} = \frac{c_1(1-\rho_1)}{\rho_1} \frac{\mu R}{m_1}$$

<sup>9</sup>On suppose ici implicitement que le profit sera non nul, ce qui permet de ne pas considérer le coefficient de Lagrange associé à la contrainte de non-négativité de la marge. Ceci est justifié par le fait qu'in fine, la marge résultant de la résolution sera en effet strictement positive.

et de même :

$$x_{k2} = \frac{(1-\mu)R}{\sum_{j=1}^n p_{j2}} p_{k2}^{-\frac{1}{1-\rho_2}}$$

$$p_{j2} = \frac{c_{j2}}{\rho_2}$$

$$\pi_{j2} = \frac{c_{j2}(1-\rho_2)}{\rho_2} \frac{(1-\mu)R}{m_2}$$

**8.2 Détail de l'analyse des équilibres en stratégies pures (partie 3.2.)**

A partir de la proposition de base on examine tour à tour les cas de figure  $m_2 < m'_2$ ,  $m_2 = m'_2$  et  $m_2 > m'_2$ , en identifiant quelles valeurs de  $\sum_{i=1}^n \beta_i$  sont possibles pour un équilibre de Nash ( $\beta$ ), et sous quelles conditions sur  $m_2$ ,  $m'_2$ ,  $m_1$  et  $n$ .

1)  $m_2 < m'_2$  :

Ecartons tout d'abord la possibilité  $\sum_{i=1}^n \beta_i > m'_2$  : d'après (1) et (3), nécessairement, on aurait  $(\forall j \leq m_1, \beta_j = 0)$  et  $(\forall j > m_1, \beta_j = 0)$  donc  $\sum_{i=1}^n \beta_i = 0$  d'où contradiction.

La possibilité  $m'_2 > \sum_{i=1}^n \beta_i > m_2$  impliquerait, quant à elle, que :

\* selon (4)  $(\forall j > m_1, \beta_j = 1)$

\*  $\sum_{i=1}^n \beta_i > m_2$  donc selon (1)  $(\forall j \leq m_1, \beta_j = 0)$

et  $\sum_{i=1}^n \beta_i = \sum_{i=m_1+1}^n \beta_i = n - m_1$ .

Une condition nécessaire et suffisante (CNS) pour que ceci soit possible est donc :  $m'_2 > n - m_1 > m_2$  et dans ce cas  $\beta_j = 1$  ssi  $j > m_1$ .

La possibilité  $\sum_{i=1}^n \beta_i < m_2$  impliquerait d'après (2) et (4) que  $(\forall j, \beta_j = 1)$  donc  $\sum_{i=m_1}^n \beta_i = n$ . Une CNS pour que ceci soit possible est donc :  $n < m_2$ .

La possibilité  $\sum_{i=1}^n \beta_i = m_2$  implique d'après (4) que  $(\forall j > m_1, \beta_j = 1)$ , donc  $\sum_{i=1}^{m_1} \beta_i = \sum_{i=1}^n \beta_i - \sum_{i=m_1+1}^n \beta_i = m_2 - (n - m_1)$ . Comme  $0 \leq \sum_{i=1}^{m_1} \beta_i \leq m_1$ , la CNS pour que ceci soit possible est :  $(n - m_1) \leq m_2 \leq n$  et si cette condition est vérifiée les équilibres sont les ( $\beta$ ) tels que  $\sum_{i=1}^{m_1} \beta_i = m_2 - (n - m_1)$  et  $(\forall j > m_1, \beta_j = 1)$ .

Enfin la possibilité  $\sum_{i=1}^n \beta_i = m'_2$  implique d'après (1) que  $(\forall j \leq m_1, \beta_j = 0)$  donc  $\sum_{i=m_1+1}^n \beta_i = m'_2$ . La CNS pour que ceci soit possible est  $0 \leq m'_2 \leq n - m_1$ .

Le tableau ci-après résume, pour chaque gamme de valeur de  $n$  possible (en colonne 1), la caractérisation des équilibres de Nash (en colonne 2) et la diffusion globale de la nouvelle technologie ( $\sum_{i=1}^n \beta_i$ ) en colonne 3.



Cas $n > m_1 + m'_2$	$(\forall j \leq m_1, \beta_j = 0)$ et $\sum_{i=m_1+1}^n \beta_i = m'_2$	$m'_2$
Cas $m_1 + m_2 < n < m_1 + m'_2$	$\beta_j = 1$ ssi $j > m_1$	$n - m_1$
Cas $m_2 \leq n \leq m_1 + m_2$	$\sum_{i=1}^{m_1} \beta_i = m_1 + m_2 - n$ et $(\forall j > m_1, \beta_j = 1)$	$m_2$
Cas $n < m_2$	$(\forall j, \beta_j = 1)$	$n$

2)  $m_2 = m'_2$  :

La possibilité  $\sum_{i=1}^n \beta_i > m'_2$  est écartée comme au 1).

La possibilité  $\sum_{i=1}^n \beta_i < m'_2$  implique d'après (2) et (4) que  $(\forall j, \beta_j = 1)$  donc  $\sum_{i=1}^n \beta_i = n$ . Une CNS pour que ceci soit possible est  $n < m'_2$ .

La possibilité  $\sum_{i=1}^n \beta_i = m'_2 = m_2$  implique que  $\sum_{i=1}^{m_1} \beta_i = n_1$  où  $0 \leq n_1 \leq m_1$  et  $\sum_{i=m_1+1}^n \beta_i = n_2$  où  $0 \leq n_2 \leq n - m_1$  et  $n_1 + n_2 = \sum_{i=1}^n \beta_i = m'_2 = m_2$ .

Une CN pour que ceci soit possible est obtenue en sommant les inégalités :  $0 \leq n_1 + n_2 \leq n$  donc  $m_2 \leq n$ .

Réciproquement, si  $m'_2 = m_2 \leq n$  on prend  $n_1 = \inf(m_1, m_2)$ .

Si  $n_1 = m_2$ , le couple  $(n_1, n_2) = (m_2, 0)$  permet de trouver un équilibre où  $\sum_{i=1}^{m_1} \beta_i = n_1$  et  $\sum_{i=m_1+1}^n \beta_i = n_2$  (par exemple, les  $n_1$  premières entreprises historiques entrent et pas les autres entreprises historiques, et les  $n_2$  premières entreprises on présentes sur le marché 1 entrent et pas les autres).

Enfin si  $\inf(m_1, m_2) \neq m_2$ , le couple  $(n_1, n_2) = (m_1, m_2 - m_1)$  convient.

La condition  $m'_2 = m_2 \leq n$  est une CNS pour avoir un équilibre où  $\sum_{i=1}^n \beta_i = m_2$  et  $\sum_{i=1}^{m_1} \beta_i = n_1$  avec  $0 \leq n_1 \leq m_1$  et  $\sum_{i=m_1+1}^n \beta_i = n_2$  avec  $0 \leq n_2 \leq n - m_1$ .

Cas  $m_2 \leq n$   $\sum_{i=1}^n \beta_i = m_2$   $m_2 = m'_2$

Cas  $n < m_2$   $(\forall j, \beta_j = 1)$   $n$

3)  $m_2 > m'_2$  : ce cas se déduit directement de 1) par symétrie.

Cas  $m_2 \leq m_1$   $\sum_{i=1}^{m_1} \beta_i = m_2$  et  $(\forall j > m_1, \beta_j = 0)$   $m_2$

Cas  $m'_2 < m_1 < m_2$   $\beta_j = 1$  ssi  $j \leq m_1$   $m_1$

Cas  $m_1 \leq m'_2 \leq n$   $(\forall j \leq m_1, \beta_j = 1)$  et  $\sum_{i=m_1+1}^n \beta_i = m'_2 - m_1$   $m'_2$

Cas  $n < m'_2$   $(\forall j, \beta_j = 1)$   $n$

Remarque :

Les CNS des deux premiers cas impliquent la condition  $m'_2 \leq n$ . On n'a donc pas alourdi leur écriture avec cette condition tautologique, mais les 4 sous-cas constituent bien une partition des cas possibles.

Le modèle adopté fournit des équilibres avec une forte ségrégation.





## Chapitre IV

### Evolution de la gouvernance du transport multimodal de marchandises

#### Introduction :

La théorie économique classique présente les choix stratégiques des acteurs économiques comme le résultat d'un problème d'optimisation faisant intervenir :

- l'impact global qui serait ressenti par l'acteur considéré dans chaque « état de la nature » futur (situation finale en termes de revenu, de biens consommés, ...), qui dépend des caractéristiques de l'acteur, résumées par une fonction d'utilité
- les probabilités de réalisation des divers états de la nature, qui dépendent des croyances de l'acteur considéré
- les stratégies accessibles à l'acteur, et aux autres acteurs
- des capacités (calculatoires) d'optimisation faisant intervenir des hypothèses fortes de rationalité, d'anticipation et de cohérence
- l'information disponible pour l'acteur, qui va influencer sur la liste des états de la nature qu'il considère et sur leurs caractéristiques estimées, ainsi que sur ses croyances.

Dans ce cadre formel, l'action publique peut intervenir à de multiples niveaux :

- au niveau de certaines estimations monétaires entrant dans la fonction d'utilité (niveaux de coût, de prix, notamment à travers des subventions ou taxations)
- au niveau des stratégies accessibles à l'acteur (cadre légal et réglementaire : obligations, interdictions) ou au niveau des conséquences liées à l'utilisation de telle ou telle stratégie (sanctions, pénalités)
- au niveau de l'information rendue disponible à l'acteur, directement ou indirectement, de façon volontaire ou non. Cela peut influencer notamment sur la représentation que se fait l'acteur des situations de risque en jeu dans ses décisions. Le caractère public de ces informations fait que certains types d'information peuvent dans certains cas devenir des informations de référence partagées par les acteurs, créant les bases pour un certain type de coordination entre ces acteurs
- au niveau des modalités de coordination entre acteurs (règles, interdiction ou facilitation)
- plus rarement, au niveau de la modification des états de la nature futurs (création volontariste de biens ou services nouveaux, par exemple).

De façon pratique, l'action publique évolue avec la définition du rôle de la sphère publique. Elle tend à muter progressivement d'une logique d'intervention directe (action sur des niveaux de coût, de prix, fourniture de services, ...) vers une logique d'intervention indirecte, voire de régulation indirecte ou même, à l'extrême, de non-intervention.

Dans le secteur des transports, si l'on considère l'évolution depuis la seconde guerre mondiale<sup>1</sup>, nous sommes passés d'une logique d'intervention prépondérante de l'Etat central (tarification, monopoles publics, autorisation, quotas, ...) à une logique d'intervention plus indirecte et de régulation, notamment sous l'influence de l'ouverture à la concurrence impulsée au niveau communautaire.

Cependant, il semble que, d'une part, les schémas conceptuels de l'Etat ont encore besoin d'évoluer pour représenter de façon adéquate le contexte complexe dans lequel il est amené à agir en tant que régulateur et que, d'autre part, le niveau d'information de l'Etat sur les caractéristiques et les paramètres en jeu ait évolué dans le sens d'un appauvrissement, peu ou non compensé par l'apparition de nouvelles sources d'information. Concrètement, estimer l'impact final sur les prix d'une intervention de régulation s'avère autrement plus difficile que pour une intervention directe sur les prix, et un opérateur public de transport dispose d'une connaissance de la demande, qualitative et quantitative, que ne peut plus avoir un intervenant public indirect.

Les modélisations économiques implicites dans les actions de l'Etat paraissent toujours fortement marquées par une vision « mécaniste » dans laquelle, de façon archétypale, une courbe d'offre et de demande se croisent, avec prise en compte d'élasticités-prix par exemple. Pour les évolutions sur le moyen et le long terme, les approches économétriques demeurent largement prépondérantes, avec en quelque sorte reconduction sur le long terme des influences marginales moyennes des divers facteurs pris en compte dans l'analyse, telles qu'elles ont pu être observées dans un passé plus ou moins lointain.

Pour le transport multimodal de marchandises, il semble que le sentiment politique et social, tel qu'il est exprimé, soit que laisser libre cours aux décisions des acteurs individuels, sans chercher à les orienter, amène à un sous-développement et à une sous-utilisation des modes alternatifs à la route, avec des conséquences négatives du point de vue environnemental, et économique globalement (congestion, effet de serre, ..). Si l'on accepte ce présumé, il est important d'examiner les mécanismes, individuels et collectifs, par lesquels des acteurs économiques pourraient être amenés à prendre des décisions n'allant pas dans le sens de l'intérêt général. Le but du présent travail consiste à tenter d'apporter quelques éclairages sur ce sujet.

Le repositionnement de l'action publique suppose l'apparition ou du moins la conception de nouvelles formes d'action publique, ou la relecture d'anciennes formes d'action. C'est pourquoi le présent chapitre traitera de certaines de ces nouvelles formes : l'évolution récente de la politique nationale de subvention du transport rail-route, le concept d'autoroutes de la mer, l'utilisation de types de concession novateurs, le principe de création d'une agence en charge des infrastructures de transport.

Intervenir de façon efficace suppose également, non seulement de mieux comprendre comment fonctionne le système complexe sur lequel il faut intervenir, mais également de gérer en parallèle (ou plutôt en synergie) l'obtention des informations nécessaires à l'éclairage de l'action publique, l'amélioration des connaissances théoriques et pratiques sur ce système, et le dispositif d'action et d'évaluation publiques. Cette dernière partie s'appuiera sur un parallèle établi avec diverses autres problématiques complexes relatives aux transports.

---

<sup>1</sup> Sur de plus longues périodes historiques, la répartition entre fourniture privée de services de transport et fourniture publique a évolué dans un sens ou dans l'autre, en fonction notamment de la force relative de l'Etat central et de ses motivations, redistributives ou politiques.

Contrairement aux deux chapitres précédents, ce dernier chapitre présente des réflexions beaucoup plus qualitatives et très peu formalisées du point de vue mathématique. Il s'agit de mener des analyses sur un champ très appliqué, sans faire appel directement à des modèles formalisés mathématiquement mais en utilisant les concepts et enseignements théoriques à un niveau plus qualitatif et global.

## **1 La politique de subvention du transport rail-route en France**

Avant de considérer la politique publique de subvention à l'exploitation du transport rail-route en France, il convient de la replacer au sein des diverses mesures d'aide directe au transport rail-route.

### ***1.1 Les aides à l'infrastructure :***

Au niveau national, outre les contributions publiques à la réalisation de terminaux rail-route ou de terminaux multimodaux portuaires au cas par cas, il faut mentionner la tarification de l'infrastructure ferroviaire. Le barème RFF distingue les trains de fret dans une catégorie de niveau de tarif relativement faible. Cela est en partie justifié par des considérations de coût, ou de capacité contributive (un train TGV coûte plus en termes d'infrastructure et a une capacité contributive supérieure, par exemple), mais on peut considérer que RFF pratique, en phase avec l'Etat, une tarification relativement favorable au fret.

### ***1.2 Les aides spécifiques aux transporteurs routiers :***

La réduction de la taxe à l'essieu (75%) pour les poids lourds dédiés au transport rail-route constitue une incitation fiscale. Une aide réglementaire existe également : l'autorisation d'un poids total autorisé en charge supérieur (jusqu'à 44 tonnes) pour les poids lourds faisant du rail-route (sous certaines limitations, notamment de distance d'acheminement terminal). Cette mesure a enfin été récemment étendue à d'autres formes de transport combiné et de desserte portuaire.

### ***1.3 Les aides à l'innovation et l'incitation à l'accès aux techniques rail-route :***

Une famille d'aides directes est principalement portée par l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et vise à faciliter l'accès au transport rail-route par ses utilisateurs potentiels. Un premier volet concerne l'aide financière pour la réalisation d'études de faisabilité pour le compte de transporteurs ou de chargeurs (50% du coût des études plafonné à 75.000 euros). L'aide à l'innovation et à l'investissement innovant est également concernée avec les aides aux opérations de transfert modal (premières applications opérationnelles en vraie grandeur de nouvelles technologies, de nouveaux procédés ou systèmes innovants et économes issus de la R&D ou transférés vers un nouveau secteur). Il est précisé par l'ADEME que « certaines opérations correspondant à une première application de technologies nouvelles (route roulante, transport combiné route - fluvial ) pourront être aidées au titre des opérations de démonstration afin de couvrir une partie des risques et souvent une partie d'un surcoût d'investissements inhérent à ce type d'opération ».

Une aide à l'investissement existe également pour l'acquisition de matériels spécifiques à la technique rail-route, et s'adresse tant aux transporteurs qu'aux loueurs ou aux opérateurs. Cette aide à l'investissement a vu ses modalités élargies suite à une évaluation des aides au transport combiné rail-route, menée par le Conseil National de l'Evaluation (CNE) en 2002.

Parmi ces modalités élargies, outre une ouverture à l'ensemble des modes de financement de l'investissement<sup>2</sup>, a été introduite une progressivité du taux de subvention selon que l'entreprise concernée entrerait pour la première fois dans la technique rail-route, ou développait son implication dans cette technique (25 % du montant de l'investissement si le bénéficiaire accède à la technique, 20 % s'il en développe l'utilisation). Dans le même but d'élargir la base des entreprises entrant dans le rail-route, et en particulier les PME, un plafonnement de l'aide a été introduit (1.000.000 d'euros H.T.). Des contreparties à l'aide ont été imposées, avec l'apparition d'engagements du chargeur sur les trafics attendus, et une relation directe entre le montant de l'aide et l'impact en matière de coûts externes a été introduite, avec une limitation à 100 € par tonne de carbone évitée sur 5 ans. Il faut noter que les aides de l'ADEME pour l'équipement en matériel de transport combiné rail-route ne sont pas les seules : il existe des aides régionales dans une bonne partie de la France.

Enfin, les effets d'entraînement entre acteurs économiques, liés à la réalisation réussie d'une initiative de transfert modal, sont également pris en compte à travers une aide pour des « opérations exemplaires de transfert modal » ayant pour objectif de « créer rapidement des références nationales et régionales dans le domaine de la maîtrise de l'énergie et du développement durable, avec le souci d'engendrer un réel effet d'entraînement ». Là aussi, les acteurs visés ne sont pas trop restreints a priori, et comprennent tant les transporteurs que les opérateurs de transport combiné ou que les chargeurs. Par référence au chapitre II, on voit que, si les précédentes aides visaient surtout à réduire le coût d'investissement (paramètre T du chapitre II) lié à une décision préparatoire (études de faisabilité) ou opérationnelle, cette dernière aide vise également une action sur les anticipations des acteurs, notamment l'évaluation du taux de risque par les acteurs.

#### *1.4 Les aides à l'exploitation*

Des aides au lancement de nouveaux services de transports multimodaux existent au niveau communautaire (programme PACT, remplacé depuis par le programme Marco Polo). La France a développé un programme sur les mêmes principes que la Commission, qui peut couvrir par exemple le lancement de nouvelles lignes de cabotage maritime, ou de desserte fluviale. Nous sommes là dans le cadre de projets déterminés. Venons en maintenant, après ce rapide panorama, aux aides courantes à l'exploitation de services rail-route.

A côté de ces dispositifs, les aides portées directement au nom de la politique nationale des transports consistent en une subvention à l'exploitation du transport rail-route. Initialement, cette aide se concrétisait par un montant global affecté au prestataire de traction ferroviaire, la SNCF, de l'ordre d'une trentaine de millions d'euros en 2001. Le rapport de la CNE de 2002, ainsi que diverses critiques émises au niveau communautaire, ont pointé du doigt le caractère peu incitatif de ce mode de subvention : son montant forfaitaire, sans réelle contrepartie formalisée, l'absence de retour d'information sur l'utilisation faite de ce montant et le principe d'affectation au tractionnaire ferroviaire plutôt qu'à l'opérateur de transport combiné.

---

<sup>2</sup> Initialement, seul le financement en crédit-bail était admis.



Une première tentative de remodelage de cette subvention, sous une forme plus incitative, s'est avérée trop artificielle<sup>3</sup>. Les réflexions internes au ministère de l'Équipement, un peu antérieures aux travaux CNE, allaient dans le même sens d'un changement de système. Depuis 2003, la subvention à la SNCF a disparu au profit d'un versement aux opérateurs de transport combiné. On peut tout d'abord examiner cette mesure dans son principe.

Il est clair que le système d'aide initial cumulait un grand nombre de défauts rédhibitoires quant à la réduction de l'asymétrie d'information et à l'absence de pouvoir incitatif. En outre, même à supposer que le destinataire de l'aide, bien qu'étant en outre en situation de monopole, utilisait cette aide pour optimiser le développement du transport rail-route, sans chercher à privilégier son seul intérêt propre en tant que tractionnaire, on peut se demander comment il pouvait réaliser cette optimisation en pratique, sans connaître directement les besoins des clients et leur évolution. Un argument avancé par le CNE était qu'un opérateur de transport combiné, dans la mesure où il assure l'interface commerciale directe avec les clients, était mieux à même d'affecter l'aide là où l'impact sur les trafics pouvait être plus important. Cela rejoint les réflexions du chapitre II sur les limitations d'une subvention « aveugle », qui crée des effets d'aubaine, avec déperdition importante de l'aide.

Ces quelques réflexions confirment bien l'intérêt théorique du changement de type d'aide. Voyons maintenant les modalités pratiques de réalisation. Le CNE avait anticipé des problèmes éventuels d'application, en notant que « il conviendrait que l'augmentation corrélative des coûts de traction (par la SNCF) soit au plus équivalente à la perte de subvention subie ». En pratique, quand on essaie de reconstituer indirectement des ordres de grandeur, on se rend compte que, comptablement, les surcoûts tarifaires de la SNCF pour Novatrans ont été du même ordre que la subvention (très tardivement) versée à Novatrans. Mais cet aspect comptable cache une réalité plus nuancée. En effet, il faut prendre en compte la disparition de certaines dessertes, devenues impossibles à maintenir en raison des augmentations de tarif SNCF. Il est logique que, si les efforts étaient initialement à peu près équitablement répartis entre Novatrans et SNCF, la SNCF cherche à remonter ses tarifs là justement où l'opérateur de transport rail-route avait déjà du mal à trouver l'équilibre financier. Cette corrélation au niveau local a entraîné des pertes de trafic conséquentes, de l'ordre de 15%. Ces suppressions de service font que la base de calcul a évolué. A première vue, la fermeture de lignes globalement non rentables assainit la situation d'un point de vue économique. Mais dans la mesure où certains services sont corrélés entre eux, cela peut entraîner des effets de domino en fragilisant d'autres services. On peut supposer cependant que l'opérateur rail-route, bien au fait de ces corrélations, optimise ses décisions tarifaires et commerciales en conséquence.

Mais divers autres facteurs sont venus se conjuguer avec le changement de logique de subvention : la remise à plat du service fret SNCF avec le plan Fret SNCF, qui a conduit à des évolutions tarifaires et commerciales allant résolument dans le sens d'un recentrage vers les trafics les plus rémunérateurs, afin de parvenir à terme à un équilibre financier de l'activité fret. La tarification de l'infrastructure a augmenté elle aussi. Un autre événement s'est produit avec la poursuite de la forte diminution des crédits destinés à la subvention transport combiné par rapport au début des années 2000. La situation est à ce point tendue que même la Fédération National des Transports Routiers s'est insurgée contre ces évolutions. Selon Novatrans, la hausse des tarifs SNCF et RFF a été de 14% en 2001, après 10% en 2003.

<sup>3</sup> Un terme variable en fonction des niveaux de trafic atteints pour le rail-route a été transitoirement introduit, mais les modalités de calage de l'enveloppe globale faisaient qu'en pratique le dispositif continuait à fonctionner comme un forfait plutôt que comme une aide réellement incitative.

Globalement, la combinaison de ces multiples effets de ciseau a conduit à une situation intenable, avec des diminutions de trafic importantes et des déficits aggravés du côté des opérateurs, qui ont pu déclarer « le transport combiné est en train de mourir en France ». Vu par les clients, le cumul de ces évolutions, qui vont toutes dans le même sens, n'est pas de nature à rassurer sur les intentions de la puissance publique et sur la crédibilité de son soutien pourtant affiché au développement du multimodal, doutes auxquels s'ajoute l'accroissement de la fragilité des opérateurs. Le doute est si profondément ancré dans les esprits qu'une revue spécialisée a pu titrer, de façon assez cavalière : « Promotion des modes alternatifs : l'Etat veut convaincre ».

Au-delà d'une restructuration probablement nécessaire, pour redémarrer et développer les trafics sur des bases plus saines, c'est l'impact sur la perception des risques et l'alignement des anticipations sur des bases très pessimistes qui posent un véritable problème, tant on a vu que les dynamiques d'évolution dépendaient largement de ces facteurs. Faute d'une lisibilité et d'une continuité sur le moyen et le long terme, en raison notamment des interférences entre les diverses politiques de l'Etat, on voit mal comment ce passif d'image pourrait être remonté, à moins de s'engager dans une démarche très volontariste et crédible comme cela est le cas en Suisse, ou de rebâtir une image sur un noyau de trafic, avec des gages de performance et de qualité retrouvées. Mais dans cette dernière hypothèse, des objectifs quantitatifs conséquents de report de trafic depuis la route risquent de ne pas être atteints avant longtemps.

## **2 Les autoroutes de la mer**

Le terme « autoroutes de la mer » peut surprendre à première vue. Au-delà des motivations de marketing qui ont pu présider à l'élaboration de ce terme, il s'agit explicitement de transposer le modèle autoroutier dans le contexte maritime. Cette transposition se décline sous l'angle de l'attractivité du produit offert, mais aussi sous l'angle du modèle de développement adopté, la capacité d'engagement initial des acteurs publics étant supposée générer ou faciliter une dynamique de succès.

Nous ne jugerons pas ici de l'opportunité de créer des autoroutes de la mer. Il s'agit de prendre ce concept comme objet d'étude, pour l'examiner plus en détail dans ses aspects stratégiques et relativement au rôle de la puissance publique

### *2.1 Transposer le modèle autoroutier en maritime ?*

#### **2.1.1 Une transposition en termes de fonction et de niveau de service, tout d'abord**

Il s'agit de créer des services réguliers de navires pour le transport de véhicules routiers, conjuguant rapidité, fréquence élevée, importance des capacités offertes et haut niveau de service. Ce type de service vise à assurer une alternative réelle à l'utilisation de corridors autoroutiers plus ou moins saturés, avec des trafics d'un ordre de grandeur approchant celui des trafics autoroutiers longue distance, ne se limitant pas à quelques pour mille de ce trafic.

On peut considérer dans ce sens qu'une autoroute de la mer est simplement conçue comme un produit nouveau, de haut niveau de qualité, utilisant certes des techniques et inputs relevant du mode maritime, mais qui s'adresse au même type de clientèle que l'autoroute terrestre<sup>4</sup>, pour les longs trajets sur un axe donné.

### **2.1.2 Mais la transposition du concept autoroutier au mode maritime peut également être interprétée au niveau du modèle économique de développement**

Le réseau autoroutier a été développé avec une implication très forte de l'Etat et des collectivités publiques, l'Etat supportant initialement l'essentiel du risque et, directement ou indirectement, des investissements très importants qui étaient nécessaires à la création d'un réseau autoroutier. Cette forte implication a très fortement favorisé le succès du mode routier, à travers l'alignement des anticipations et des stratégies des transporteurs, chargeurs et autres acteurs du transport, vers une évolution très positive du mode routier, cristallisée autour de l'engagement de l'Etat.

La crédibilité de cet engagement a dépendu de l'importance des moyens consacrés à cette politique d'investissement et de la continuité de cet effort, renforcée par des engagements sur le moyen et le long terme, concrétisés progressivement à travers le contenu des contrats de plan Etat-région et les schémas directeurs de développement du réseau (auto)routier. Elle a aussi dépendu de la cohérence avec les autres politiques de l'Etat, notamment vis-à-vis du développement du transport routier (fiscalité, déréglementation et ouverture à la concurrence, ...), et l'existence d'un lobby routier puissant a joué un rôle essentiel. Mais pour en revenir à l'engagement en termes d'investissements, il est clair qu'une infrastructure localisée, que l'on ne peut déplacer et qu'il serait très coûteux de supprimer, constitue une preuve d'engagement fort de la part de l'Etat.

Ce modèle a fonctionné à tel point que le mode routier est devenu la référence centrale et que l'Etat a pu progressivement transférer le risque lié au développement autoroutier et diminuer sa participation financière (suppression de la garantie d'Etat sur les emprunts des concessionnaires, y compris pour les concessions anciennes). Il a cependant fallu pour cela plusieurs décennies.

De façon plus concrète, les investissements nécessaires à une « autoroute de la mer » portent surtout sur les navires, très coûteux<sup>5</sup>, au-delà des adaptations des infrastructures portuaires. Pour les défenseurs de ce concept, les navires sont à considérer comme une infrastructure, certes mobile, représentant une capacité de transport installée qu'un acteur purement privé, soucieux de rentabilité à court et moyen terme, et peu enclin à prendre un risque important, ne serait pas susceptible de fournir, alors même qu'elle offrirait une alternative partielle à la réalisation d'infrastructures autoroutières supplémentaires. Le terme « infrastructure » est ainsi justifié par un argument de substituabilité à des développements d'infrastructures terrestres, et à travers le rôle classique de la puissance publique dans des investissements à forte utilité collective.

<sup>4</sup> Plus précisément, elle s'adresse à la part de trafic longue distance écoulée par l'autoroute terrestre, qui est à distinguer des trafics intermédiaires routiers permis par les inter-distances relativement courtes entre échangeurs autoroutiers.

<sup>5</sup> De l'ordre de 30 millions d'euros par unité (rapport du sénateur De Richemont sur le pavillon maritime français et sur le cabotage – 2003), soit le coût de plusieurs kilomètres d'autoroute.

## 2.2 *Comment peut s'analyser ce type d'intervention de la puissance publique à travers les cadres théoriques des chapitres précédents ?*

### 2.2.1 Reprenons tout d'abord l'angle « produit de type autoroutier »

Les modalités de concurrence entre autoroutes terrestre et maritime peuvent dans un premier temps être vues comme qualitativement similaires à celles observées entre itinéraires routiers alternatifs. Pour ces derniers, la décision d'itinéraire relève essentiellement du transporteur routier, par opposition à la concurrence entre route et rail conventionnel<sup>6</sup>.

Il faut tout d'abord noter que le produit « autoroute de la mer » peut se décliner en transport accompagné (le même chauffeur dépose le véhicule et le récupère à l'extrémité du trajet maritime) ou en transport non accompagné. L'organisation du service routier est bien différente dans les deux cas, et seul le premier cas est strictement similaire à un trajet autoroutier, encore qu'il ne soit pas totalement neutre pour le transporteur routier. On voit que les caractéristiques et l'adaptabilité des transporteurs routiers conditionneront les chances de succès respectives des deux types de déclinaison du produit. Commercialement parlant, l'idéal serait de laisser totalement ouvertes les deux options d'utilisation de l'autoroute de la mer afin de viser un marché potentiel plus large. On peut imaginer également que la montée en charge du service se fasse principalement transport accompagné, les clients réguliers pouvant dans un second temps adapter leur organisation et passer en non accompagné. Il faut cependant noter que la conception technique du navire et des terminaux mer/route s'optimise différemment selon que l'on s'adresse au transport accompagné ou au non accompagné.

Pour les transporteurs routiers, l'ampleur des trafics visés par l'autoroute de la mer peut donner de meilleures assurances d'obtenir des frets de retour, ou de trouver des partenaires pour assurer les échanges terminaux à l'extrémité de la ligne, si le transporteur n'est pas lui-même présent aux deux extrémités. La haute fréquence de desserte, si elle diminue les temps d'attente<sup>7</sup>, peut diminuer les coûts d'utilisation du service pour le transporteur routier. Ce dernier est confronté à une augmentation durable de ses coûts de revient routiers, alors que la pression sur les prix de vente est très forte : il peut éventuellement tenter d'utiliser le service maritime dans la mesure où celui-ci, par sa structure de coûts et ses économies d'échelle, a plus de chances de présenter un profil de diminution de coûts de revient, ou d'augmentation plus modérée. Le champ des transporteurs routiers potentiellement intéressés est donc susceptible d'être élargi par un simple effet de rendements croissants.

En ce qui concerne les coûts salariaux, l'avantage potentiel est patent en transport non accompagné, mais il existe en accompagné également, si le temps passé à bord du navire par le chauffeur fait partie de ses temps de repos.

L'avantage du recours à l'autoroute de la mer pour le transporteur routier pourrait éventuellement être renforcé si l'autoroute de la mer facilitait les coordinations, en offrant par exemple une plate-forme d'échange d'informations (mise en relation de partenaires potentiels).<sup>8</sup>

<sup>6</sup> Cette dernière implique des concurrences entre circuits logistiques et suppose des adaptations coordonnées au niveau des chargeurs, logisticiens et intermédiaires de transport. La décision ne relève pas du seul transporteur.

<sup>7</sup> Les conditions d'accueil des poids lourds sur le port sont critiques à cet égard : accès routiers terminaux, zones de stockage de véhicules et/ou de remorques, rapidité du traitement des poids lourds, généralisation du pré-traitement et de l'information en temps réel sur le site avec l'utilisation de nouvelles technologies

<sup>8</sup> Un tel outil peut viser la facilitation du transport non accompagné, ou la coopération commerciale que ce soit en transport accompagné ou non. Aller plus loin en imaginant, par exemple, une sorte de bourse de fret,

L'existence d'une interface commerciale et technique unique (point d'accueil portuaire, avec information et traitement documentaire complet et rapide) augmenterait également la facilité d'accès au service multimodal pour le transporteur routier et pour le conducteur.

Le positionnement du produit autoroute de la mer peut-il se faire exclusivement autour du client « transporteur routier » ? En pratique, la différence de niveau de service entre le trajet routier direct et l'itinéraire mer/route demeurera généralement assez importante, en termes de temps de transport, notamment. Nécessairement, cette différence devra rester compatible avec les besoins des chargeurs ou intermédiaires de transport, donneurs d'ordre du transport routier, et elle pourra le cas échéant impliquer une acceptation de leur part. Cette acceptation peut être imposée également en raison du développement de la traçabilité des transports, qui assure une information très précise du client final sur les conditions de réalisation de son transport

A l'extrême, dans le cas où l'acceptation du donneur d'ordre du transporteur routier est requise pour l'utilisation de l'autoroute de la mer, elle peut passer par la captation du surplus par ce donneur d'ordre, en raison du faible poids stratégique du transporteur routier. Ce dernier n'aura alors pas de motivation particulière à tenter de changer ses façons de travailler. Sa motivation serait d'autant plus faible que, en raison de ce rapport de forces défavorable, il serait conduit à supporter la charge des aléas supplémentaires relatifs à la partie maritime et à son interface avec le terrestre (temps d'attente divers, par exemple). C'est également pour ce type de raisons qu'il est important que l'autoroute de la mer soit la plus homogène possible avec le niveau de service autoroutier, afin de se placer dans la zone étroite de « marge de manœuvre » du transporteur routier.

Cependant la question de la répartition des surplus entre acteurs du transport demeure essentielle, et il est clair que l'autoroute de la mer ne pourrait pas, en tant que telle, modifier fondamentalement le rapport de forces entre acteurs du transport. De façon plus réaliste, l'intérêt du produit « autoroute de la mer » pour un transporteur peut être de lui faciliter l'accès à des niches de trafic potentielles dans lesquelles il pourrait, au moins de façon transitoire, avoir un poids stratégique suffisant ou une asymétrie d'information suffisante pour conserver une partie du surplus dégagé par le recours à l'autoroute de la mer.

### **2.2.2 Abordons maintenant l'angle « développement de type autoroutier »**

Du point de vue de l'utilisateur potentiel du service d'une autoroute de la mer, la forte implication de la puissance publique<sup>9</sup> améliore considérablement la crédibilité du service, par opposition aux expériences classiques de services maritimes nouveaux qui peuvent s'arrêter du jour au lendemain, après quelques années d'existence ou après quelques jours. Le simple fait d'avoir des navires en propriété et non en location est important à cet égard. Le risque ressenti sur la pérennité du service est nettement diminué. Les fréquences de service importantes diminuent le coût à supporter en cas de dysfonctionnement ou en cas de réalisation des aléas opérationnels du service (manquer un départ n'est pas trop grave si on attend peu le départ suivant).

---

mériterait d'être examiné mais avec précaution : divers risques pourraient y être amplifiés, tels les risques de déstabilisation de coopérations entre transporteurs, ou de pression trop forte sur les prix, avec ses incidences (qualité globale de la chaîne, menace de contre-réaction concurrentielle de l'alternative routière « intégrale »).

<sup>9</sup> Une implication forte d'acteurs privés associés au projet renforcerait encore cette crédibilité, en confirmant le fait que la prise de risque est « raisonnable », étant acceptée par des professionnels indépendants.

Une orientation politique déterminée laisse également supposer des mesures incitatives complémentaires, directes et indirectes, rendant les autres termes du choix plus favorables pour le recours à cette solution de transport.

Reste la crédibilité opérationnelle et commerciale du service, qui peut être traitée par exemple par l'appel à un opérateur maritime au professionnalisme reconnu, et par diverses mesures comme la création d'une interface commerciale unique, couvrant l'ensemble des volets maritime et portuaire. Une telle interface serait moins difficile à créer sous l'égide de la puissance publique, organisatrice, que quand l'initiative du service vient uniquement d'un armateur, par exemple.

Vu du côté de l'opérateur maritime potentiel, l'engagement public fort le soulage de l'essentiel du risque en capital, lui donne une bonne lisibilité sur les investissements résiduels qu'il aurait lui-même à consentir et favorisent l'adoption de stratégies commerciales compatibles avec un développement pérenne des trafics<sup>10</sup>.

En ce qui concerne les intermédiaires de transport, le positionnement de l'autoroute de la mer comme alternative pérenne et reconnue à la solution « tout route » est plus crédible que celui d'un prestataire purement privé qui viserait une rentabilité plus immédiate et serait plus susceptible de renoncer brusquement à assurer le service. La crédibilité accrue du service auprès des clients de l'intermédiaire diminue également la prise de risque ressentie par l'intermédiaire, par ricochet.

En outre, dans le jeu concurrentiel entre intermédiaires, le choix à effectuer entre route et autoroute de la mer s'exprime moins naturellement en termes de choix exclusif entre deux solutions de transport, que comme un arbitrage sur le niveau de répartition entre les deux solutions. Dans la mesure où aucun délai n'est prédéterminé pour la fin du soutien public au projet (engagement de moyen / long terme), le problème de l'étape-clef correspondant à une date butoir de viabilité du service<sup>11</sup> disparaît ou s'atténue très fortement, avec sa prime de risque et avec les possibilités d'action stratégique négatives qui lui sont liées.

De plus, le rôle central joué par la puissance publique, propriétaire des navires et régulateur du service, peut paraître diminuer le risque de voir l'opérateur multimodal acquérir plus de pouvoir au sein de la chaîne ou intégrer de nouvelles fonctions, directement pour le compte du client final, concurrençant ainsi l'intermédiaire de transport dans la captation des surplus, voire s'y substituant.<sup>12</sup>

### *2.3 Des limites au parallèle avec la référence autoroutière*

En définitive, en jouant à la fois sur la qualité du produit et sur un mode de développement volontariste, le concept d'autoroute de la mer vise à positionner le nouveau service directement comme une seconde référence, pleinement alternative à la référence routière, par opposition au service multimodal classique.

<sup>10</sup> Plutôt que se concentrer sur un noyau de trafic compatible avec un investissement à minima, l'opérateur a tout de suite la possibilité de viser une échelle supérieure.

<sup>11</sup> cf. chapitre III, notamment au 2.7. et au 3.3.

<sup>12</sup> L'association éventuelle d'acteurs privés au cœur du projet devrait tenir compte de ces considérations.

Malgré les multiples points évoqués ci-dessus, il est clair que la comparaison avec le modèle de développement autoroutier reste limitée : le niveau d'engagement de la puissance publique est d'un ordre de grandeur financier bien moins élevé, la durée de vie de l'investissement en navires, donc l'échelle de temps de l'engagement, sont moins longues. Le caractère intrinsèquement mobile de l'investissement en navires, ainsi que l'existence de marchés extérieurs sur lesquels les navires peuvent être loués ou revendus, atténuent également la force de l'engagement pris par la puissance publique.<sup>13</sup>

Certes, il serait possible de réaliser, dans une certaine mesure, des navires très spécifiques aux liaisons desservies au titre de l'autoroute de la mer considérée, ce qui renforcerait l'engagement pris. Mais cela générerait des surcoûts à la construction et augmenterait en parallèle la prise de risque du nouveau service (diminution de la flexibilité à l'évolution de la demande), ce qui pourrait dégrader les anticipations sur le succès commercial du service.

Par ailleurs, les effets de réseau, importants dans le contexte autoroutier, sont par nature très réduits pour les autoroutes de la mer, qui se connectent aux marges des territoires, dans une logique de desserte linéaire plutôt que de maillage. L'existence de connexions performantes au réseau autoroutier est, par contre, un élément nécessaire au succès d'une autoroute de la mer. Il faut également noter que, si les autoroutes de la mer s'adressent a priori au seul trafic de marchandises de longue distance sur un axe, les autoroutes terrestres bénéficient d'un marché beaucoup plus large (voyageurs et courte distance). L'expérience de la ligne maritime mixte Toulon-Civitavecchia va permettre de tester un positionnement commercial visant à la fois marchandises et voyageurs.

L'analyse du 2. a également montré que le produit « autoroute de la mer » devait être pensé, non pas uniquement comme un service de transport maritime massifié, mais comme un service logistique plus global. Pour tenter à nouveau une comparaison, l'utilisation des autoroutes terrestres nécessitait des échangeurs bien implantés, des connexions routières correctes, des aires de service pour le carburant et pour le repos des chauffeurs. Une autoroute de la mer, pensée en termes de service, doit bien entendu assurer les services d'interfaçage physique mer/route (accueil des poids lourds) mais aussi les services immatériels, notamment d'information, et faciliter l'accès à ses services afin d'élargir sa base de clientèle (mise en relation de prestataires routiers, par exemple). Une difficulté supplémentaire pour l'autoroute de la mer tient à ce que, en s'impliquant plus avant sur le plan immatériel et logistique, elle peut donner l'impression d'entrer en concurrence avec certains de ses clients. En outre, comme on l'a vu précédemment, son produit n'étant pas entièrement substituable au produit routier, son utilisation nécessitera très souvent une adaptation du transporteur routier (surtout dans le cas du transport non accompagné).

Au-delà des limites qui viennent d'être évoquées, ce concept d'autoroutes de la mer peut souffrir d'un certain nombre de problèmes. Outre la difficulté pratique à mobiliser des moyens publics importants pour une intervention directe dans le service de transport, on peut imaginer par exemple que :

- certains clients (chargeurs ou intermédiaires) tentent de jouer stratégiquement de l'existence d'une alternative au trajet routier compétitive, pour faire pression sur les prix routiers<sup>14</sup> sans trop de considération sur les conséquences environnementales, sociales et sécuritaires de cette attitude

<sup>13</sup> Mais cela facilite l'association éventuelle d'un armateur privé au montage du projet.

<sup>14</sup> Cela a déjà été observé pour certains services multimodaux, notamment sur le corridor Marseille-Lyon

- l'existence d'un service attractif, appréciable en termes de trafic écoulé en rapport avec les trafics routiers longue distance, contribue à alimenter une guerre des prix entre transporteurs routiers<sup>15</sup>
- l'opérateur maritime, ne prenant pas part ou prenant faiblement part au risque d'investissement, ait tendance à pousser la puissance publique à des prises de risque trop importantes à travers des surinvestissements.

On voit que l'autoroute de la mer devrait se positionner concurrentiellement de façon fine : suffisamment fortement pour offrir une alternative crédible, mais pas trop, de façon à limiter de risque de réactions du côté de l'offre routière, qui continue à disposer d'un potentiel d'évolution important. Il apparaît également que des actions complémentaires de la puissance publique, destinées à limiter certains effets réactifs tels ceux évoqués ici, seraient nécessaires pour valoriser l'effort public consenti sur les autoroutes de la mer, et augmenter leurs chances de succès pérenne.

Par ailleurs, il faut noter que pour conduire des réflexions plus approfondies et plus appliquées que celles qui sont menées ici, il conviendrait de prendre en compte l'existence de projets de nature très similaires, à savoir le concept d'autoroute ferroviaire, en particulier celui construit autour de l'axe « Atlantique Eco Fret ».

### **3 Externalisation d'investissements en infrastructures de transport**

La création de l'AFITF (agence de financement des infrastructures de transport de France) a été annoncée comme un moyen innovant pour augmenter les financements consacrés aux infrastructures de transport et plus particulièrement pour les infrastructures des modes alternatifs à la route. Il peut donc être intéressant d'analyser, à l'aide du cadre général du modèle principal-agent et de la théorie des incitations, quels rôles pourraient être dévolus « dans l'absolu » à une agence chargée des investissements pour les transports, et quels progrès pourraient en être attendus, afin de pouvoir replacer l'AFITF dans ce contexte. Les développements qui suivent ont été en large partie réalisés à l'occasion du projet de recherche REVENUE, financé par la Commission Européenne.

#### ***3.1 Quelles fonctions peuvent être dévolues à une agence d'investissements<sup>16</sup> pour les infrastructures de transport ?***

La question est posée ici de façon générale, avec une acception très large des fonctions que peut théoriquement assurer une telle agence, mais en tenant compte de certaines spécificités du secteur des transports.

---

<sup>15</sup> Pour tenter de limiter ce risque, il semble que des mesures d'accompagnement sur les alternatives routières à l'autoroute de la mer seraient à envisager, comme le renforcement des contrôles du respect des règlements par les chauffeurs et transporteurs routiers. Il faut également noter que la réalisation de ces risques sur les prix de référence contribuerait à relever encore plus la barrière à franchir par les autres services multimodaux pour rester dans le marché.

<sup>16</sup> Le terme « agence d'infrastructures » sera employé au même titre que celui d' « agence d'investissements ».



La première question à poser est la suivante : est-ce que le marché peut assurer par lui-même un développement efficace de l'infrastructure de transport ? Nous rappellerons brièvement que des contraintes classiques fondamentales, législatives, réglementaires et sociales, imposent une implication très forte de la puissance publique sur ces thèmes :

- construire une nouvelle infrastructure de transport signifie outrepasser certains droits individuels fondamentaux (propriété individuelle) dans l'intérêt de la collectivité
- l'intérêt public doit être estimé et démontré, et doivent être prises en compte des éléments qui ne rentrent pas dans le champ naturellement considéré par le marché
- en conséquence une décision publique est requise, et le rôle du secteur privé se situe dans le processus de mise en œuvre plutôt qu'au niveau des décisions de principe.

La question d'une agence pour les infrastructures de transport sera analysée au niveau national, mais il est possible d'imaginer une telle structure à divers niveaux territoriaux. Une telle agence peut être un instrument pour la mise en œuvre des politiques de transport mais aussi pour le conseil à la définition de telles politiques.

### 3.2 Croisement des hypothèses de référence

Il s'agit ici de rappeler les hypothèses du modèle de base de Laffont et Tirole et de les croiser avec les hypothèses classiquement utilisées pour l'évaluation économique des projets de transport. Dans le modèle de base, le "principal" est supposé être un "régulateur bienveillant", dont la fonction d'utilité correspond à la mesure du bien-être collectif, plus précisément la somme des utilités des acteurs concernés<sup>17</sup> : celles de l'agent, des éventuels consommateurs de la production de l'agent, des tiers et les externalités, moins les coûts engagés.

Dans le cas qui nous intéresse, le principal sera, dans un premier temps, l'entité créant l'agence, et "l'agent" sera l'agence à créer. Les coûts engagés peuvent couvrir les coûts supportés par l'agence et les divers coûts de coordination avec l'agence, en tenant compte également du coefficient de coût des fonds publics<sup>18</sup>.

Pour l'évaluation économique des projets de transport, le problème est généralement simplifié en considérant que :

- l'utilité des consommateurs servis par l'agent est supposée être quasi-linéaire et est mesurée par le surplus net analysé à partir de la courbe de demande (intégrale des utilités obtenues par la consommation du bien produit par l'agent, moins le prix payé par ces consommateurs)
- les utilités des autres acteurs économiques sont pris comme leurs excédents bruts d'exploitation

<sup>17</sup> Cette hypothèse est simplificatrice. Laffont et Tirole notent que si la fonction de bien-être collectif était définie, par exemple, comme la somme des surplus des consommateurs et d'une fraction (plutôt que la totalité) des profits du producteur, les résultats obtenus seraient qualitativement conservés.

<sup>18</sup> On peut se demander si le statut public d'une agence d'infrastructures implique automatiquement que ses ressources doivent être considérées comme des « fonds publics avec surcoûts » - la question est posée du point de vue économique, pas juridique. Que penser, par exemple, des montants couverts par des emprunts remboursés par des péages d'infrastructures, sans transfert du régulateur ? Laffont et Tirole maintiennent dans ce cas le facteur de coût des fonds publics, en faisant observer que, sous certaines hypothèses, l'existence d'un contrôle assuré par le régulateur (contrôle du montant des prêts que l'agence peut conclure) correspond à une régulation globale engageant la même logique de coûts supplémentaires.

- les externalités sont prises en compte à travers des valeurs unitaires de référence<sup>19</sup>.

L'évaluation classique de projet se base sur des scénarios d'équilibre offre/demande, à partir de notions de coût généralisé de transport. Elle suppose que tous les acteurs ont une démarche d'optimisation de leur profit agrégé. Or l'agence d'infrastructures aura une fonction d'utilité conditionnée par le cadrage de ses missions. Si l'agence cherche à maximiser son profit, l'approche classique d'évaluation de projet demeure directement applicable. Si, à un autre extrême, l'agence a une mission totalement altruiste et cherche à maximiser le bien-être collectif considéré comme la somme des utilités de tous les autres acteurs, elle a un rôle neutre dans le bien-être collectif considéré de façon classique<sup>20</sup>. On voit là qu'en toute rigueur, si l'on voulait mener de front et de façon totalement cohérente une approche en termes d'évaluation classique de projets de transport, d'une part, et une approche inspirée de la théorie des incitations, d'autre part, la question de l'adaptation de l'évaluation de la variation d'utilité de l'agence se poserait. Dans la suite de cette partie, nous nous concentrerons sur une approche en termes de théorie des incitations uniquement.

En pratique et du point de vue de la théorie des incitations, la puissance publique (le principal) a, dans une large mesure, la possibilité d'orienter le comportement optimisateur de l'agence, à travers le cadrage de ses missions, contraintes et pouvoirs : selon que certaines missions seront ou non explicitement mentionnées, et selon que des priorités auront été définies entre ces missions, la façon dont l'agence évaluera ses actions sera notablement modifiée.

Sur ces bases, nous pouvons imaginer d'un point de vue théorique qu'une agence ainsi créée va optimiser ses actions selon une fonction d'évaluation qui :

- combine des indicateurs de résultats obtenus en relation avec ses missions, le cas échéant avec des pondérations relatives
- ou, de façon plus plausible, considère uniquement un indicateur principal accompagné de contraintes portant sur les autres impacts des actions de l'agence.

Le respect des contraintes n'est assuré que si les contraintes sont assorties de contrôles externes<sup>21</sup> suffisamment forts pour garantir (ex-ante et surtout ex-post) que les niveaux minimaux requis sont bien respectés.

Bien sûr, en pratique, cette définition des missions et des priorités relatives de l'agence ne peut être exhaustive, les contrats seront incomplets dans une certaine mesure. Ceci est d'autant plus vrai que l'on devrait parler ici de contrats de long terme, en cohérence avec les durées longues des processus de conception, de concertation et d'enquêtes publiques, et de réalisation des grandes infrastructures de transport.

<sup>19</sup> Ces valeurs de référence varient, elles sont en général décidées de façon tutélaire, à l'issue d'un processus d'élaboration prenant plus ou moins en compte des tentatives de mesure des variations d'utilité correspondant à ces externalités. Pour les projets de l'Etat, il existe un référentiel unique, issu des travaux d'un groupe présidé par Marcel Boiteux sous l'égide du Commissariat général du Plan.

<sup>20</sup> Imaginons que l'utilité de l'agence soit évaluée au prorata  $\alpha$  de l'utilité agrégée des autres acteurs :  

$$W = (1 + \alpha) \sum_{\text{acteurs hors agence}} u_i = (1 + \alpha)W'$$
 , où  $W'$  représente l'utilité collective tenant uniquement compte des

acteurs autres que l'agence. Les deux approches sont équivalentes à un coefficient constant près.

<sup>21</sup> Pour une telle agence, au contraire d'un contrat classique de commande publique, il serait très difficile de définir des pénalités précises au contrat, cela d'autant plus que les missions et les degrés de liberté de l'agence seraient larges. La définition d'un système de contrôle du respect des objectifs et contraintes paraît plus adaptée.

### 3.3 Rôle et champ de l'agence d'infrastructures

Les motivations pouvant conduire à la création d'une agence d'infrastructures sont multiples, elles ne sont pas nécessairement formalisées ou ordonnées par ordre de priorité, et parfois même les motivations réelles peuvent différer de celles affichées publiquement. Parmi les principales motivations, on peut citer :

- assurer un développement optimal de l'infrastructure sans trop peser sur les dépenses de l'Etat
- rendre possible la réalisation rapide d'un programme d'infrastructures qui serait irréalisable dans un délai raisonnable, en raison de contraintes budgétaires
- externaliser une dette importante sans trop compromettre le développement de l'infrastructure
- introduire de nouveaux modes de gestion de l'infrastructure, de façon compatible avec une libéralisation progressive des services rendus par l'infrastructure
- engager la puissance publique sur un programme relativement robuste aux fluctuations politiques conjoncturelles et aux décisions discrétionnaires.

Selon les motivations publiques, de multiples cas peuvent se présenter. La mission de l'agence peut par exemple consister à produire des infrastructures :

- selon une programmation plus ou moins flexible, sous contrainte de respect d'une date butoir, tout en minimisant les transferts publics
- selon une programmation plus ou moins flexible, sous contrainte de respect d'une date butoir, tout en minimisant les coûts totaux
- selon une programmation plus ou moins flexible, tout en minimisant sa dette financière.

Pour remplir les missions qui lui auront été précisées, l'agence doit être dotée de ressources, de pouvoirs et de compétences. Elle utilisera des ressources financières qui pourront être déterminés de façon exogène ou, au contraire, qui seront liées à ses actions opérationnelles. Ses actions seront plus ou moins contraintes par certaines limites, il peut même y avoir une concurrence de fait entre plusieurs agences.

La définition des degrés de liberté de l'agence et de ses ressources font partie des éléments critiques des contrats entre le régulateur et l'agence :

- ressources (taxes affectées, péages, subventions publiques, divers) : pérennité, montant, capacités d'emprunt; est-ce que l'agence est auto-suffisante financièrement, est-ce que la contribution publique est définie de façon exogène pour chaque projet à réaliser ?
- si l'agence a des responsabilités sur un réseau :
  - règles de tarification : les prix peuvent être librement fixés par l'agence, ou sont sujets à des contraintes comme un price-cap pondéré, un principe de tarification au coût marginal social proprement dit ou un de ses dérivés plus ou moins lointains comme les tarifications de type Ramsey-Boiteux; les ressources peuvent être librement utilisées ou non
  - concurrence : limites du champ couvert par l'agence, du réseau d'infrastructures à gérer, des droits exclusifs de l'agence (protection contre des projets d'autres collectivités, interférant fonctionnellement avec des projets de l'agence), de ses actions commerciales<sup>22</sup>.

<sup>22</sup> L'agence peut adopter un comportement de monopole maximisateur de profit, selon les objectifs officiels qui lui sont fixés ou selon les objectifs qu'elle se trouve contrainte de suivre. Par exemple : si les fonds publics

Par ailleurs, l'agence peut intervenir sur une partie de réseau, un réseau complet voire sur plusieurs modes, ou avoir une compétence sur une aire géographique. Étendre le champ d'action de l'agence lui permet en théorie de réaliser une meilleure optimisation globale, mais cela suppose qu'elle dispose des informations nécessaires pour intervenir efficacement sur ce champ large (d'où des coûts de transaction plus élevés), qu'elle respecte un ensemble de règles (plus les pouvoirs sont étendus, plus le risque en cas de collusion est important) et qu'elle puisse être bien (indirectement) observée et bien régulée sur ce champ plus complexe. En outre, l'ampleur de son champ concurrentiel peut l'inciter à des comportements de monopole, sur les degrés de liberté dont elle dispose.

### 3.4 *Objectifs publics conflictuels et multi-principaux :*

En pratique, les contrats entre agence et autorité publique sont souvent inexistantes, minimalistes ou non formalisés. Or l'autorité publique elle-même peut comporter des composantes dont les objectifs respectifs peuvent se trouver en conflit. L'agence peut donc se trouver directement ou indirectement en cause dans des interactions complexes qui auront des effets majeurs sur l'évolution dynamique du transport. Ainsi, l'agence d'infrastructures peut satisfaire pour sa part au besoin de développement exprimé par le ministre en charge des infrastructures, alors que dans le même temps le ministre en charge du budget peut réduire symétriquement les autres ressources affectées au même type d'infrastructures. Si le résultat final est plus ou moins le même qu'en l'absence d'agence, mais avec des coûts de transaction supplémentaires, l'intérêt collectif ne s'y retrouve pas nécessairement.

Pour réduire le risque qu'une agence réalise une certaine optimisation ciblée mais que la complexité du contexte principaux/agents conduise à réduire l'efficacité globale, on pourrait imaginer « cloisonner » le champ de l'agence de façon à limiter les « effets de bord ». Mais le risque symétrique existe également : l'agence peut en venir à trop faciliter le développement de certaines infrastructures, entraînant des distorsions d'allocation des ressources. On peut alors penser à limiter ex-ante son rôle dans le temps, mais c'est toujours difficile s'agissant d'infrastructures de longue durée d'élaboration et de vie, car la pérennité fait partie des gages de crédibilité.

Dans le domaine des transports, la logique de cloisonnement de champ n'est pas très aisée en pratique, en dehors des cloisonnements techniques par mode de transport. En effet, les marchés sont très imbriqués, et la même infrastructure permet souvent des usages de multiples natures (fret et voyageurs, trafic très local et trafic international longue distance), intéressant des entités différentes, avec des co-financements. On pourrait objecter à cette observation le cas des lignes TGV ou des autoroutes interurbaines. Mais l'apparent cloisonnement de ces types d'infrastructures n'a pas pour autant résisté à des effets de bord néfastes. Ainsi la Cour des Comptes note dans son rapport de 1999 sur la politique autoroutière française : "le système (*autoroutier de l'époque*) très cloisonné, soumis à des restrictions budgétaires, privilégie de plus en plus l'autoroute concédée, en éloignant ainsi les investissements de l'optimum économique, social et environnemental".

En outre, l'imbrication entre public et privé est relativement complexe pour les infrastructures de transport.

---

accordés pour les projets à réaliser s'avèrent insuffisants, l'accroissement des autres revenus de l'agence peut devenir un objectif afin de respecter les engagements pris par l'agence sur ces projets.

Outre le fort enjeu politique des décisions d'infrastructure, qui explique que tous les niveaux de représentation politique veulent avoir leur part aux décisions d'investissement, la création d'infrastructures est soumise à un fort cadrage législatif et juridique, en raison de procédures dérogatoires du droit commun (expropriations) et de procédures de concertation de plus en plus poussées, qui doivent par exemple préciser très en amont les diverses phases d'aménagement envisagées. Par ailleurs, le transport recoupe beaucoup d'enjeux publics comme l'aménagement du territoire ou la sécurité, dont les pouvoirs publics ne peuvent se dessaisir (utilisation d'espaces rares, qualité de desserte des territoires, ...): ces enjeux sont très variables au cas par cas, les régler par des contraintes normatives prévues dans le « contrat » de l'agence peut paraître ardu, d'autant qu'avec l'augmentation de la concertation publique, une décision d'infrastructure n'est pas vraiment une décision technico-économique mais s'affirme encore plus comme une décision politique.

Des exemples existent cependant<sup>23</sup>, sur des zones géographiques bien délimitées, d'« agences » internalisant la représentation des grands groupes d'intérêt, ce qui est une façon de faciliter l'alignement des objectifs (coordination stratégique de multi-principaux).

Il semble donc que pour les infrastructures de transport on soit loin, en pratique, de pouvoir accorder une grande souplesse à une agence en ce qui concerne la planification et la programmation. Si souplesse il y a, elle est nettement plus réalisable sur les modalités de réalisation et de gestion des infrastructures. Cette limitation peut paraître regrettable car, d'un point de vue théorique, ce pourrait être intéressant d'externaliser la décision, ou au moins l'analyse et les propositions de choix d'infrastructures. En tout état de cause, le rôle de l'agence en tant que producteur d'informations utiles au principal est très important.

En définitive, la théorie des incitations peut fournir certaines réponses aux problèmes de multi-principaux, mais ces derniers, pour être convenablement traités, supposent d'être bien cernés et résolus en amont, lors du calage de la définition des rôles et des modes de régulation de l'agence.

### 3.5 *Des asymétries d'information, et des contrats incitatifs ?*

De multiples asymétries d'information peuvent être citées, qui portent par exemple :

- sur la demande (problème-clef des données statistiques sur la demande et l'offre de transport<sup>24</sup>)
- sur les risques socio-politiques liés au projet
- sur les coûts (coûts de construction, et d'exploitation, mais aussi coûts de transaction : acquisition de données, commercialisation, ...)
- sur l'action menée (aléa moral de l'agent, mais aussi du principal dans le cas où l'encadrement législatif et réglementaire changerait, par exemple).

Diverses incertitudes portent :

- sur les ressources (subventions publiques, recettes de trafic,...)
- sur les projets (surcoûts, défaillances de gestionnaire, etc ...)
- sur l'environnement économique (taux d'intérêt, évolution du PIB, ...).

<sup>23</sup> Voir certaines structures de ports maritimes en Europe.

<sup>24</sup> A noter que c'est parfois le principal qui est mieux informé que l'agent, ex-ante.

L'incertitude peut être affectée par la largeur du champ<sup>25</sup> et par des effets d'expérience, collectifs ou spécifiques à l'agent<sup>26</sup>.

Le mécanisme de contrats incitatifs n'a pas nécessairement un fonctionnement dynamique évident. Il y a bien sûr les classiques effets de cliquet, qui limitent la réduction de l'asymétrie d'information ou la ralentissent. Des effets cumulatifs peuvent apparaître : imaginons que l'agence doive développer rapidement un réseau et recycle toutes ses ressources; si les mécanismes divers adoptés font que, in fine, on récompense l'agence en lui donnant plus de ressources quand elle réussit bien, on risque d'entrer dans une spirale « inflationniste » accaparant des ressources pour d'autres secteurs ou un emballement du système (quelle régulation externe est assurée pour éviter ce risque ?) ; au contraire, en cas de mauvaise performance, on risque d'entrer dans une spirale du déclin. Bien sûr, il s'agit là de mécanismes caricaturaux, qui plus est qui demeurent limités au niveau des institutions, alors que la théorie des incitations se décline également au niveau des incitations, financières ou autres, de la direction ou des membres de l'entité « agent ». En fait, on rejoint là la littérature sur les incitations aux gains de productivité à l'intérieur d'une entreprise.

Les mécanismes incitatifs doivent tenir compte des degrés de liberté de l'agent : par exemple, un risque classique est celui du sous-investissement quand une ressource est corrélée positivement avec le niveau d'utilisation de l'infrastructure. L'équilibre entre laisser des degrés de liberté et fixer des limites pour éviter des abus est difficile à trouver, comme toujours. La théorie ne peut pas livrer de message définitif, mais au moins faire observer que, d'une part, il est important de conserver un champ d'optimisation de l'agent afin de valoriser ses capacités d'innovation, mais que, d'autre part, cela suppose de maîtriser ce champ afin d'éviter d'outrepasser des contraintes fortes (ex : sécurité, financement – cas de Railtrack au Royaume-Uni) et également de ne pas trop laisser l'agent capter les bénéfices de cette optimisation sous forme de rente incitative.

Il faut souligner que tout cela suppose implicitement un ensemble de connaissances et de compétences de la part du principal, car, idéalement, il doit imaginer les principales situations ultérieures qui pourraient survenir, anticiper les réactions de l'agence dans ces divers cas de figure, et mettre en place des mécanismes de régulation adaptés. Ceux-ci vont nécessiter une connaissance approfondie du fonctionnement du système lié à l'agence, et des méthodologies aptes, par exemple, à définir correctement des niveaux de service ou, le cas échéant, des normes plus techniques. Ces mécanismes doivent en outre rester suffisamment simples et cohérents entre eux.

---

<sup>25</sup> La loi des grands nombres peut permettre, en élargissant le champ, de substituer à des aléas ponctuels potentiellement élevés un risque « sectoriel » ou « intersectoriel », plus resserré. Des mécanismes de transfert ou d'assurance peuvent être liés à l'extension du champ : ainsi, deux infrastructures partiellement concurrentes peuvent voir une partie de leurs risques compensés mutuellement si elles sont mises conjointement sous l'égide de l'agence.

<sup>26</sup> Exemple d'effet d'expérience collectif : l'acceptabilité du péage par les automobilistes sur des itinéraires interurbains ; exemples d'effet d'expérience plus spécifique : maîtrise des coûts de construction, suivi des effets des projets réalisés.

### 3.6 *En définitive, que peut apporter la création d'une agence ?*

Il ne faut pas perdre de vue que les diverses fonctions d'une agence d'infrastructures sont initialement remplies, plus ou moins complètement, par des entités existantes, très souvent gouvernementales, aux plans national et local. Selon les entités existantes et leur relation avec le pouvoir politique, les situations peuvent varier fortement. On peut imaginer qu'une entité existante est en général très dépendante des fluctuations politiques de court terme et que ses modalités de financement sont limitées. Sa pratique des dynamiques contractuelles peut être fortement contrainte ou peu innovante, et son pouvoir de coercition ou même d'obtention d'information peut être faible. Quels progrès la création d'une agence pourrait-elle apporter ?

L'indépendance : la crédibilité des engagements pris serait renforcée par l'existence d'une agence moins sujette à des changements d'orientation politique à court terme ; ceci suppose une réelle autonomie de l'agence, notamment sur le plan financier, ce qui est loin d'être évident comme on l'a vu.

Les modalités d'emprunt : cela peut être intéressant pour certains pays, mais si la prime de risque pays est trop élevée, ou si au contraire la situation du pays est très bonne, les conditions d'emprunt de l'agence ne sont pas meilleures que celles de l'Etat. L'externalisation de dette est un argument, mais il joue plus sur le plan comptable que sur le plan économique.

Les compétences en ingénierie des contrats : il y a probablement un potentiel ici (voir plus loin), d'autant qu'il y a des effets cumulatifs d'expérience

La réduction des asymétries d'information : sur ce plan, l'apport de l'agence peut être précieux quelle que soit la définition exacte de son rôle. C'est d'autant plus important que vu l'ampleur des infrastructures à réaliser, l'agence et le régulateur se retrouvent face à des opérateurs souvent de plus en plus gros, et en nombre assez limité (oligopole). A tout prendre, la création d'une agence pourrait se justifier par la seule obtention d'informations, données et connaissances permettant d'imposer un jeu concurrentiel plus sain sur le moyen et long terme. A contrario, créer une agence dépourvue de ce type de rôle aurait peu de sens, s'il s'agit bien d'optimiser le fonctionnement du système.

Les informations de l'Etat sont souvent très limitées en ce qui concerne, par exemple et sans même parler des coûts, la connaissance fine des demandes de transport et de leur interaction avec les caractéristiques de l'offre via, notamment, la qualité des services et la tarification, ou la connaissance des externalités diverses. Or c'est bien ce type d'éléments qui seraient nécessaires pour mieux apprécier l'utilité collective et donc mieux orienter l'action de régulation de l'Etat. La théorie des incitations permet de traiter des asymétries d'information, des observations imparfaites, mais suppose quand même une grande qualité d'information conceptuelle de la part du principal (techniquement, même s'il ignore la valeur de certains paramètres, le principal est supposé connaître la nature des fonctions d'optimisation et de production des agents, l'impact sur les consommateurs, etc..).

#### L'agence d'infrastructures dans le rôle du principal :

Le modèle général de Laffont et Tirole peut se décliner également au niveau de l'agence d'infrastructures, considérée cette fois-ci comme le principal vis-à-vis des acteurs économiques concevant, réalisant et gérant les infrastructures. Alors même que le produit physique final est composé d'infrastructures, l'activité directe de l'agence peut être la conception, l'organisation, l'attribution et la gestion de contrats incitatifs.

Cette activité d' « ingénierie de contrats » touche à de nombreuses questions déjà évoquées précédemment : durée des contrats, découpage du champ<sup>27</sup>, . Un type de clause très important apparaît dans ce type de contrat : les conditions de fin de contrat (conditions de reprise par un éventuel successeur au contrat, procédures de négociation éventuelles pour un contrat de longue durée, ).

L'apport de ressources nouvelles ou de moindre coût, la réduction des asymétries d'information à travers une observation indépendante, les progrès dans l'ingénierie des contrats, ainsi que le renforcement de la continuité de la politique d'infrastructures sur le moyen et le long terme, constituent des arguments forts en faveur de la création d'une agence d'infrastructures, dans le cas où les structures existantes ne seraient pas collectivement en mesure de remplir correctement ces rôles.

### *3.7 Le cas particulier de l'Agence de Financement des Infrastructures de Transports de France*

#### **3.7.1 Définition des missions :**

Selon les termes du décret créant l'Agence<sup>28</sup>, celle-ci a pour mission de « concourir, dans le respect des objectifs du développement durable et selon les orientations du Gouvernement, au financement de projets d'intérêt national ou international relatifs à la réalisation ou à l'aménagement d'infrastructures routières, ferroviaires, fluviales ou portuaires, ainsi qu'à la création ou au développement de liaisons maritimes régulières de transport de fret ».

Les déclarations publiques faites au sujet de l'agence lui donnaient initialement comme feuille de route de référence la liste des projets retenue lors du Comité Interministériel d'Aménagement du Territoire du 18 décembre 2003. L'indépendance de l'agence apparaît d'emblée toute relative, étant donné l'encadrement fixé par les orientations du gouvernement en place. Les éventuelles fluctuations des orientations au cours du temps sont tempérées par le respect premier des « objectifs du développement durable », terme certes assez général.

L'agence couvre l'ensemble des modes à l'exception de l'aérien, et on retrouve dans la définition de son champ d'action une certaine assimilation des lignes maritimes régulières de transport de fret à des infrastructures, assimilation déjà mentionnée dans le présent chapitre.

En définitive, la nature des missions de l'agence est donc très ciblée au regard du cadre général évoqué précédemment : aucune mission relative à l'infrastructure existante ne lui est confiée, et son intervention sur les nouvelles infrastructures est limité strictement au volet financier, sans rôle exclusif.

<sup>27</sup> découpage fin pour jouer sur des concurrences directes ou pour utiliser des techniques de benchmarking et réduire l'asymétrie d'information; découpage plus grossier voire monopoles régulés, pour tenir compte de rendements croissants éventuels ou de compensation de risques, afin de réduire la prime de risque demandée par les contractants, etc .

<sup>28</sup> Décret n° 2004-1317 du 26 novembre 2004. Divers observateurs et parlementaires ont regretté que l'AFITF ne soit pas rendue plus robuste et crédible (meilleures assurances de continuité et de pérennité), par le recours à une loi plutôt qu'à un simple décret de création.



### 3.7.2 Définition des degrés de liberté et des ressources :

Toujours selon les termes de son décret de création, l'AFITF « accorde des subventions d'investissement et des avances remboursables non rémunérées, apporte des fonds de concours et participe au financement des investissements prévus par des contrats de partenariat au sens de l'ordonnance du 17 juin 2004<sup>29</sup> » et « peut également fournir des aides au démarrage pour les liaisons maritimes régulières de transport de fret. ». Les modalités d'action de l'AFITF sont donc strictement encadrées dans leur nature, elles excluent notamment l'octroi d'avances remboursables avec intérêt.

Son Conseil d'Administration « dans les conditions et selon les modalités qu'il détermine, (...) décide des concours qu'il apporte en application de l'article 1<sup>er</sup>. Il autorise les emprunts dans la limite d'un plafond fixé en loi de finances ». « Les délibérations relatives au budget de l'établissement et à ses comptes annuels sont réputées approuvées en l'absence d'opposition du ministre chargé des transports ou du ministre chargé du budget (...). L'établissement est soumis au contrôle financier de l'Etat ( ). ». Le système de contrôle est donc assez étroitement défini, à la fois en tant que contrôle a priori et a posteriori. Par ailleurs, de façon non formalisée dans le décret, la présence d'élus au sein du conseil d'administration et la place importante laissée à la création de l'AFITF dans les débats parlementaires budgétaires laissent prévoir un suivi assez attentif de l'AFITF par les instances parlementaires.

« Les ressources de l'établissement comprennent :

- 1) Les dotations reçues de l'Etat
- 2) Dans les conditions fixées par une loi de finances, le produit de la redevance domaniale prévue à l'article R.122-27 du code de la voirie routière<sup>30</sup>, le produit des participations détenues par l'Etat et ses établissements publics dans le capital des sociétés concessionnaires d'autoroutes, ou toute autre ressource établie au profit de l'Etat qui serait affectée à l'établissement
- 3) Le produit des placements
- 4) Le produit des emprunts
- 5) Toute autre ressource directement affectée à l'établissement. »

Les dotations de l'Etat sont définies annuellement, donc avec une visibilité de court terme.

Il est intéressant de noter que le produit de la redevance domaniale des autoroutes concédées paraît plus robuste ; il est en effet basé sur deux termes :

- un terme de type redevance locative classique, basé sur la longueur des autoroutes concédées, affectées d'un loyer unitaire réactualisé périodiquement
- un terme au prorata du chiffre d'affaires des sociétés concessionnaires (0,45 %).

Les évolutions historiques du chiffre d'affaires montrent des croissances assez régulières, soutenues par la croissance des trafics et les dispositifs d'actualisation des tarifs autoroutiers. La poursuite du programme de réalisation des autoroutes donne des perspectives de croissance assez bien définies pour le premier terme également.

<sup>29</sup> Il s'agit des contrats de partenariat public-privé.

<sup>30</sup> Il s'agit des redevances domaniales dues par les sociétés concessionnaires d'autoroutes pour occupation du domaine public.

Les principaux chocs qui pourraient affecter ces ressources seraient une rupture de la dynamique de croissance autoroutière, non envisagée actuellement, ou une diminution de la base de calcul, correspondant par exemple à des fins de concession. La mise à jour des principales concessions, intervenue ces dernières années a introduit formellement des possibilités d'arrêt anticipé de concession à compter de 2012 ou 2013. Cette possibilité juridique renforcée a cependant peu de chances d'être mise en œuvre en pratique, ne serait ce qu'en regard aux coûteuses clauses de dédommagement prévues à la charge de l'Etat.

Le produit des participations autoroutières est également intéressant à analyser. La structure économique et financière des sociétés concessionnaires, couplée à la dynamique de croissance régulière des trafics autoroutiers, laisse présager des bénéfices croissants de ces sociétés. La fin du dispositif « d'adossement » qui conduisait les sociétés d'autoroute à utiliser une part très importante de leurs disponibilités pour la prise en charge de nouveaux investissements, laisse présager un taux élevé de redistribution des bénéfices. Cependant, c'est justement ce contexte qui rend attractif la privatisation (partielle) de ces sociétés, tant pour les investisseurs privés ou publics que pour le budget de l'Etat. Les succès des premières phases d'ouverture du capital de sociétés d'autoroutes ont pu renforcer les attentes et les appétits dans ce domaine.

Plutôt qu'un apport pérenne, ce type de ressources de l'AFITF est donc associé à un risque exogène que l'AFITF ne peut pas maîtriser. Il est intéressant de noter que, en théorie, les prix de cession devraient être très étroitement reliés au montant actualisé des bénéfices attendus de la concession, et qu'alors la disparition d'une partie des ressources courantes de l'AFITF pourrait être compensée par le reversement d'une contribution exceptionnelle de l'Etat. Cependant en pratique d'autres priorités entrent en ligne de compte, notamment la réduction de la dette de l'Etat.

« La réalisation et le suivi des opérations d'emprunt de l'établissement sont assurés par l'Agence de la Dette » (de l'Etat). Cet extrait du décret créant l'AFITF signifie que la pratique des instruments financiers d'emprunt ne sera pas à la charge de l'Agence, et sera celle de l'Etat. Une telle symbiose fonde encore plus l'Agence dans le dispositif financier étatique général, et semble impliquer que ses conditions financières d'emprunt n'auront guère de raison de différer de celles de l'Etat. In fine, la particularité de l'AFITF qui semble devoir demeurer est essentiellement l'affectation aux infrastructures de transport de ressources qui rentraient auparavant dans le budget général de l'Etat.

Les fragilités du dispositif AFITF évoquées dans cette partie, au titre de sa robustesse et de sa continuité, viennent tout récemment d'être mises en lumière. En effet, moins de 8 mois après le décret créant l'AFITF, le gouvernement a décidé de poursuivre la privatisation des autoroutes, tout en compensant l'AFITF par de nouvelles ressources financières, qui n'ont pas les mêmes propriétés de croissance soutenue que les dividendes autoroutiers, et en élargissant le champ de l'AFITF à la réalisation des contrats de plan Etat-Région.

### 3.7.3 Parallèle avec d'autres structures existantes :

Nous passerons rapidement sur le parallèle avec Réseau Ferré de France (RFF), qui dispose de missions et de pouvoirs beaucoup plus larges, notamment ses responsabilités de gestionnaire du réseau d'infrastructures ferroviaires existant et les péages instaurés sur l'ensemble du réseau y compris les développements du réseau. Sur le plan financier, RFF dispose également d'une autonomie nettement plus large qui lui permet d'utiliser des instruments financiers relativement diversifiés et innovants. RFF se rattache beaucoup plus complètement au cadre général d'analyse préalable que l'AFITF.

En fait, au regard des missions évoquées dans le cadre général, les entités qui correspondraient le mieux à l'exercice des rôles potentiels d'une agence d'infrastructures sont les directions d'administration centrale du ministère de l'Équipement, en tant que régulateurs des grands réseaux, ainsi que Réseau Ferré de France, gestionnaire du réseau ferroviaire. Cependant, l'absence de représentation de RFF au sein de l'AFITF et l'encadrement assez étroit par l'État des décisions sur les grandes infrastructures ferroviaires semblent indiquer que, en ce qui concerne l'évolution du réseau<sup>31</sup>, RFF a un positionnement assez similaire à celui de l'AFITF, celui de contributeur au financement, doté toutefois de degrés de liberté plus importants dans les modalités d'exécution.

D'autres organismes aux missions plus ciblées peuvent fournir une base de comparaison plus adaptée : prenons l'exemple de la banque Européenne d'Investissement (BEI). Sa mission principale, comme pour l'AFITF, est de contribuer financièrement à la réalisation de projets d'une certaine envergure, sans aucune responsabilité « opérationnelle » sur un réseau d'infrastructures par exemple. Il est intéressant de noter que la BEI met en avant, parmi ses diverses actions, l'évaluation a priori des projets sur lesquels elle est susceptible d'intervenir, et le suivi des projets qu'elle finance, et cela sur le plan économique tout autant que sur le plan financier. Elle y adjoint une forte volonté de communication et de diffusion de son expérience. On rejoint ici les fonctions de capitalisation d'expérience, de diffusion d'information et de connaissances évoquées dans le cadre général d'analyse préalable.

On peut se demander si l'AFITF ne pourrait pas avoir, à terme, des actions de même nature que la BEI. Sur le volet de l'évaluation économique globale, il faut cependant tout d'abord noter que la BEI est dotée d'objectifs comme la contribution à l'intégration et à la cohésion sociale en Europe, à travers le soutien à des projets d'investissement qui visent la réalisation des objectifs économiques de l'Union Européenne<sup>32</sup>. Cela l'amène naturellement à se doter d'éléments de mesure de sa contribution à ces objectifs généraux, donc à mettre en bonne place l'évaluation économique des projets auxquels elles peut concourir. Face à ces objectifs élaborés, l'AFITF a simplement un critère de respect des objectifs du développement durable. Selon ce qu'en feront ses animateurs, elle pourra développer des actions propres dans le domaine de l'évaluation, ne serait-ce que pour des actions de communication sur le bilan de son action, ou plus simplement se reposer sur les analyses fournies par les services de l'État, les maîtres d'ouvrage ou maîtres d'œuvre des projets.

<sup>31</sup> Pour la gestion du réseau existant, les rôles de RFF correspondent plus complètement aux missions du cadre général, avec un rôle essentiel pour la réduction des asymétries d'information et avec des possibilités de régulation économique de l'utilisation du réseau à travers, par exemple, la tarification d'infrastructures ou les attributions de capacité (sillons ferroviaires).

<sup>32</sup> Présentation de la BEI sur son site <http://bei.eu.int>

Sur le volet de l'évaluation financière maintenant, une agence comme l'AFITF pourrait plus naturellement s'impliquer directement, surtout pour les projets aidés sous forme d'avances remboursables. Les remboursements conditionnent en effet en partie les capacités d'action futures de l'agence et il est alors logique que, supportant par là même un certain risque, l'agence ait la volonté de mener des évaluations financières elle-même ou d'en faire réaliser spécialement pour ses besoins. Par contre, les subventions pures, tant qu'elles ne donnent pas lieu à réévaluations ultérieures, offrent moins de motivation pour l'évaluation économique propre, surtout s'il s'agit simplement de réaliser une liste de projets par ordre de priorité pré-défini. Cependant, en contexte de pénurie de crédits, un souci de « meilleure utilisation des fonds de l'agence » peut apparaître quand il s'agit de choisir entre plusieurs projets, de façon exclusive, et alors l'agence aura le choix entre utiliser les évaluations préalables fournies par les porteurs des projets, ou se doter d'analyses indépendantes.

On voit en définitive que les fonctions d'observation extérieure et de cumul d'expérience de l'AFITF sont a priori fortement limitées par rapport au cadre général préalable, mais qu'elles pourraient apparaître dans le champ de l'évaluation ou, plus probablement, de l'évaluation financière, qui nécessite elle-même une certaine expertise économique pour être convenablement menée.

#### **3.7.4 AFITF et multi-principaux**

La composition du Conseil d'Administration de l'AFITF donne des indications sur les problématiques de multi-principaux rencontrées pour l'AFITF. Au sein de la représentation de l'Etat (six membres), on retrouve les principales missions de l'Etat qui risquent d'être impliquées en matière d'infrastructures de transport : le Ministère en charge des transports, lui-même représenté par deux « courants », le principal « routier » et le principal en charge des autres modes de transport<sup>33</sup>, le ministère de l'Economie et des Finances doté également de deux représentants (Trésor et Budget), et enfin la DATAR et le ministère de l'environnement.

Parmi les six autres membres, outre un député, un sénateur et deux élus locaux, on note deux personnalités qualifiées qui, en pratique, s'avèrent être pour les premières nominations, des personnalités politiques ayant de l'expérience en matière de transports. Le président étant un élu et disposant d'une voix prépondérante en cas de partage des voix, ce n'est donc pas l'Etat qui est majoritaire en voix au sein du CA, ce qui est en théorie gage d'une relative indépendance de l'AFITF.

La création de l'AFITF se traduit donc par l'instauration d'un mode alternatif de régulation entre les principaux, représentant les diverses missions de l'Etat, d'une part, et entre l'Etat et les représentants élus par les citoyens, d'autre part. Traditionnellement, cette régulation relevait d'arbitrages inter-gouvernementaux, certes influencés par les jeux de groupes de pression et les réseaux d'influence politiques, et d'une régulation globale entre l'Etat et la représentation nationale, à l'occasion essentiellement de l'élaboration des lois de finances.<sup>34</sup>

<sup>33</sup> La réorganisation du ministère de l'Equipement menée en 2005 regroupe dans une même direction générale l'ensemble des modes non aériens alternatifs à la route, y compris le maritime, et crée une direction générale des routes.

<sup>34</sup> Mais nous touchons là à des questions plus globales en matière d'organisation publique, ouvrant plus largement sur les domaines de l'économie politique et la théorie des organisations.

### 3.7.5 AFITF et multimodalité marchandises :

Nous avons vu que le type de régulation mis en place pour l'AFITF, ainsi que son cadrage amont par l'obligation de respect des objectifs du développement durable, positionne les préoccupations multimodales très en amont. Ceci est renforcé de façon plus concrète par l'affichage public d'une règle de répartition des financements favorable aux modes alternatifs à la route (70% des financements de l'AFITF y seraient consacrés).

Cependant cet affichage est susceptible d'évoluer en fonction des orientations des gouvernements successifs, car il n'apparaît pas dans le cadrage formalisé de l'AFITF. En outre, plutôt que la multimodalité, c'est une approche en termes d'arbitrage entre solutions modales (partiellement) alternatives qui est privilégiée.

Plutôt que comme des produits complémentaires, les solutions modales de transport sont vues comme des produits substituables. Au niveau des infrastructures, ce sont essentiellement des infrastructures linéaires qui sont visées par l'AFITF, à l'exception notable des infrastructures des ports, nœuds multimodaux par excellence. Certes, les infrastructures d'interfaçage entre modes comme les chantiers de transport combiné rail-route pourraient se voir incluses dans les infrastructures routières ou ferroviaires de l'AFITF, mais cela paraît très peu probable car elles ne sont pas citées explicitement, pas plus qu'elles n'apparaissent dans la liste des projets du CIADT du 18 décembre 2003, feuille de route essentielle de l'AFITF.

Cependant, en reprenant cette liste, on retrouve parmi les 35 projets relatifs au transport 4 projets explicitement reliés à des services multimodaux de marchandises : les autoroutes de la mer Atlantique et Méditerranée, le terminal à conteneurs Fos XXL à Fos/Mer, et l'écluse fluviale de Port 2000 au Havre. En raison des connexions multimodales qu'ils assurent ou des projets de services multimodaux qui s'y réfèrent, on peut rajouter à cette liste la liaison ferroviaire Lyon-Turin, l'axe ferroviaire est-ouest assurant une meilleure connexion du port du Havre vers l'Est de la France et l'Allemagne, l'axe Dunkerque-Lorraine améliorant la desserte du port de Dunkerque, le canal Seine Nord Europe qui va améliorer les connexions de ports maritimes et fluviaux, ainsi que la magistrale ecofret (axe ferroviaire nord-sud via Lyon) et l'axe nord-sud via Bordeaux en raison des projets d'autoroute ferroviaire qui y font référence.

Maintenant, le système de financement multimodal instauré par l'AFITF peut-il aller dans le sens d'une meilleure efficacité économique, d'un point de vue global ? Cette question très vaste ne peut être abordée ici que sous forme de quelques coups de projecteur.

Tout d'abord, une approche globale des impacts économiques à travers des considérations d'équilibre général et de distorsions fiscales pourrait indiquer que, à partir du moment où l'AFITF assure une affectation ciblée de ressources qui auraient pu entrer dans le champ d'une optimisation plus globale de l'utilisation des moyens publics, et que sa création et son fonctionnement vont engendrer des coûts de transaction supplémentaires, il devrait y avoir perte de bien-être collectif.

Cependant, ce raisonnement suppose que l'optimisation globale est réellement assurée sans distorsion, alors même qu'en pratique l'optimum de premier rang est assez éloigné car les décisions résultent d'interactions complexes entre principaux, dont l'issue peut dépendre plus des puissances relatives des principaux que d'une pondération objective entre les diverses missions de l'Etat.

Concrètement, dans un contexte de tensions budgétaires, il ne serait pas étonnant que les projets susceptibles de contribuer à l'augmentation des recettes de l'Etat soient mieux accueillis que d'autres, même si ces autres projets contribueraient au bien-être collectif sous une forme autre que sonnante et trébuchante pour l'Etat. Les projets routiers, pourvoyeurs de recettes multiples, sont plus attractifs que, par exemple, des projets pour le fret ferroviaire. L'AFITF, en diminuant cette pression de distorsion et en assurant un autre mode de régulation entre principaux, potentiellement plus équilibré et démocratique, peut contribuer à l'amélioration du dispositif d'optimisation de l'allocation des ressources publiques. Le solde net au niveau du bien-être collectif est certes difficile à apprécier à l'avance car il faudrait faire une modélisation de système bien complexe, mais cela semble structurellement aller dans le bon sens.

Par ailleurs, nous avons vu dans ce chapitre et dans les précédents l'impact que pouvait avoir le positionnement de l'Etat sur les anticipations des acteurs du transport et sur leur perception des risques associés à leurs décisions. Il existe donc des externalités, difficiles à chiffrer mais réelles, associées à l'affichage d'un dispositif relativement robuste et pérenne, favorable au développement des transports multimodaux de marchandises, tel l'AFITF.

En définitive, l'analyse de l'AFITF menée à travers le cadrage général préalable, conduit à penser que, bien que cette agence ait un rôle très balisé et dispose de peu de degrés de liberté, et avec les limitations et fragilités mentionnées au cours de l'analyse, l'AFITF a un potentiel pour contribuer de façon positive au développement du transport multimodal de marchandises tout en contribuant à améliorer l'efficacité économique.

#### **4 L'approche publique sur la multimodalité : cohérence et complexité**

Les chapitres précédents ont montré que la multimodalité est par essence une interaction complexe entre de multiples acteurs de l'offre mais aussi de la demande de transport. La fin du présent chapitre aborde le problème de la multiplicité des missions et composantes de l'Etat, et de la nécessaire recherche de coordination et de cohérence pour la décision publique. La partie sur les agences d'infrastructures a évoqué ce problème sous un angle structurel, au niveau de la prise de décisions en matière d'investissement et de régulation. La dernière partie de ce chapitre vise à compléter cette approche au niveau du dispositif que l'Etat met en œuvre pour observer, analyser, préparer ses décisions et suivre leurs effets. Il s'agit de se placer au niveau de l'information (production, interprétation, diffusion) et des savoirs théoriques et pratiques, de leurs remises en cause et de leur évolution.

Pour cela, après être revenu sur la forte résurgence du thème de la multimodalité au sein de l'Etat ces dernières années, seront analysés divers cas de sujets complexes en matière de transports, pour lesquels des dispositifs techniques ont dû dialoguer entre eux et s'adapter.

Le cas de la multimodalité sera alors évoqué plus en détail, avec les enseignements tirés de l'examen des autres cas. Le terme « multimodalité » sera utilisé ici dans un sens plus large que la conjonction de plusieurs modes de transport successifs, pour désigner les approches globales portant sur la demande et l'offre de transport, sans cloisonnement a priori au sein d'un mode de transport.

Nous verrons que les mécanismes en jeu sont assez similaires dans les divers cas analysés, que l'existence d'un système d'observation convenable est un élément-clef, et que les progrès importants sont atteints quand les conditions pour une co-évolution pérenne des dispositifs techniques sont réunies.

#### *4.1 Multimodalité et recherche d'une meilleure cohérence à l'occasion des schémas de service collectifs de transport :*

Les préoccupations multimodales ne datent pas d'hier au sein de l'Etat, elles ont progressivement pris plus d'ampleur avec le développement des échanges internationaux, le maillage des réseaux et le développement de la concurrence internationale. C'est ainsi par exemple que le secteur portuaire s'est de plus en plus préoccupé des dessertes terrestres des ports, de façon localisée de longue date, mais aussi sous forme de réflexions nationales d'ampleur (rapports Belmain de 1992 et 1996). Le mode ferroviaire quant à lui, met en avant le transport combiné rail-route depuis plusieurs dizaines d'années également, et le mode fluvial cherche à développer le fluvio-maritime.

Cependant ces préoccupations restaient quasiment toujours représentées par des entités bien localisées au sein de l'organisation de l'Etat et ne faisaient pas l'objet de priorités ou d'intérêts transversaux, excepté de façon exceptionnelle. Une coordination avait lieu au coup par coup entre les entités porteuses de ces enjeux et celles qui pouvaient décider de prendre en compte ou non leurs demandes, en préparation des décisions politiques nationales.

Une étape a été franchie au sein du ministère de l'Equipement, lors de l'élaboration des rapports d'orientation multimodaux régionaux. Cette démarche a tenté d'aborder les problématiques de transport de façon globale, au plan régional, en dépassant les cloisonnements traditionnels par mode de transport. Elle préparait l'élaboration des schémas de services collectifs de transport, qui allaient impliquer de nouvelles composantes de l'Etat, avant les concertations avec les instances parlementaires, collectivités territoriales et autres entités.

Les schémas de service collectifs de transport (SSCT) ont été découpés selon une logique fonctionnelle, voyageurs et marchandises, et non plus selon une logique de réseaux d'offre, par modes de transport. Cette simple restructuration du cadre de la réflexion publique a été en elle-même l'occasion de soulever des problèmes de cohérence, entre modes de transport mais également au sein d'un même mode.

Les schémas de service de transport voyageurs et marchandises traitent d'un besoin collectif de même nature, le déplacement physique, qui utilise très souvent les mêmes supports matériels (réseau routier, réseau ferroviaire, ..). Mais la structuration traditionnelle de la réflexion se faisait selon un découpage modal, chacun ayant développé son dispositif technique de son côté, en s'étant forgé des savoirs sur les faits, sur les enchaînements de causalité et autres connaissances interprétatives ou modes de représentation, et sur les actions publiques au sein de son mode de transport.

**Nous allons voir comment ces dispositifs modaux peuvent apporter des réponses adaptées, en fonction du degré de complexité des thèmes abordés.**

Les SSCT ont permis de préciser une structuration de la réflexion sur les transports, aux diverses échelles des réseaux, via des notions de « pôle » et d'« axe ». Ils ont ainsi posé des bases pour une évaluation plus globale des transports, avec une orientation politique claire visant à développer l'utilisation des modes alternatifs à la route. Cela a conduit à mettre en lumière des enchaînements logiques qui n'apparaissaient pas nécessairement dans les approches antérieures, soulevant ainsi des questions de cohérence au sein des modes. Ainsi, la politique d'amélioration du service ferroviaire de voyageurs, avec la généralisation de la contractualisation au niveau régional, fait peser une menace sur les possibilités de développement du service ferroviaire de fret, au niveau régional et encore plus inter-régional<sup>35</sup>. Concrètement, si l'amélioration du service voyageurs conduisait à restreindre fortement la circulation des trains de fret longue distance, qui constitue pourtant le marché sur lequel le ferroviaire a des opportunités de report de trafic depuis la route, comment pourrait-on espérer que la demande de transport de fret se reporte comme on le souhaite ?

La cohérence entre SSCTs au niveau de chaque mode peut porter sur les conflits techniques d'utilisation d'infrastructures ou de moyens, humains ou matériels. Mais chaque dispositif technique modal devrait a priori être capable de résoudre de tels problèmes, à partir du moment où il intègre correctement les divers éléments du problème.

La cohérence entre modes, quand on l'aborde sous l'angle « offrir un service de transport par tel ou tel mode », pose quant à elle la question de la coordination des dispositifs techniques modaux. Il s'agit, pour faciliter la vision collective, de les faire parler avec des bases de langage communs. Cela devrait se traduire tout d'abord à travers le dispositif d'observation : compatibilité des zonages géographiques utilisés, des unités de mesure, des définitions par exemple du trafic international, . Pour coordonner également les capacités d'interprétation des données et de diagnostic, il faudrait assurer une confrontation constructive entre les diverses modélisations de la demande et de l'offre, par exemple.

Mais déjà l'on se heurte très vite, comme pour l'obtention de données assez détaillées, à une forte asymétrie d'information. Les entités qui disposent des meilleures informations et connaissances sont en concurrence entre modes et, de plus en plus, à l'intérieur d'un même mode. Cette concurrence s'exprime en termes de partage de marché, comme en termes de partage de pouvoir. C'est ainsi qu'un des problèmes majeurs de Réseau Ferré de France consiste à se doter d'un système d'information et de connaissances.

Certaines des conditions qui ont amené à augmenter la complexité du système de transport conduisent également à restreindre les possibilités dont dispose ce système pour mettre en commun des informations et des savoirs, augmentant ainsi l'inertie de sa gestion collective. Cela ne constitue pas un obstacle fatal, il dépend également de la volonté collective de promouvoir, voire d'imposer, la mise en commun.

Tant que l'on se pose le problème en termes d'arbitrage entre modes, il paraît encore possible d'en rester à une question de coordination entre les dispositifs techniques existants.

<sup>35</sup> Les conditions de traitement du cabotage maritime par rapport à celles des grandes lignes transocéaniques posent un problème de gestion de priorités un peu similaire.



Mais les enjeux qui dépassent la sphère modale traditionnelle sont, eux, d'une autre nature. C'est le cas pour l'expression de la demande de transport et ses modalités d'incitation ou d'orientation à court et long terme. Cela concerne aussi les conditions d'interaction entre offre et demande multimodales. Il ne s'agit plus alors uniquement de coordonner des dispositifs et de les faire évoluer à la marge pour les rendre globalement cohérents, mais de les faire interagir pour innover et bâtir des dispositifs nouveaux.

Conflits techniques Voyageurs / marchandises	Comparaison de solutions modales	Orientation de la demande, offre et demande multimodales
Coordination au sein de chaque dispositif modal	Coordination des dispositifs modaux	Interaction des dispositifs modaux pour bâtir un dispositif « transversal » plus adapté

Il est utile à ce stade de revenir sur la façon dont la décision publique peut s'élaborer.

#### 4.2 *Processus de décision publique sur un sujet complexe :*

Dans son fonctionnement interne comme dans les concertations qu'il cherche à généraliser, l'Etat est de plus en plus une machine à trouver des consensus. Mais plus l'information recueillie est riche et plus les idées émises sont variées et contradictoires en apparence, plus cela devient difficile.

Un premier réflexe traditionnel consiste à définir un arbitrage simple, privilégiant une logique linéaire axée sur une vision ou sur un groupe d'intérêts (entreprise nationale, riverains, ..). Cette approche est très confortable car elle fournit une grille de lecture simple du système, des règles d'interprétation et, souvent, des solutions-types pour agir. Elle laisse cependant de bonnes chances de passer totalement à côté du problème complexe à traiter et n'offre en réalité aucune garantie que la décision fasse évoluer le système dans le bon sens. La transparence accrue des processus publics, la diffusion rapide de l'information et le risque d'accusation de partialité rendent cette approche plus difficile à utiliser.

Une seconde approche consiste à essayer, pragmatiquement, de retenir des faits saillants des grilles de lectures auxquelles on a accès, ainsi que des règles d'interprétation paraissant robustes, de comparer les solutions proposées par les diverses parties et de tâcher de les faire évoluer ou s'hybrider vers un ensemble de mesures qui recueille un certain consensus et, secondairement, qui assure une certaine cohérence avec les faits saillants et les règles d'interprétation retenus. Mais là aussi la complexité réelle n'est pas traitée, elle est en fait considérée comme résolue par l'obtention d'un équilibre conjoncturel entre les positions et visions exprimées par les parties prenantes entendues.

Une troisième approche plus volontariste consiste à tenter d'appréhender globalement le système, ce qui suppose d'intégrer des grilles de lecture souvent non cohérentes, l'idéal étant d'arriver à bâtir une grille globale. Cela suppose aussi de bâtir des règles d'interprétation de ce que l'on se met en mesure d'observer, et d'imaginer des solutions de mise en cohérence et des types d'action innovants. Tout cela représente un investissement, des délais, et présente un grand inconfort : en général, peu de résultats à court terme sont à espérer.

Pour des sujets ponctuels de court terme, la seconde approche est probablement à retenir. Mais si on traite de phénomènes de long terme que l'on veut réellement gérer comme tels, en s'extrayant des échelles de temps personnelles ou conjoncturelles (durée de poste ou de mandat électif, par exemple) la troisième approche paraît mieux adaptée.

Il est intéressant de constater que ces trois approches de la décision publique peuvent être mises en correspondance avec les types de réaction des dispositifs modaux évoqués au 4.1., autour des trois processus suivants :

- 1) sélection d'une grille d'analyse ou de solution (vs dispositif modal)
- 2) compromis entre grilles (vs coordination de dispositifs)
- 3) travail en profondeur sur les grilles, avec in fine construction d'une grille plus globale intégrant mieux la complexité du thème traité (vs dispositif transversal).

A partir de ce constat, il peut être utile d'examiner plus en détail les processus qui ont été mis en œuvre concrètement sur des thèmes complexes relatifs au transport.

#### *4.3 Cohérence et interactions entre dispositifs techniques au niveau des schémas de services collectifs*

Regardons maintenant comment la résolution de la complexité a été recherchée pour assurer une cohérence entre les SSCT et les autres schémas de services collectifs (SSC). Concernant par exemple le schéma de l'énergie (SSCE), on peut considérer en première approximation que les transports sont essentiellement des consommateurs d'énergie. A ce titre, le SSCT influe sur le SSCE en termes de nature et de niveau de demande énergétique. C'est l'approche qui a prévalu lors du développement des SSC. La relation inverse opère en fonction du niveau de disponibilité et de coût des diverses formes d'énergie utilisables pour le transport. Présentée sous cet angle simpliste, la recherche de cohérence se résume à une coordination de type « entrées/sorties ».

Le SSCENR et, au-delà de ce schéma, la politique environnementale du gouvernement, donne lieu à des interactions qui ne peuvent être représentées par une logique « entrée-sortie » simple. Tout d'abord parce que ces interactions se révèlent dans de multiples domaines : pollution atmosphérique et effet de serre, pollution sonore, consommation d'espace, qualité des eaux, etc . Ensuite parce que l'approche environnementale, au cœur des préoccupations de développement durable, se préoccupe des impacts à long terme aux diverses échelles, avec une forte volonté politique d'infléchissement marqué - voire de rupture de tendances -.

Cela a conduit à une recherche de cohérence beaucoup plus approfondie entre les SSCT et l'approche environnementale que cela n'a été le cas avec le SSCE. La recherche de cohérence dans le chiffrage des enjeux sur les niveaux d'émission des gaz à effet de serre, qui sont à la fois représentatifs de la principale consommation d'énergie par les transports et objet de normes à respecter par le biais du PNLCC (programme national de lutte contre le changement climatique) initié par les accords de Kyoto, a conduit naturellement à vérifier la cohérence entre le respect des objectifs chiffrés du PNLCC et les scénarios d'évolution de la demande de transport.

Ces scénarios de demande eux-mêmes ont fait l'objet d'une tentative de coordination beaucoup plus poussée, qui est allée jusqu'à détailler très précisément la façon dont les modèles employés utilisaient l'information disponible et les hypothèses faites pour les scénarios d'évolution. La nature et l'amplitude de ces hypothèses, et jusqu'à la nature des démarches de modélisation ont été âprement débattues. Bien sûr, au-delà des aspects « techniques », la motivation pour cette recherche de coordination portait surtout sur l'affichage d'une volonté de réorientation politique. Mais il était d'autant plus difficile de converger vers une issue cohérente que les éléments du débat technique n'étaient pas en place pour la concertation.

Chaque champ d'intervention publique a en effet développé son propre dispositif technique, en tâchant de minimiser ses incohérences internes : chacun a son schéma d'observation, sa grille de lecture, ses méthodes d'interprétation, ses méthodes d'analyse et de diagnostic, ses méthodes prescriptives ou du moins sa « réserve de mesures applicables » que l'on retrouve à l'interface entre dispositif technique et dispositif politique. Dans la mesure où les dispositifs politiques cherchaient leur convergence, et où les SSC, pour offrir un contenu concret, devaient faire apparaître un minimum d'éléments de nature technique, il y a donc eu en quelque sorte télescopage des dispositifs techniques, chacun cherchant à influencer l'autre, apportant une critique extérieure au dispositif de l'autre et argumentant sur les divers enchaînements logiques de chacun. Ce télescopage s'est d'ailleurs prolongé et amplifié en parallèle à l'occasion d'un autre travail de coordination, mené cette fois-ci sous l'égide du Commissariat du Plan, qui avait pour but de fournir des méthodes d'estimation des « coûts externes »<sup>36</sup> des transports.

Le dispositif technique « transport », disposant d'informations beaucoup plus complètes et mieux structuré, a naturellement constitué le référentiel initial de discussion sur les phénomènes de transport. L'estimation et, en parallèle, l'interprétation des conséquences environnementales a préférentiellement utilisé comme référence initiale le dispositif technique « environnement ». Mais à partir de ces angles de départ des deux approches qu'il convenait d'harmoniser, s'est construite une réflexion collective qui a offert l'opportunité à chaque dispositif de se consolider et d'évoluer, et de discerner des axes le long desquels les deux dispositifs avaient des besoins communs d'amélioration des connaissances.

Ainsi, les critiques environnementalistes sur les scénarios de demande ont porté, entre autres, sur la nature des modèles d'évolution de la demande de transport, les jugeant trop « projectionnistes » et pas assez « systémiques », conduisant ainsi à reconduire de façon mécanique, structurelle et opaque, les conséquences passées des éléments historiques d'un type de politique des transports qu'il convenait justement de réorienter.

Symétriquement, à titre d'exemple, les études mises en avant sur les effets à long terme de la pollution atmosphérique ont été critiquées sur la pertinence des informations recueillies (« paramètres cachés », spécificité des études menées très souvent sur d'autres continents, d'autres climats, ..), sur les biais d'interprétation possibles, et, également sur les modalités d'extrapolation à long terme dans un environnement nouveau, à partir d'observations historiques obtenues dans un cadre jugé insuffisamment similaire au cas national. Le dispositif technique « transport » a également mis en avant les progrès continus en matière de consommation d'énergie et d'émission des véhicules.

<sup>36</sup> Pour schématiser, il s'agissait de convenir de règles de monétarisation pour chaque impact des transports : dans les choix publics, quel équivalent monétaire utiliser pour un décibel de bruit supplémentaire ? pour une tonne de CO2 additionnelle ?

Ce faisant, chaque dispositif a pu montrer que l'autre dispositif percevait et basait ses analyses sur une certaine « projection filtrée » de la réalité, non nécessairement représentative de la complexité réelle des phénomènes. A partir de là, on peut imaginer que chaque dispositif pourrait chercher à s'adapter « à la marge » pour répondre aux critiques formulées, et / ou qu'ils évolueraient conjointement pour construire une approche moins infidèle de la réalité, avec de nouvelles formes de connaissances aptes à mieux représenter la complexité du réel.

C'est là où les modalités d'organisation et de gestion de la réflexion collective peuvent influencer notablement : il paraît assez clair que, si des lieux d'observation et de réflexion en commun sont pérennisés, si la mobilité des personnes entre les deux dispositifs techniques se développe, on a plus de chances d'aboutir à une meilleure cohérence. Si au contraire une tendance au cloisonnement s'avérait, on risquerait de devoir reconduire à chaque occasion nouvelle un exercice d'affrontement critique conduisant certes à des retouches successives de chaque dispositif, mais de façon plus favorable à des modifications cosmétiques qu'à une évolution en profondeur.

Interaction entre SSC Energie et SSCs Transports	Interaction entre SSC Espaces naturels et ruraux et SSCs Transports
Cohérence des entrées / sorties	Critique mutuelle des deux dispositifs sur leur cohérence interne → adaptations de chacun à la marge, ou co-évolution plus en profondeur ?

Les réflexions initiées à l'occasion des SSC sont encore trop récentes pour savoir quel type d'interaction se mettra en place sur le moyen et long terme. Revenons donc maintenant plus concrètement sur des considérations de transport pour lesquelles nous disposons d'un certain recul.

#### *4.4 Construction d'une approche globale sur un sujet complexe : l'exemple du bruit et de la sécurité dans les transports*

L'Etat, en tant que garant des grands équilibres, a pendant longtemps centré son rôle en matière de transport sur l'ajustement des réseaux à l'évolution de la demande. Progressivement, sont apparues de façon de plus en plus forte les préoccupations relatives aux impacts du transport : sécurité, pollution et autres impacts environnementaux. Il s'agit ici de tenter une analyse des évolutions corrélatives des dispositifs techniques et des modes d'action de l'Etat sur certains de ces grands enjeux.

Parmi les enjeux possibles, on évoquera ici le bruit et la sécurité, avant d'aborder la multimodalité. Le choix de ces deux thèmes peut apparaître assez arbitraire. Sa justification réside non dans la nature de ces thèmes mais dans la mise à disposition de cas d'étude offrant à la fois un certain degré de complexité et un peu de recul temporel pour l'analyse des processus d'approche de la complexité et de recherche de cohérence.

#### 4.4.1 L'exemple du bruit

Commençons par le bruit généré par les transports. C'est un phénomène clairement perceptible et localisé, donc bien concret et facile à appréhender en premier lieu. Mais c'est déjà un phénomène complexe sur le plan physique, avec notamment des modalités de propagation, de réflexion, d'absorption qui en rendent la modélisation physique ardue. C'est également un phénomène complexe au niveau de son impact biologique et psychologique : l'impact d'un même bruit est ressenti de façon très variable selon les individus et les circonstances. Pour autant, dans la mesure où l'on trouve à la base un phénomène physique mesurable par des méthodes scientifiques reconnues et où l'on dispose d'un corpus de connaissances physiques et mathématiques adapté, on peut utiliser un mode de représentation initial susceptible d'être jugé « objectif ». A partir de là, il est possible de constituer un vocabulaire de base pour initier le dialogue entre les diverses entités ou individus qui ont à se préoccuper de cet enjeu, et de bâtir une échelle monodimensionnelle supposée représenter l'intensité du phénomène étudié. Il est possible également de structurer l'action publique en s'appuyant sur cette échelle, par exemple en édictant des règles d'action en fonction de l'échelle ainsi définie (loi sur le bruit de 1992 et ses décrets d'application, circulaires).

C'est ainsi que le ministère de l'Équipement a, par exemple, défini des seuils guidant le diagnostic et les modes d'intervention en matière de bruit, et défini des méthodes de valorisation économique de l'impact du bruit dans l'évaluation des projets d'infrastructure. Ceci permet d'assurer une certaine cohérence nationale des actions locales de l'État, tout en laissant cependant une marge de manœuvre éventuelle pour la concertation au plan local.

Le dispositif technique ainsi construit est peu remis en cause dans son schéma général. Il l'est sur ses modalités, qui peuvent être jugées insuffisamment représentatives de la complexité de la réalité. Ainsi, pour l'appréciation du niveau de bruit au voisinage d'une infrastructure routière, la prise en compte d'un indicateur censé représenter l'impact global sur 24 heures a évolué vers la référence à deux indicateurs différenciant période de jour et période nocturne, pour mieux coller aux perceptions réelles. La nature des lieux de vie soumis au bruit a également été progressivement prise en compte, ainsi que la prise en compte des conditions météorologiques pour le bruit à grande distance. Sont discutés également la nature précise de l'indicateur mesuré : bruit en façade au niveau de l'extérieur de l'habitation, ou bruit pénétrant à l'intérieur de l'habitation ? Et, bien entendu, les niveaux des seuils définissant la nature des mesures correctrices en matière de bruit sont largement discutés.

Le dispositif technique, même s'il évolue par des raffinements ou des ajustements de certaines de ses modalités, reste globalement utilisé pour la réflexion, la négociation et l'action. Il est améliorable progressivement et offre un cadre de représentation et de simulation généralement admis en tant que référence commune. Il est aidé en cela par le caractère scientifique des approches utilisées : il s'appuie sur des faits mesurables, et vérifiables a posteriori.

Les engagements pris sur les niveaux de bruit générés ont une certaine crédibilité grâce à ce caractère vérifiable. En fait, l'ajustement du dispositif est rendu possible par un retour d'expérience généralisé (mesures de bruit après mise en service des routes, évaluation des résultats de négociation avec les parties prenantes : riverains, associations, ..).

Phénomène physique → dispositif scientifique pour observer, quantifier, simuler → dispositif technique global (avec règles d'action publique) largement reconnu
--

#### **4.4.2 L'exemple de la sécurité**

Abordons maintenant la sécurité, et en premier lieu la sécurité routière. Alors que, dans la conscience collective, les accidents étaient considérés il y a encore quelques dizaines d'années plutôt comme une sorte de fatalité, il s'agit maintenant de phénomènes inadmissibles, qu'il convient de réduire le plus possible.

##### **4.4.2.1 La sécurité routière**

La sécurité routière s'est de plus en plus affirmée comme un champ de l'action publique et des divers acteurs impliqués. Un ensemble de dispositifs techniques s'est développé, autour de trois éléments principaux : la route, le véhicule et le conducteur. On parlera ici de « dispositifs sectoriels » pour les désigner. Le schéma initial pourrait être résumé de façon caricaturale par la répartition suivante : aux aménageurs et en premier lieu à l'Etat, l'amélioration de la conception et de l'exploitation routière, aux constructeurs l'amélioration des véhicules, à l'Etat encore la définition des règles de sécurité à respecter par les conducteurs, via le Code de la Route essentiellement. Chaque dispositif sectoriel s'est élaboré en développant ses bases d'information (statistiques d'accidents, de problèmes mécaniques, ...) et de connaissance (crash-tests, études du comportement dynamique des véhicules, biométrie, ...) et en élaborant des règles de conception (règles géométriques de conception en fonction du type de routes, en grande partie liées à la vitesse de référence des véhicules, normes de résistance mécanique, ...).

Parallèlement, un retour d'expérience plus global s'est mis en place avec la mise au point d'un système statistique très fin des accidents, permettant des analyses ponctuelles ou la recherche de corrélations statistiques, et avec l'introduction d'analyses qualitatives approfondies de certains accidents (enquêtes REAGIR). Cette dernière approche, en fournissant un retour d'expériences précieux, et en mobilisant et en développant des capacités d'expertise au niveau local et national, a permis d'aborder une interprétation plus globale des accidents. Ceux-ci sont maintenant considérés très majoritairement comme le résultat d'un enchaînement de causes multiples et non comme le résultat d'un dysfonctionnement totalement représentable via un des dispositifs techniques considérés isolément.

Ces dispositifs techniques ont été appelés à interagir, non seulement par le développement naturel de leurs propres analyses, mais aussi à travers l'émergence de cette approche plus globale. La création et le développement de lieux de mise en commun (centres de recherche spécialisés et particulièrement l'INRETS, institut national de recherche et d'études sur la sécurité, colloques, ...) s'est faite en parallèle, et l'on est passé de la vision d'une causalité « mécanique » appartenant à des domaines cloisonnés ou interagissant de façon simple, à la vision d'une causalité « systémique », conditionnée par les interactions entre les éléments de base.

A titre d'exemple, les aménageurs routiers ont constaté assez souvent que la rectification d'un virage supprimait certes le problème de sécurité à cet endroit, mais qu'il semblait alors se déplacer pour se concentrer sur une autre partie de la même route. Les limites de l'analyse par un dispositif sectoriel trop cloisonné apparaissant clairement, diverses considérations telles l'interaction entre le conducteur et la route, ou la « lisibilité » de la route se sont imposées comme champs d'étude et d'action. La notion de « risque perçu » a amené à s'interroger sur l'intérêt des améliorations techniques qui, en engendrant un sentiment de confiance du conducteur, peuvent l'amener à prendre plus de risques, consciemment ou non.

Ainsi, des schémas logiques qui apparaissaient comme des vérités évidentes au niveau d'un dispositif sectoriel pouvaient se révéler douteux ou non fondés, par la confrontation des dispositifs, d'une part, et par l'observation approfondie des phénomènes réels, d'autre part. Un dispositif technique plus global s'est donc construit, avec sa cohérence propre, pour résoudre les incohérences entre dispositifs sectoriels et mieux représenter la complexité des faits observés.

Il est intéressant de noter que ce dispositif plus global, s'il est largement partagé par les experts techniques du domaine, est assez difficilement communicable. Ainsi, le site internet de la sécurité routière du ministère de l'Équipement affiche dans son sommaire les thèmes « l'usager », « le véhicule », « la route », tant il est vrai que l'esprit humain est plus facilement apte à raisonner sur des catégories que sur un « système », et que les dispositifs techniques initiaux n'ont pas disparu pour fusionner dans un dispositif global.

Cela n'empêche pas le champ de l'action publique d'évoluer en synergie avec le dispositif technique global. Cela est particulièrement visible dans les campagnes médiatiques sur la sécurité routière, qui sont passées d'une logique d'information et d'incitation douce à une logique dans laquelle il est devenu admis que des images-choc soient utilisées, afin de changer les attitudes des conducteurs face au danger routier.

#### 4.4.2.2 La sécurité maritime

Préoccupation plus ancienne que la sécurité routière, la sécurité maritime constitue un autre volet intéressant. Là aussi, on a longtemps développé des dispositifs techniques distincts pour la conception des navires, la sécurité des marins et passagers, la signalisation maritime, par exemple.

Bien sûr, la coopération maritime internationale a permis l'émergence de règles de sécurité prenant en compte de multiples éléments, allant de normes de conception technique à la formation des personnels maritimes, en passant par l'obligation d'équipements de sécurité et l'introduction des nouvelles technologies. Mais, en grande partie, ces règles ont émergé de la simple confrontation de solutions émanant de chacun des dispositifs techniques, ou du développement des « meilleures pratiques expérimentées ».

Progressivement, les accidents les plus importants ont mis en lumière que certaines causes essentielles des accidents, quand on analysait en détail leur enchaînement, mettaient en cause des interactions plus complexes, débordant dans le domaine économique notamment.

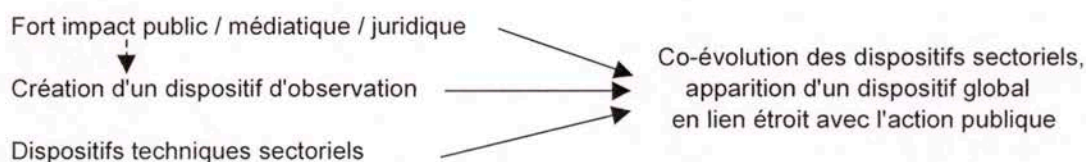
A contrario, on peut noter que, en réponse à la pression médiatique issue des grands accidents de pétroliers, la principale mesure affichée a été l'imposition rapide des pétroliers à double coque<sup>37</sup>. Cette action relève d'un dispositif sectoriel unique, pas d'une approche globale. En outre, elle ne fait pas l'unanimité des experts techniques eux-mêmes. Mais elle a l'avantage d'être facilement compréhensible par le grand public : la partie apparente du dispositif technique peut donc être filtrée, et parfois déformée, par l'action publique ou par sa communication.

<sup>37</sup> Les instances communautaires et nationales ont en fait adopté en plusieurs étapes des « paquets » de mesures plus diversifiées, mais dans le grand public c'est essentiellement la mémoire de la « double coque » qui demeure.

Il est également utile de remarquer que le retour sur expérience n'a pas été développé aussi fortement que pour la sécurité routière, du moins en France : le BEA Mer (bureau d'études après accidents maritimes) n'a été créé qu'il y a quelques années, largement après les enquêtes REAGIR et même après le BEA aérien, mode de transport pourtant beaucoup plus récent. Or on a vu qu'un moteur puissant d'évolution des dispositifs techniques réside dans la généralisation de l'observation, qui permet de constater les incohérences entre les présupposés ou conclusions prédictives d'un dispositif technique et les faits observés. Ainsi, les rapports annuels du BEA mer contiennent des messages précis destinés aux divers dispositifs sectoriels (conception des navires, organisation du travail à bord, signalisation, ...).

Une autre motivation pour développer un dispositif appréhendant mieux la complexité de la sécurité maritime est fournie par la recherche de responsabilité juridique, pour les accidents à forte incidence. Les juges recherchent des experts disposant d'une vision suffisamment globale du sujet, car leur démarche judiciaire couvre l'ensemble des causes possibles et vise à déterminer un partage de responsabilités le moins incohérent possible.

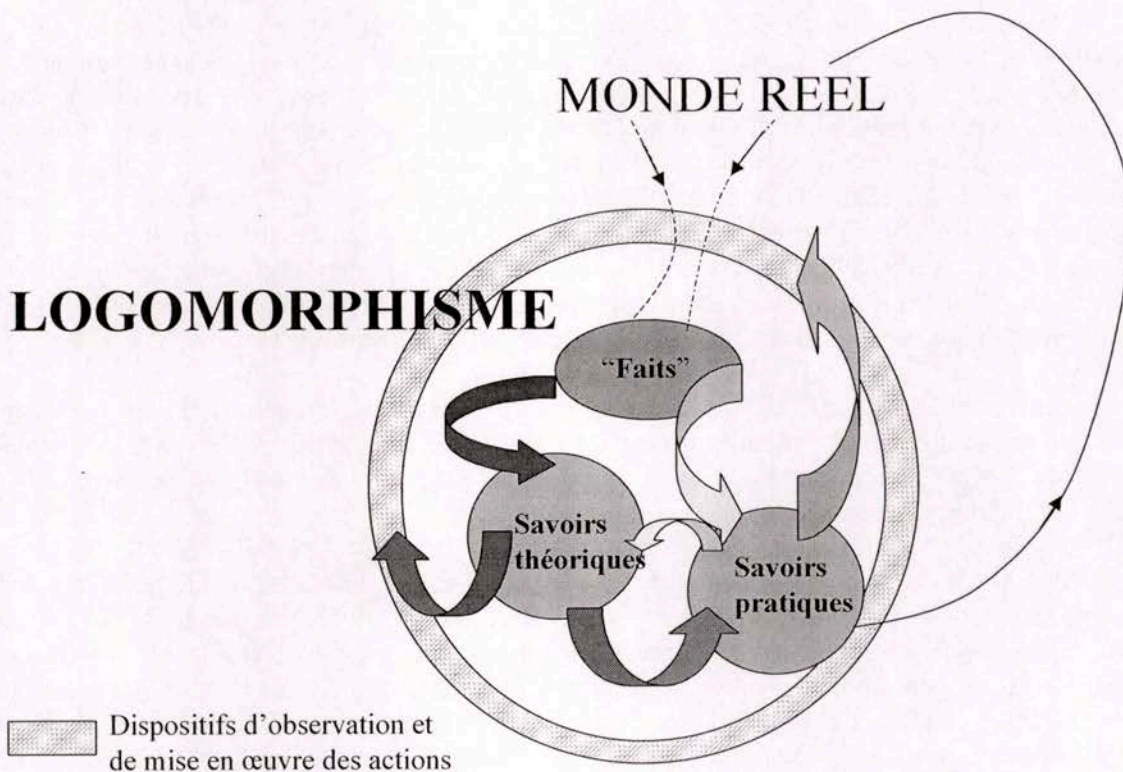
Pour l'enjeu de sécurité, on voit donc sur une durée de quelques dizaines d'années, une interaction de dispositifs techniques qui échangent entre eux et co-évoquent progressivement, le résultat de cette interaction étant l'amélioration des dispositifs techniques existants mais aussi l'émergence d'un dispositif plus global, apte à représenter une réalité complexe de façon plus adéquate et plus cohérente.



A ce stade de la réflexion, il apparaît que les termes « dispositif », « dispositif technique ou sectoriel », peuvent prêter à confusion, car ils conduisent naturellement à penser en termes de structures alors qu'il s'agit de considérer l'information et les savoirs, quels que soient leurs supports structurels.

Aussi à l'issue de cette analyse, on utilisera, faute de mieux, le terme « logomorphisme ». Ce terme désignera par convention l'ensemble des éléments de savoir qui interagissent pour offrir des bases rationnelles permettant de fonder et mener l'action. Cela recouvre tout un ensemble : collectes d'information, méthodes de mesure, d'interprétation, de diagnostic, théories identifiant des liens de causalité, méthodes de simulation des évolutions futures et de définition d'actions, méthodes de mise en oeuvre d'actions, bref l'ensemble du schéma opératoire qui, appliqué à l'examen de la réalité, la réduit à un ensemble rationnellement cohérent, permet de simuler son évolution et d'agir sur elle.





#### 4.5 La construction d'une approche publique pour la multimodalité

Par rapport aux enjeux « transport » qui viennent d'être évoqués, la multimodalité constitue une préoccupation collective relativement plus récente. Si la multimodalité existe en pratique de longue date, son intérêt en matière de développement durable n'a été fortement affirmé que relativement récemment dans le discours public officiel.

Certains acteurs privés, en cherchant à optimiser leur service transport, ou pour gagner un avantage concurrentiel en matière de solutions logistiques, se sont dotés de représentations et de modes d'intervention sur la multimodalité visant à guider et faciliter leur action. Mais la sphère publique est dans l'interrogation face à un domaine qu'elle appréhende mal et sur lequel ses sources d'information, ses schémas de raisonnement ou d'action classiques sont peu opérants ou incertains quant à leurs conséquences. Le schéma classique pyramidal de recherche de cohérence publique lui-même pose problème : il ne s'agit pas seulement de promouvoir une interopérabilité technique entre modes, chaque logomorphisme intégrant alors cette contrainte nouvelle, il ne s'agit plus non plus simplement d'arbitrer entre des discours modaux, mais de maîtriser de nouvelles dimensions, de mener des actions et tenir un discours cohérents sur un problème qui se situe à l'échelle du système global de transports.

De manière similaire à la sécurité qui est la résultante d'interactions entre plusieurs éléments d'un système complexe, la multimodalité est par essence une interaction entre de multiples acteurs, tant de la demande que de l'offre de transport. Mais avant de poursuivre sur le logomorphisme relatif à la multimodalité, il faut tout d'abord regarder un peu plus les fonctions d'un logomorphisme et ses interactions avec son environnement.

Pour être en mesure d'aider à l'action publique, le logomorphisme doit être en mesure de fournir une représentation simple et communicable, d'un système aux interactions très complexes. Il s'agit de capter des informations, les organiser et les interpréter, et de disposer d'une certaine possibilité de simulation. Par essence réductrice, cette intervention est jugée à l'aune de diverses considérations : une obligation de cohérence au niveau du discours, nécessaire à la crédibilité ; une obligation « opérationnelle » : fournir des éléments d'observation et d'interprétation utilisables par les décideurs ; permettre de bâtir des discours facilement communicables ; un souci « déontologique » : assurer une cohérence interne du dispositif, être en mesure de fournir une représentation et une explication aux phénomènes mis en évidence par le dispositif ou, le cas échéant, par une autre source.

Mais pour conforter l'action publique et conforter sa propre existence, le logomorphisme est amené naturellement à réduire l'incertitude qui entoure toute décision engageant l'avenir et toute analyse qu'il mène. Ce faisant, il a peu tendance à faire des analyses de sensibilité ou à écouter des logiques différentes de la sienne.

Pourtant la robustesse des analyses issues du logomorphisme reste faible, tant que la complexité n'est pas convenablement « internalisée » à un niveau suffisant, que ce soit de façon théorique ou pragmatique. Cette question de robustesse fournit-elle une motivation interne au logomorphisme pour qu'il tente de mieux appréhender la complexité des phénomènes réels ? Le problème est que rien ne garantit que la dispersion n'est pas intrinsèque au système complexe qu'il s'agit de gérer : il existe parfois des phénomènes chaotiques, par exemple. En fait, aborder un degré de complexité plus élevé peut conduire à réduire la dispersion tout comme à l'augmenter. L'incitation est donc forte pour continuer sur les bases acquises, même si celles-ci sont fausses, tant qu'un hiatus majeur entre l'analyse et les faits n'est pas mis sous les projecteurs.

Or moins il y a d'évaluation et moins nombreuses et variées sont les données disponibles, plus on réduit le risque de hiatus : la recherche d'une meilleure représentation de la complexité, la qualité de l'observation et son accessibilité sont donc des enjeux ambigus pour le logomorphisme.

Afin de mieux appréhender la complexité, il est donc essentiel d'organiser la confrontation entre logomorphismes, ainsi que le développement du dispositif d'observation et la diffusion des informations.

L'exemple de la sécurité a montré l'importance de se doter d'un dispositif d'observation adapté. Cette importance est vitale pour la multimodalité et cette première étape devrait être réalisée à la bonne échelle, sans rester conditionnée par les limites des logomorphismes existants. Cela suppose d'en revenir à certaines notions de base : retourner au niveau des besoins, définir avant tout ce que l'on devrait mesurer, élaborer des indicateurs et des dispositifs de mesure. De même, les méthodes de diagnostic multimodal sont rudimentaires ou inexistantes, les éléments de connaissances disparates et conditionnés par la représentation des logomorphismes modaux.<sup>38</sup>

---

<sup>38</sup> Il faut noter cependant, par exemple, que diverses initiatives ont récemment vu le jour au sein du Ministère de l'Équipement, pour développer des savoirs sous un angle multimodal. Des lieux universitaires ou quelques bureaux d'étude développent également de telles compétences, à partir de leurs bases traditionnelles. Mais ces initiatives peinent encore à définir des méthodologies ou des outils d'interprétation et de prévision de nature multimodale, elles tentent surtout d'élargir le champ des organismes concernés tout en continuant à utiliser des outils essentiellement issus de dispositifs modaux.

L'exemple de la sécurité a montré également comment le savoir pouvait se bâtir sur des exemples concrets bien analysés de façon pluridisciplinaire : pour la multimodalité, l'utilisation de l'échelle locale et la structuration de la réflexion par « axes » et « pôles » de transport peut partiellement offrir une telle opportunité, à condition que cette réflexion ne reste pas dans l'ornière de la simple confrontation modale. La confrontation des idées, les approches pluridisciplinaires et les dialogues entre praticiens et théoriciens sont très importants. Pour ce faire, plutôt que simplement constituer des structures au fonctionnement linéaire comme on a souvent trop tendance à le faire, bâtir une dynamique collective est souhaitable. Chaque composante peut alors jouer un rôle incitatif pour les autres composantes, en fournissant des éléments de savoir ou des questionnements pertinents. L'interaction entre l'échelle locale et l'échelle nationale peut constituer un exemple de cette incitation mutuelle.

Cela nous amène à la question de l'incitation qui peut pousser un logomorphisme à évoluer. Dans le cas de la sécurité, c'est à chaque fois en constatant que le niveau de complexité traité était insuffisant pour concevoir des actions suffisamment efficaces que les logomorphismes ont évolué. Pour la multimodalité, on est d'emblée face à un phénomène jugé à la fois complexe et critique par certains, avec l'effet de serre notamment. Dans le même temps, par opposition à la sécurité ou au bruit, les conséquences au niveau individuel sont peu perceptibles concrètement. Les discours tenus sur la multimodalité sont souvent très polarisés, « interventionnistes » ou au contraire « laisser-faire ». Cela rappelle les phases d'émergence des préoccupations collectives sur les thèmes de la sécurité et du bruit, lors desquelles on retrouvait des conceptions fortement clivées entre « c'est inadmissible » et « c'est une fatalité ».

La multimodalité relève par nature d'interactions complexes, comme la sécurité. Mais la demande collective et politique voudrait bien entendu des solutions opérationnelles, adaptées et performantes, tout de suite. On voit combien cela est illusoire quand on regarde le temps qu'il a fallu pour que puissent évoluer convenablement les dispositifs relatifs au bruit et à la sécurité, qui pourtant rencontrent un impact très direct et extrêmement fort pour les individus.

Faut-il pour autant démissionner en renonçant à appréhender la multimodalité de façon globale ? Non bien entendu, car plus tard on s'attaquera sur le fond à ce sujet, plus tard on aura des résultats tangibles. Mais, également, car on dispose d'un outil largement utilisé par la science : l'expérimentation. Développer des expérimentations et surtout observer et évaluer objectivement les expériences permettrait, sur un tel sujet, d'accélérer la construction de connaissances théoriques comme pratiques.<sup>39</sup>

La puissance publique ne peut dupliquer les logomorphismes<sup>40</sup>, qui lui sont d'ailleurs de plus en plus extérieurs en raison de la réduction des rôles directs de l'Etat. Elle peut par contre créer les conditions pour que ces logomorphismes interagissent afin de créer l'innovation et tenter de mieux maîtriser la complexité. Observer, expérimenter, analyser, la démarche scientifique reste toujours d'actualité pour les problèmes complexes que l'on choisit de traiter sur le fond, afin de bâtir un savoir collectif plus adapté aux enjeux et mieux à même d'éclairer la définition de l'action publique.

<sup>39</sup> La politique multimodale de la Suisse est menée dans cet esprit : on trouve là une démarche publique volontariste et progressive, lancée après une réflexion préalable approfondie, avec la conscience qu'il s'agit de créer un contexte favorable à l'innovation et à l'imagination, à l'accroissement des connaissances des divers intervenants, avec l'espoir que des solutions viables verront le jour.

<sup>40</sup> A l'attention du lecteur pressé, il est précisé que la définition du terme « logomorphisme » est fournie trois pages plus haut, à la fin de la partie 4.4.



## Bibliographie

- ALEXANDER Ian, ESTACHE Antonio, OLIVERI Adele, 2000, « A few things transport regulators should know about risk and the cost of capital », *Utilities Policies* 9 pp.1-13
- ALLEN Beth , 1982, « Some stochastic processes of interdependent demand and technological diffusion of an innovation exhibiting externalities among adopters », *International Economic Review* 23(3) pp.595-608
- AMSLER Yves, 1998, « Bilan de dix ans de déréglementation et de privatisation des transports urbains en Grande-Bretagne », *Transports Urbains* n°99 pp.3-10
- ANSARI Asim, ECONOMIDES Nicholas, STECKEL Joël, 1998, « The Max-Min-Min principle of product differentiation », *Journal of regional Science* 38 (2) pp.207-230
- ARTHUR, B., 1989, « Competing technologies, increasing returns and lock-in by historical small events », *Economic Journal* 99 pp.116-131
- AYDIN Goker, RYAN Jennifer K., 2000, « Product line selection and pricing under the multinomial logit choice model », <http://gilbreth.ecn.purdue.edu/~jkryan/prodline.pdf>
- AZAR Oferr H. , 2003, « Can price discrimination be bad for firms and good for all consumers ? » *Topics in economic analysis and policy* 3 (1) article 12, Berkeley Electronic Press
- BALCER Yves, LIPPMAN Steven A., 1984, « Technological expectations and adoption of improved technology », *Journal of Economic Theory* 34 (2) pp.292-318
- BARON David P., MYERSON Roger B., 1982, « Regulating a monopolist with unknown costs », *Econometrica* 50 (4) pp.911-930
- BAUMSTARK Luc, BERGOUGNOUX Jean, JESTIN-FLEURY Nicole, 2000, rapport du groupe du Commissariat du Plan, « Services publics en réseau : perspectives de concurrence et nouvelles régulations / instruments de mesure de la performance », La Documentation Française
- BENOIT Jean-Pierre , 1985, « Innovation and imitation in a duopoly », *Review of Economic Studies* 52 (1) pp.99-106
- BERGEMANN Dirk, VÄLIMAKI Jusso, 1997, « Market diffusion with two-sided learning », *RAND Journal of Economics* 28 (4) pp.773-795
- BERNHEIM B-Douglas, WHINSTON Michael-D, 1990, « Multimarket Contact and Collusive Behavior », *RAND Journal of Economics* 21(1) pp.1-26
- BESANKO David, PERRY Martin K., SPADY Richard H., 1990, « The logit model of monopolistic competition : brand diversity », *The Journal of Industrial Economics* 38 (4) pp.397-415

- BESTER Helmut, 1998, « Quality uncertainty mitigates product differentiation », *RAND Journal of Economics* 29 (4) pp.828-844
- BHATTACHARYA S., CHATTERJEE K., SAMUELSON L., 1986, « Sequential research and the adoption of innovations », *Journal of Political Economy* 94 (4) pp.691-719
- BOONE Jan, 2002, « Be nice, unless it pays to fight : a new theory of price determination with implications for competition policy », Discussion paper n°3342 CEPR London
- BOREL Marc, PIRON Vicent, 2003, « Le partenariat public-privé : pour une autre approche de la valeur du temps dans la décision d'investissement publique », *PCM Le Pont* déc. 2003
- BOUCEKKINE Raouf, SAGLAM Cagri, VALLEE Thomas, 2004, « Technology adoption under embodiment : a two-stage optimal control approach », *Macroeconomic Dynamics* 8 (2) pp.250-271
- BOYER Marcel, CLAMENS Séverine, 1997, « Strategic adoption of a new technology under uncertain implementation », *CIRANO* 97s-40
- BOYER Marcel, DIONNE Georges, 1983, « Variations in the probability and magnitude of loss : their impact on risk », *Canadian Journal of Economics* 16 (3) pp.411-419
- BOYER Marcel, DIONNE Georges, 1989, « More on insurance, protection and risk », *Canadian Journal of Economics* 22 (1) pp.202-204
- BRAMOULLE Yann, KRANTON Rachel , 2005, « Strategic experimentation in networks », <http://www.ecn.ulaval.ca/pages/Professeurs/docs/StrategicExperimentation.pdf>
- BRIYS Eric, SCHLESINGER Harris , 1990, « Risk aversion and the propensities for self-insurance and self-protection », *Southern Economic Journal* 57 (2) pp.458-467
- BRIYS Eric, SCHLESINGER Harris, GRAF von SCHULENBURG J.Matthias, 1991, « Reliability of risk management : market insurance, self-insurance and self-protection reconsidered », *The Geneva papers on risk and insurance theory* 16 (1) pp.45-58
- BULOW Jeremy I., GEANAKOPOLOS John D., KLEMPERER Paul D., 1985, « Multimarket oligopoly : strategic substitutes and complements », *Journal of Political Economy* 93 (3) pp.488-511
- CAILLAUD Bernard, JULLIEN Bruno , 2003, « Chicken and egg : competition among intermediation service providers », *RAND Journal of Economics* 34 (2) pp.309-328
- CASSIMAN Bruno, UEDA Masako, 2002, « Optimal project rejection and new firm start-ups », *CEPR Discussion Papers*: 3429
- CHAMBERLIN E., 1933, « The theory of monopolistic competition », Cambridge, Harvard University Press
- CHAMLEY Christophe, GALE Douglas, 1994, « Information revelation and strategic delay in a model of investment », *Econometrica* 62 (5) pp.1065-1085

- CHANG Yang-Ming, EHRLICH Isaac, 1985, « Insurance, protection from risk, and risk-bearing », *Canadian Journal of Economics* 18(3) pp.574-586
- CHE Yeon-Koo, 1993, « Design competition through multidimensional auctions », *RAND Journal of Economics* 24 (4) pp.668-680
- CHE Yeon-Koo, 2000, « Difference-form contests and the robustness of all-pay auctions », *Games and economic Behaviour* 30 pp.22-43
- CHOI J.P., 1994, « Irreversibility choice of uncertain technologies with network externalities », *RAND Journal of Economics* 25 (3) pp.382-401
- COHEN Michèle, TALLON Jean-Marc, 2000, « Décision dans le risque et l'incertain : l'apport des modèles non additifs », *Revue d'Economie Politique* 110 (5) pp.631-681
- Collectif ENA sous la direction de STOFFAES Christian, 1997, « Services publics comparés en Europe », La Documentation Française
- COURBAGE Christophe, 2000, « Demande de soins préventifs et curatifs », *Revue d'Economie Politique* 110 (3) pp.382-393
- CUISIGNIEZ Rémy, 1997, « L'assurance maritime et la prévention des sinistres », thèse - 553 pages, Université Aix-Marseille 3, 97AIX32017
- D'ASPREMONT C., GABSZEWICZ J.J., THISSE J.-F., 1979, « On Hotelling's « Stability in competition » », *Econometrica* 47 (5) pp.1145-1150
- D'ASPREMONT Claude, DOS SANTOS FERREIRA Rodolphe, GERARD-VARET Louis-André, 2003, « Competition for market share or for market size : oligopolistic equilibria with varying competitive toughness », CORE DP n° 2003/10
- DALLE Jean-Michel, 1998, « Local interaction structures, heterogeneity and the diffusion of technological innovations », in Orléan A. & Lesourne J. (ed) « Self-organization and evolutionary approaches: new developments », *Economica*: Paris, pp.240-261
- DAS VARMA Gopal, 2001, « Bidding for a process innovation under alternative modes of competition », *International Journal of Industrial Organization* 21 (1) pp.15-37
- DE BORGER B., COURCELLE C., SWYSEN D., 2003, « Optimal pricing of transport externalities in a federal system », *Journal of Transport Economics and Policy* 37(1) pp.69-94
- DEROÏAN Frédéric, 2002, « Formation of social networks and diffusion of innovations », *Research Policy* 31 (5) pp.835-846
- DI MAURO Carmela, MAFFIOLETTI Anna, 1996, « An experimental investigation of the impact of ambiguity on the valuation of self-insurance and self-protection », *Journal of Risk and Uncertainty* 13 pp.53-71
- DIAMOND Douglas W., 1984, « Financial intermediation and delegated monitoring », *Review of economic studies* 51(3) pp.393-414

- DIONNE Georges, EECKHOUDT Louis, 1985, « Self insurance, self-protection and increased risk aversion », *Economic Letters* 17 (1-2) pp.39-42
- Divers auteurs, 2004, « La politique des transports en Suisse et son volet ferroviaire », *Rail International* janvier 2004
- Divers auteurs, rapporteur MATHIEU Michel, 2003, « Evaluation des politiques publiques en faveur du transport combiné rail-route », rapport du groupe de travail du Conseil National de l'Evaluation, La Documentation Française
- Divers auteurs, 1997, SAVY Michel rapporteur, « Le rail et la route », Presses de l'ENPC
- Divers auteurs, 2004, « Transports et décentralisation » Table ronde CEMT, 23-24 sept. 2004
- DIXIT Avinash K, STIGLITZ Joseph E, 1977, « Monopolistic competition and optimum product diversity », *American Economic Review* 67 (3) pp. 297-308
- DUBREUIL Delphine, GOUVERNAL Elisabeth, 2002, « Transport intermodal portuaire : le cas de Hambourg », rapport INRETS n° 247
- DUNCOMBE William, YINGER John, 1993, « An analysis of returns to scale in public production, with application to fire protection », *Journal of Public Economics* 52 pp.49-72
- ECONOMIDES Nicholas, 1989, « Symmetric equilibrium existence and optimality in differentiated product markets », *Journal of Economic Theory* 47 (1) pp.178-194
- ECONOMIDES Nicholas, 1996, « The economics of networks », *International Journal of Industrial Organization* 14 (6) pp.673-699
- EDLIN Aaron, KARACA-MANDIC Pinar, « The accident externality from driving », Working Paper Series 1058, <http://ideas.repec.org/p/cdl/econwp/1058.html>
- EHRlich Isaac, BECKER Gary S., 1972, « Market insurance, self-insurance and self-protection », *Journal of Political Economy* 80 (4) pp.623-648
- ELLISON Glenn , 1993, « Learning, local interaction and coordination », *Econometrica*, 61 (5) pp.1047-1071
- ENCAOUA David, MOREAUX Michel, 1987, « Concurrence et monopole naturel : une approche par la théorie des jeux », *Annales d'Economie et de Statistique* n°8 pp. 89-116
- ENGEL Eduardo M., FISCHER Ronald, GALETOVIC Alexander , 2004, « Toll competition among congested roads », *Topics in economic analysis and policy* 4 (1) pp.1-19
- FARRELL Joseph, 2003, « Integration and independent innovation on a network », *Competition policies in network industries* 93 (2) AEA papers and proceedings pp.420-424
- FARRELL Joseph, SALONER Garth , 1985, « Standardization, compatibility and innovation », *RAND Journal of Economics* 16 (1) pp.70-83
- FARRELL Joseph, SALONER Garth , 1986, « Installed base and compatibility : innovation, product preannouncements and predation », *American Economic Review* 76 (5) pp.940-955



- FARZIN Y.H., HUISMAN K.J.M. and KORT P.M., 1998, « Optimal timing of technology adoption », *Journal of Economic Dynamics and Control* 22 (5) pp.779-799
- FERSHTMAN Chaim, PAKES Ariel, 2000, « A dynamic oligopoly with collusion and price wars », *RAND Journal of Economics* 31 (2) pp.207-236
- FREDOUET Charles-H., GUERIN Frank, 2000 « Réorganisation des places portuaires : vers un système de pilotage inter-organisationnel », <http://www.aim2000.univ-montp2.fr/~aim2000/pdf/Fredouet.pdf>
- FRIEDMAN James W ., THISSE Jacques-François, 1993, « Partial collusion fosters minimum product differentiation », *RAND Journal of Economics* 24 (4) pp.631-645
- FUDENBERG Drew, TIROLE Jean, 1985, « Dynamic models of oligopoly », in *Encyclopedia of Economics*, Lesourne et Sonnenschein eds
- FUDENBERG Drew, TIROLE Jean, 1985, « Preemption and rent equalization in the adoption of new technology », *Review of Economic Studies* 52 (3) pp.383-401
- GABSZEWICZ Jean J., THISSE Jacques-François, 2000, « Microeconomic theories of imperfect competition », *Cahiers d'Economie Politique* 37 pp.47-99
- GAGNEPAIN P, IVALDI M, 2002, « Incentive regulatory policies : the case of public transit systems in France », *RAND journal of economics* 33 (4) pp 605-629
- GAUTIER Axel, MITRA Manipushpak, 2003, « Financing infrastructure under budget constraints », *Document de discussion du CORE 2003/37*
- GLAZER Amihai, NISKANEN Esko, 2000, « Which consumers benefit from congestion tolls? », *Journal of Transport Economics and Policy* 34 (1) pp.43-54
- GOLLIER Christian, 2001, « The economics of risk and time », MIT Press
- GOLLIER Christian, HARITCHABALET Carole, 2000, « Assurance et prévention optimale, *Revue d'Economie Politique* 110 (2) pp.181-205
- GÖTZ George, 2000, « Strategic timing of adoption of new technologies under uncertainty : a note », *International Journal of Industrial Organization* 18 (2) pp.369-379
- GRONAU Ruben , 2000, « Optimum diversity in the public transport market », *Journal of Transport Economics and Policy* 34 (1) pp.21-41
- GROSSMAN Sanford J., HART Oliver D., 1986, « The costs and benefits of ownership : a theory of vertical and lateral integration », *Journal of Political Economy* 94 (4) pp.691-719
- HASMAN Andreas, ÖSTERDAL Lars Peter, 2004, « Equal value of life and the Pareto principle », *Economics and philosophy* 20 pp. 19-33
- HENDERSON Rebecca, 1999, « Typology of innovation diffusion », Draft note sept. 1999 [www.mit.edu/afs/athena/course/15/15.932](http://www.mit.edu/afs/athena/course/15/15.932)

- HOPPE Heidrun, 2002, « The timing of new technology adoption : theoretical models and empirical evidence », *The Manchester School* 70 pp.56-79
- HOPPE Heidrun C, 2000, « Second mover advantages in the strategic adoption of new technology under uncertainty », *International Journal of Industrial Organization* 18 (2) pp.315-338
- HOPPE Heidrun, OZDENOREN Emre, 2005, « Intermediation in innovation », *International Journal of Industrial Organization* 23(5-6) pp. 483-503.
- HOTELLING Harold, 1929, « Stability in competition », *The Economic Journal* vol.39 n°153 pp.41-57
- HUBBARD Susan M., HAYASHI Susan W., 2003, « Use of diffusion of innovations theory to drive a federal agency's program evaluation », *Evaluation and Program Planning* 26 pp.49-56
- HUBNER Heinz, 1996, « Decisions on innovation and diffusion and the limits of deregulation », *Technovation* vol. 16 (7) pp. 327-339
- INNES R. , SEXTON R.J, 1993, « Customer coalitions, monopoly price discrimination and generic entry deterrence », *European Economic Review* 37 (8) pp.1569-1597
- IRELAND N., STONEMAN Paul, 1986, « Technological diffusion expectations and welfare », *Oxford Economic Papers* 38 pp.283-304
- IVALDI M., JULLIEN B., REY P., SEABRIGHT P. et TIROLE J., 2003, « The economics of tacit collusion », rapport final pour la DG Concurrence, Commission Européenne
- JENSEN Richard, 1992, « Innovation adoption and welfare under uncertainty », *Journal of Industrial Economics* 40 pp.173-180
- JENSEN Richard, 1982, « Adoption and diffusion of an innovation of uncertain profitability », *Journal of Economic Theory* 27 (1) pp.182-193
- JULLIEN Bruno, SALANIE Bernard, SALANIE François, 1999, « Should more risk-averse agents exert more effort ? », *Geneva Papers on Risk and Insurance Theory* 24 (1), pp.19-28
- JULLIEN Bruno, SALANIE Bernard, SALANIE François, 2001, « Screening risk-averse agents under moral hazard », *CEPR Discussion Paper* 3076
- JUSTMAN Moshe, MEHREZ Abraham, 1988, « Extremal configurations for optimal prevention and damage control », *European Economic Review* 32 (8) pp. 1637-1643
- KALDOR N., 1935, « Market imperfection and excess capacity », *Economica* n°2 pp. 35-50
- KAMIEN Morton I., SCHWARTZ Nancy L., 1973, « Payment plans and the efficient delivery of health care services », *The Journal of Risk and Insurance* 40 (3) pp.427-436
- KAPUR S., 1995, « Technological diffusion with social learning », *Journal of Industrial Economics* 43 (2) pp.173-195

- KARSHENAS Massoud, STONEMAN Paul, 1995, « Technological diffusion », in Handbook of the economics of innovation and technological change, Paul STONEMAN ed, Basil Blackwell, Oxford
- KATZ Michael L., SHAPIRO Carl, 1986, « Technology adoption in the presence of network externalities », *Journal of Political Economy* 94 (4) pp.822-841
- KIDOKORO Yukihiro, 2003, « The effects of price regulation in contracting out transport services », *Journal of Transport Economics and Policy* 37 (1) pp.111-132
- KIM Byung-Do, SHI Mengze, SRINIVASAN Kannan, 2004, « Managing capacity through reward programs », *Management Science* 50 (4) pp.503-520
- KLEMPERER Paul, 1998, « Welfare effects of entry into markets with switching costs », *The Journal of Industrial Economics* 37 (2) pp.159-165
- KLEMPERER Paul, PADILLA A Jorge, 1997, « Do firms' product lines include too many varieties ? », *RAND Journal of Economics* 28 (3) pp. 472-488
- KRÄHMER Daniel, 2003, « Entry and experimentation in oligopolistic markets for experience goods », *International Journal of Industrial Organization* 21 (8) pp.1201-1213
- KREPS David, WILSON Robert, 1982, « Reputation and imperfect information », *Journal of Economic Theory* 27 (2) pp. 253-279
- KRUGMAN Paul, 1991, « History versus expectations », *Quarterly Journal of Economics* 106 (2) pp. 651-667
- LAFFONT Jean-Jacques, 1976, « La théorie économique de l'auto-protection », *Revue Economique* 27 (4) pp.561-588
- LAFFONT Jean-Jacques, 1987, « Le risque moral dans la relation de mandat », *Revue Economique* 38 (1) pp.5-23
- LAFFONT Jean-Jacques, 1994, « The new economics of regulation ten years after », *Econometrica* 62 (3) pp.507-537
- LAFFONT Jean-Jacques, ROCHET Jean-Charles, 1998, « Regulation of a risk adverse firm », *Games and Economic Behavior* 25 pp.149-173
- LAFFONT Jean-Jacques, TIROLE Jean, 1986, « Using cost observation to regulate firms », *Journal of Political Economy* 94 (3) pp.614-641
- LEE Hun, SMITH Ken G., GRIMM Curtis M., 2003, « The effect of new product radicality and scope on the extent and speed of innovation diffusion », *Journal of Management* 29 (5) pp.753-768
- LEE Kangoh, 1998, « Risk aversion and self-insurance cum protection », *Journal of Risk and uncertainty* 17 pp.139-150
- LEE Kangoh, 1992, « Moral hazard, insurance and public loss prevention », *Journal of Risk and Insurance* 59 (2) pp.275-283

- LEVINSON David, 2000, « Revenue choice on a serial network », *Journal of Transport Economics and Policy* 34 (1) pp.69-98
- LEWIS Tracy R., SAPPINGTON David E.M., 1988, « Regulating a monopolist with unknown demand and cost functions », *RAND Journal of Economics* 19 (3) pp.438-457
- LEWIS Tracy R., SAPPINGTON David E.M., 1989, « Regulatory options and price-cap regulation », *RAND Journal of Economics* 20 (3) pp.405-416
- LEWIS Tracy, SAPPINGTON David, 1997, « Penalizing success in dynamic incentive contracts : no good deed goes unpunished ? », *RAND Journal of Economics* 28 (2) pp.346-358
- LIPPMAN Steven A., MAMER John W., 1993, « Preemptive innovation », *Journal of Economic Theory* 61 (1) pp.104-119
- LOLLIVIER Stefan, ROCHET Jean-Charles, 1983, « Bunching and second-order conditions : a note on optimal tax theory », *Journal of Economic Theory* 31 (2) pp.392-400
- MACHINA Mark J., 1989, « Dynamic consistency and non-expected utility models of choice under uncertainty », *Journal of Economic Literature* 27 (4) pp.1622-1668
- MAGNAC Thierry, VERDIER Thierry, 1993, « Welfare aspects of technological adoption with learning », *Journal of Public Economics* 52 (1) pp.31-48
- MANSFIELD, E., 1968, « Industrial research and technological innovation : an econometric analysis », London, Longman
- MANTOVANI Andrea, MION Giordano, 2002, « Advertising and endogenous exit in a differentiated duopoly », Document de discussion du CORE décembre 2002
- MARIN Pedro L., SICOTTE Richard, 2003, « Exclusive contracts and market power : evidence from ocean shipping », *Journal of Industrial Economics* 51 pp. 193-214
- MARIOTTI Marco, 1992, « Unused innovations », *Economics Letters* 38 (3) pp. 367-371
- MASKIN Eric, 2004, « Bargaining, coalitions and externalities », Séminaire ETAPE 22 mars 2004
- MASKIN Eric, TIROLE Jean, 1988, « A theory of dynamic oligopoly, I : overview and quantity competition with large fixed costs », *Econometrica* 56 (3) pp.549-569
- MASKIN Eric, TIROLE Jean, 1988, « A theory of dynamic oligopoly, II : price competition, kinked demand curves, and Edgeworth cycles », *Econometrica* 56 (3) pp.571-599
- MATHEWSON G.Franck, WINTER Ralph A., 1997, « Buyer groups », *International Journal of Industrial Organization* 15 (2) pp. 137-164
- MATSUYAMA Kiminori, 1991, « Increasing returns, industrialization and indeterminacy of equilibrium », *Quarterly Journal of Economics* 106 (2) pp.617-650
- MAZZEO Michael J., 2002, « Product choice and oligopoly market structure », *RAND Journal of Economics* 33 (2) pp.221-242

- MEIER Volker, 1999, « Health insurance and preventive behaviour », *Journal of Institutional and Theoretical Economics* 155 (2) pp.383-404
- METCALFE, S., 1995, « The economic foundation of technology policy : equilibrium and evolutionary perspectives », in *Handbook of the economic of innovation and technical change*, pages 533-552, Stoneman P. (ed.), Basil Blackwell, Oxford
- MOATTI Jean-Paul, 1989, « Economie de la sécurité », *La Documentation Française*
- MOOKHERJE Dilip, PNG I.P.L., 1994, « Marginal deterrence in enforcement of law », *Journal of Political Economy* 102 (5) pp.1039-1066
- MOON Myung Yae, BRETSCHEIDER Stuart, 1997, « Can state government actions affect innovation and its diffusion ? An extended communication model and empirical test », *Technological forecasting and social change* 54 pp. 57-77
- MUREN Astri, 2000, « Quality assurance in competitively tendered contracts », *Journal of Transport Economics and Policy* 34 (1) pp.99-112
- NIERAT Patrick, 1997, « Market area of rail-truck terminals : pertinence of the spatial theory », *Transportation Research A* 31 (2) pp. 109-127
- NOMBELA Gustavo, de RUS Ginès, 2004, « Flexible-term contracts for road franchising », *Transportation Research part A* 38 (3) pp.163-179
- OUM Tae Hoon, ZHANG Anming, ZHANG Yimin, 2004, « Alternative forms of economic regulation and their efficiency implications for airports », *Journal of Transport Economics and Policy* 38 (2) pp.217-246
- PAIXÃO A.C., MARLOW P.B., 2002, « Strengths and weaknesses of short sea shipping », *Marine Policy* 26 pp.167-178
- PARK In-Uck, 2004, « A simple inducement scheme to overcome adoption externalities », *Contributions to Theoretical Economics* 4 (1) pp.1-24
- PHELPS Charles E., 1978, « Illness prevention and medical insurance », *The Journal of Human Resources* 13 supplement pp.183-207
- PHILIPSON Tomas, 1996, « Private vaccination and public health : an empirical examination for U.S. measles » *The Journal of Human Resources* 31 (3) pp.611-630
- PICARD Pierre, 2000, "Economic Analysis of Insurance Fraud," in *Handbook of Insurance*, G.Dionne (Ed.), Kluwer Academic Publishers, Boston, pp.315-362
- PIRON Vincent, 2004, « La dimension économique du partenariat public-privé dans les transports », *Transports n°424* pp.93-103
- POLBORN Mattias K., 1998, « Mandatory insurance and the judgment-proof problem », *international Review of Law and Economics* 18 pp.141-146
- PONTRYAGUINE, 1974, « Le principe du maximum et le calcul des variations », *Editions de Moscou*

- POTTER Barry H., 1997, « Dedicated road funds : a preliminary view on a World Bank initiative » , IMF paper on policy analysis and assessment 97/7 (june) (Washington : International Monetary Fund)
- POVEL Paul, 2004, « Multiple banking as a commitment not to rescue ? », *Research in Finance* 21 pp.175-199
- PRATT John W., ZECKHAUSER Richard J., 1996, « Willingness to pay and the distribution of risk and wealth », *Journal of Political Economics* 104 (4) pp.745-763
- PUNTES Robert, BAILEY Linda, 2003, « Improving metropolitan decision making in transportation : greater funding and devolution for greater accountability », *The Brookings Institution Series on Transportation Reform* oct. 2003, [www.brookings.edu](http://www.brookings.edu)
- QUIRMBACH Herman C., 1986, « The diffusion of new technology and the market for an innovation », *RAND Journal of Economics* 17 (1) pp.33-47
- RAPP Matthias, 2004, « La RPLP en Suisse : concept innovant de péage routier et succès », *TEC Transport Environnement Circulation* n° 181 pp.22-26
- RAUX Charles, SOUCHE Stéphanie, 2004, « The acceptability of urban road pricing / A theoretical analysis applied to experience in Lyon », *Journal of Transport Economics and Policy* 38 (2) pp.191-216
- REINGANUM Jennifer F., 1981, « Market structure and the diffusion of new technology », *Bell Journal of Economics* 12 (2) pp.613-324
- REINGANUM Jennifer F., 1981, « On the diffusion of new technology : a game theoretic approach », *Review of Economic Studies* 48 (3) pp. 395-405
- RIORDAN Michael H., 1984, « Uncertainty, asymmetric information and bilateral contracts », *Review of Economic Studies* 51 pp.83-93
- RIORDAN Michael H. , 1992, « Regulation and preemptive technology adoption », *RAND Journal of Economics* 23 (3) pp.334-349
- RIORDAN Michael H., SALANT David J., 1994, « Preemptive adoptions of an emerging technology », *The Journal of Industrial Economics* 42 (3) pp.247-261
- ROCHET Jean-Charles, TIROLE Jean, 2002, « Cooperation among competitors : some economics of payment card associations », *RAND Journal of Economics* 33 (4) pp.549-570
- ROCHET Jean-Charles, TIROLE Jean, 2003, « Platform Competition in Two-Sided Markets », *Journal of the European Economic Association* 1 (4) pp.990-1029
- ROGERS Everett M., 2002, « Diffusion of preventive innovations », *Addictive Behaviors* 27 (6) pp.989-993
- ROLLER Lars-Hendrik, SICKLES Robin C., 2000, « Capacity and product market competition: measuring market power in a "puppy-dog" industry », *International Journal of industrial organization* 18 (6) pp.845-865

- RUBINSTEIN Ariel, WOLINSKY Asher, 1987, « Middlemen », *Quarterly Journal of Economics* 102 (3) pp.581-593
- SAINT-PAUL Gilles, 2003, « Information sharing and cumulative innovation in business networks », papier GREMAQ oct 2003
- SALANIE Bernard, 1990, « Sélection adverse et aversion pour le risque », *Annales d'Economie et de Statistique* 18 pp.131-149
- SALOP Steven C., 1979, « Monopolistic competition with outside goods », *The Bell Journal of Economics* 10 pp.141-156
- SAMUELIDES Esther, 2004, « L'adoption d'innovations technologiques par les opérateurs de téléphonie mobile : les stratégies sur les nouveaux marchés », <http://www.sceco.univ-montpl.fr/creden/Seminaires/wp1.pdf>
- SAPPINGTON David, 1980, « Strategic firm behavior under a dynamic regulatory adjustment process », *Bell Journal of Economics* 11 (1) pp.360-372
- SARACHO Ana I., 1997, « The diffusion of a durable embodied capital innovation », *Economic Letters* 54 pp. 45-50
- SCHLESINGER Harris, VENEZIAN Emilio, 1986, « Insurance markets with loss-prevention activity : profits, market structure, and consumer welfare », *Rand Journal of Economics* 17 (2) pp.227-238
- SELWAN Fadi, 2003, « Péage virtuel : l'expérience d'Eiffage au Portugal », *PCM Le Pont* déc.2003
- SHOGREN Jason F., 1990, « The impact of self-protection and self-insurance on individual response to risk », *The Journal of Risk and Uncertainty* 3 (2) pp.191-204
- SLACK Brian, 2004, « Les défis du transport intermodal en Amérique du Nord », séminaire INRETS du 13 mai 2004
- SMIRNOV Vladimir, WAIT Andrew, 2004, « Industry sunk costs and entry dynamics », *Economics Bulletin* 12 (4) pp.1-7
- STENBACKA Rune, TOMBAK Mihkel M., 1994, « Strategic timing of adoption of new technologies under uncertainty », *International Journal of Industrial Organization* 12 pp.387-411
- STONEMAN Paul, 1990, « Technological diffusion with horizontal product differentiation and adaptation costs », *Economica* 57 pp.49-61
- STONEMAN Paul, DIEDEREN Paul, METCALFE J.S., GREENAWAY D., 1994, « The diffusion of new technology - Policy Forum », *Economic Journal* 104 n°425 pp.916-944
- SWEENEY George H., BEARD T.Randolph, 1992, « The comparative statics of self-protection », *The Journal of Risk and Insurance* 59 (2) pp.301-309

- TANAKA Yasuhito, 2001, « Evolution to equilibrium in an asymmetric oligopoly with differentiated goods », *International Journal of Industrial Organization* 19 (9) pp.1423-1440
- TETU Claude, 2004, « Le péage urbain de Londres », *TEC Transport Environnement Circulation* n° 181 pp.16-21
- TIROLE Jean, 1988, "The theory of industrial organization", MIT Press
- TRUJILLO Lourdes, NOMBELA Gustavo, 1999, « Privatization and regulation of the seaport industry », *The World Bank, Policy Research Working Paper Series*: 2181
- VERHOEF Erik T., SMALL Kenneth A., 2004, « Product differentiation on roads (constrained congestion pricing with heterogeneous users) », *Journal of Transport Economics and Policy* 38 (1) pp.127-156
- VISCUSI W. Kip, 1992, « Fatal tradeoffs : public and private responsibilities for risk », Oxford University Press 1992
- VITON Philip A., 1981, « Competition and product differentiation in urban transportation : the San Francisco Bay Area », *The Bell Journal of Economics* 12 (2) pp.362-379
- WEITZMAN Martin L., 1974, « Price vs quantities », *Review of Economic Studies* 41 (4) pp.477-491
- YANELLE Marie-Odile, 1989, « The strategic analysis of intermediation », *European Economic Review* 33 (2) pp.294-301
- ZIMMERMANN Jean-Benoît, DEROÏAN Frédéric, 2001, « Cumul d'influences et réseaux sociaux : une application aux processus de diffusion de l'innovation », *Revue d'Economie Industrielle* 96 (3) pp.7-27



## Glossaire des termes relatifs au transport

<b>Affrètement</b>	(contrat de) location d'un véhicule de transport pour une durée déterminée ou pour un ou plusieurs voyages déterminés; un navire peut être loué "coque nue" c'est-à-dire sans équipage, ou armé; <sup>1</sup>
<b>Armateur</b>	entité qui arme un navire et l'utilise pour la navigation commerciale; peut être propriétaire du navire, mais pas nécessairement
<b>Autoroutes de la Mer</b>	concept de service régulier de navires pour le transport de véhicules routiers, à haut niveau de service et trafic élevé
<b>Cabotage</b>	transport de courte distance, de façon générale; en transport terrestre, ce terme renvoie aux anciennes autorisations spécifiques de cabotage, avant l'ouverture à la concurrence du transport routier, qui étaient nécessaires à un transporteur d'un pays de l'Union Européenne pour effectuer un transport interne à un autre pays de l'UE
<b>Cabotage maritime</b>	navigation entre ports relativement peu éloignés, le long des côtes; diverses définitions existent; schématiquement, elles excluent toutes les transports maritimes inter-continentaux de longue distance mais peuvent inclure, par exemple, la navigation entre ports méditerranéens
<b>Caisse mobile</b>	UTI utilisable en transport terrestre et combiné rail-route, manutentionnée à l'aide de pinces (divers types : remorque bâchée, fourgon, réfrigérée, mais en général non empilables)
<b>Carrier haulage</b>	organisation directe par l'armateur de l'acheminement terrestre des marchandises transportées par voie maritime, pour le compte de son client, sans passer par un transitaire ou un autre intermédiaire de transport (voir "merchant haulage")
<b>Chargeur</b>	entité, propriétaire ou non de la marchandise, qui conclut le contrat de transport avec le transporteur et, généralement, lui remet la marchandise à transporter;  le chargeur peut être un chargeur "direct", industriel ou autre générateur de trafic propriétaire de la marchandise, ou un intermédiaire de transport agissant pour le compte de son client chargeur
<b>Commissionnaire de transport (CT)</b>	intermédiaire chargé d'organiser et de faire exécuter l'ensemble des procédures afférentes à un transport de marchandises (expédition, réception et stockage) pour le compte d'un commettant, et qui choisit librement les transporteurs ou les autres intermédiaires et traite avec eux en son nom propre.  Il a une obligation de résultat et non de moyens vis-à-vis de son client, et engage largement sa propre responsabilité en contrepartie de la liberté d'action dont il dispose.
<b>Compte d'autrui</b>	transport de marchandises contre rémunération pour le compte d'un tiers

<sup>1</sup> le terme "affrètement" est utilisé dans de nombreux sens spécifiques : sous-traitance entre transporteurs, remise de fret à un transporteur par un commissionnaire de transport sans groupage préalable, ...

<b>Compte propre</b>	transport par un chargeur de ses propres marchandises à l'aide de véhicules en propriété ou pris en location
<b>Conteneur</b>	boîte métallique de conception standardisée pour le transport de marchandises (marchandises diverses, liquides ou solides); divers standards existent, en dimensions, et en équipements particuliers
<b>Conteneur reefer</b>	conteneur réfrigéré
<b>Conteneur maritime</b>	conteneur répondant aux standards du transport maritime (les plus utilisés sont les conteneurs de 20 pieds ou de 40 pieds, certains dits "high cube" sont nettement plus gros mais utilisés sur des marchés très spécifiques, pas en Europe); ces conteneurs sont suffisamment rigides pour être empilables ou "gerbables", c'est-à-dire entreposés les uns sur les autres sur plusieurs hauteurs; des réflexions sont en cours pour définir de nouveaux standards permettant d'optimiser les conteneurs maritimes en fonction des dimensions des palettes utilisées en transport terrestre
<b>Conteneur terrestre</b>	conteneur optimisé pour le transport des palettes ISO ou européennes
<b>Customisation</b>	personnalisation d'un produit pour un consommateur donné, à partir d'un produit plus indifférencié
<b>Dépotage</b>	opération de déchargement de marchandises transportées à l'intérieur d'un conteneur ou d'une citerne
<b>Empotage</b>	opération de chargement de marchandises transportées à l'intérieur d'un conteneur ou d'une citerne
<b>Feeder</b>	navire porte-conteneurs plus petit que les navires-mères, réalisant en TMCD la collecte ou la distribution des conteneurs, en correspondance entre un hub et un autre port (navire "nourricier" servant à massifier les trafics des grands porte-conteneurs)
<b>Feederling</b>	organisation de transport maritime faisant appel à des correspondances maritimes entre ports principaux (hubs) et ports dits secondaires
<b>Ferroutage</b>	transport combiné rail-route par remorques ou semi-remorques routières
<b>Ferry</b>	navire transportant des passagers ainsi que leurs véhicules, et très souvent des véhicules de transport routier de marchandises
<b>Fluvio-maritime</b>	transport assuré par des petits navires aptes à naviguer à la fois en mer et sur le réseau fluvial
<b>Fret</b>	terme désignant soit la marchandise transportée, soit le prix de son transport (taux de fret)
<b>Groupage</b>	opération par laquelle des envois de marchandises en provenance de plusieurs expéditeurs et/ou à l'adresse de plusieurs destinataires sont réunis et constitués en un lot unique en vue de leur transport (exemple : plusieurs envois dans un même conteneur)

<b>Hinterland</b>	zone terrestre correspondant à la pénétration commerciale d'un port. La vive concurrence entre ports européens a rendu fluctuante cette notion, initialement très géographique et liée aux distances d'acheminement terrestre.  L'hinterland désigne maintenant plutôt une zone pour laquelle la desserte terrestre à partir du port considéré et les connexions maritimes de ce dernier conduisent à un coût généralisé de transport inférieur à celui des chaînes de transport passant par un port concurrent.
<b>Hub</b>	port choisi par un armement pour y concentrer ses grands services intercontinentaux de porte-conteneurs; cette logique de sur-massification se conjugue généralement avec la feederisation
<b>Intermodal</b>	voir transport intermodal
<b>Intermodalité</b>	utilisation consécutive de plusieurs modes de transport en évitant les ruptures de charge
<b>Juste-à-temps</b>	organisation de production/distribution industrielle en flux tendus, visant à minimiser les stocks
<b>Ligne régulière</b>	desserte maritime entre deux ports ou plus, organisée selon un calendrier régulier
<b>Logomorphisme</b>	ensemble des éléments de savoir qui interagissent pour offrir des bases rationnelles permettant de fonder et mener l'action (méthodes et résultats d'observation, de mesure et d'interprétation, théories et méthodes de diagnostic, de simulation des évolutions futures et de définition et mise en oeuvre d'actions)
<b>Manutention</b>	déplacement de marchandises, manuel ou mécanique ; on distingue la manutention horizontale de la manutention verticale, qui s'opère par levage (grues, portiques, )
<b>Marchandises diverses</b>	marchandises conditionnées en colis séparés, par opposition aux marchandises en vrac
<b>Matières dangereuses</b>	matières qui, par leurs propriétés physiques ou chimiques, peuvent présenter un risque pour l'homme ou son environnement (matières explosives, inflammables, toxiques, radioactives, corrosives,...)
<b>Merchant haulage</b>	organisation, par le chargeur ou par son intermédiaire non armateur, de l'acheminement terrestre des marchandises transportées par voie maritime
<b>Modes de transport</b>	les modes de transport traditionnels sont le mode routier, le mode ferroviaire, le mode maritime, le mode fluvial et le mode aérien
<b>Multimodal</b>	qui utilise plusieurs modes de transport
<b>Navette</b>	véhicule de transport assurant des aller-retours réguliers et programmés
<b>Navire-mère</b>	gros navire porte-conteneurs faisant peu d'escales sur sa ligne transocéanique, alimenté dans ces hubs par des feeders; les plus gros PCs actuels peuvent transporter plus de 8.000 EVP
<b>Navire roulier</b>	navire conçu pour la manutention par roulage, par des portes situées sur les côtés ou à l'arrière du navire et par des rampes internes entre les niveaux de garage

<b>Palette</b>	support plat de dimensions normalisées, servant à constituer des lots homogènes de marchandises pour permettre leur déplacement par des appareils de manutentions à fourches
<b>Pavillon</b>	pays d'immatriculation d'un véhicule de transport
<b>Plate-forme combinée</b>	zone aménagée pour les transbordements entre modes et le stockage éventuel des UTI
<b>Point nodal</b>	site où sont concentrés les opérations de triage des trains de marchandises; plus généralement, nœud logistique d'un réseau de transport ou à l'interface entre réseaux ou modes de transport
<b>Port sec</b>	site logistique multimodal (stockage, distribution, ...) situé à l'intérieur des terres, souvent en relation privilégiée avec un ou plusieurs ports maritimes
<b>Porte-conteneurs</b>	navire spécifiquement conçu pour le transport de conteneurs, avec un chargement et une manutention optimisés
<b>Pré-acheminement</b>	transport terrestre de la marchandise entre son lieu d'origine et le port où elle doit être embarquée pour un trajet maritime (ou fluvial)
<b>Post-acheminement</b>	transport terrestre de la marchandise entre le port où elle doit être débarquée après un trajet maritime (ou fluvial) et son lieu de destination
<b>Rail-Route</b>	transport combiné utilisant le rail pour le trajet principal
<b>Ro-ro, roulage, roll on – roll off</b>	technique de chargement et déchargement de navires, faisant appel à une manutention horizontale (les semi-remorques embarquées sont débarquées à l'aide d'un tracteur routier)
<b>Roulier</b>	voir navire roulier
<b>Route roulante</b>	transport, par trains spécifiques, de camions accédant directement aux wagons, les chauffeurs pouvant effectuer le trajet dans le même train
<b>Rupture de charge</b>	interruption dans la chaîne d'acheminement des marchandises se traduisant par des manutentions, et éventuellement un stockage des marchandises (entre deux véhicules de transport ou entre deux modes de transport)
<b>Semi-remorque</b>	véhicule sans moteur ni d'essieu avant, destiné à être attelé à un tracteur routier
<b>Short Sea Shipping</b>	voir cabotage maritime
<b>Sillon</b>	créneau horaire réservé sur un trajet ferroviaire
<b>Terminal</b>	plate-forme d'accueil pour un service de transport régulier; un terminal portuaire est constitué d'un quai et de terre-pleins avec ses équipements de manutention et de stockage éventuel
<b>TMCD</b>	voir cabotage maritime
<b>Tracteur routier</b>	véhicule à moteur sans capacité de chargement, servant à tracter des semi-remorques ou des remorques
<b>Tramping</b>	service de transport maritime occasionnel, par opposition à une ligne régulière; exploitation à la demande d'un navire généralement non spécialisé et transportant du vrac, liquide ou solide

<b>Transbordement</b>	en transport maritime, action de transférer un chargement d'un navire à un autre, éventuellement avec mise à quai intermédiaire; plus généralement, transfert d'une marchandise d'un moyen de transport (véhicule, mode) sur un autre
<b>Transbordeur</b>	navire ayant pour vocation principale de transporter des véhicules routiers ou ferroviaires, avec leur chargement
<b>Transitaire</b>	mandataire qui organise et fait exécuter à une marchandise le franchissement d'une frontière terrestre ou maritime. Il réceptionne et expédie la marchandise, mais il n'a qu'une obligation de moyens
<b>Transport multimodal</b>	transport de marchandises par au moins deux modes de transport différents
<b>Transport intermodal</b>	mouvement de marchandises (sur une même unité de charge ou sur un même véhicule ) par différents modes de transport successifs sans qu'il y ait manutention des marchandises elles-mêmes lors du changement de mode.  Cela recouvre notamment le transport de conteneurs et le transport de poids lourds ou semi-remorques à bord de navires ou de trains
<b>Transport combiné</b>	transport intermodal dans lequel la majeure partie du voyage s'effectue par chemin de fer, par voie navigable intérieure ou par mer et où les trajets de départ et d'arrivée exécutés par route sont aussi courts que possible.  Cela recouvre notamment le transport de conteneurs « maritimes » en chaîne mer-fer-route, et le transport combiné « rail-route » par conteneurs, caisse mobile ou semi-remorques
<b>Unité de charge</b>	élément obtenu par le regroupement de plusieurs colis ou de marchandises parcellaires, réunis de façon à pouvoir être manutentionnés d'un seul mouvement de grue ou d'un autre outil de manutention
<b>UTI (unité de transport intermodal)</b>	matériel contenant des marchandises (conteneurs, caisses mobiles et semi-remorques) et convenant au transport intermodal
<b>Vrac liquide</b>	marchandise sous forme liquide, non emballée et non individualisable en charges unitaires (exemple : pétrole brut)
<b>Vrac solide</b>	marchandise sous forme solide, non emballée et non individualisable en charges unitaires (exemple : charbon, minerai)



## Abréviations utilisées et principaux sigles

ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AFITF	Agence de Financement des Infrastructures de Transports de France
BEA	Bureau Enquête après Accidents
BEI	Banque Européenne d'Investissement
CEMT	Conférence Européenne des Ministres des Transports
CIADT	Comité Interministériel de l'Aménagement et du Développement du Territoire
CNC	Compagnie Nouvelle de Conteneurs, filiale de la SNCF et principal opérateur rail-route pour les conteneurs en France (restructurée fin 2005 sous le nom de Naviland Cargo)
CNE	Conseil National de l'Evaluation
CT	commissionnaire de transport
DAEI	Direction des Affaires Economiques et Internationales du METATM
DATAR	Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale
DB	Deutsche Bahn, principale société des chemins de fer allemands
DGAC	Direction Générale de l' Aviation Civile
DTMPL	Direction du Transport Maritime, des Ports et du Littoral du METATM (intégrée en 2005 au sein de la Direction du Transport Maritime Routier et Fluvial)
ECHO	enquête auprès des chargeurs, relative au transport de marchandises
EFL	European Feeder Line (cf. chapitre I partie 3.2)
FNTR	Fédération Nationale des Transports Routiers
FS	Ferrovie dello Stato, société nationale des chemins de fer italiens
INRETS	Institut National de REcherche sur les Transports et leur Sécurité
LHS	Le Havre Shuttles, structure dédiée au développement de la desserte ferroviaire du port du Havre pour les conteneurs (cf. chapitre I partie 3.1)
LOADT	loi d'orientation pour l'aménagement et le développement durable du territoire (loi n°99-533 du 25 juin 1999)
LTA	Lettre de Transport Aérien, document contractuel utilisé pour un transport comportant un trajet aérien
METATM	Ministère de l'Equipement, des Transports, de l'Aménagement du territoire, du Tourisme et de la Mer (son appellation plus récente -juin 2005- est Ministère des Transports, de l'Equipement, du Tourisme et de la Mer)
NST	nomenclature statistique des transports (référentiel statistique identifiant des types de produits à divers niveaux de détail)

NVOCC	« non-vessel operating common carrier » : transporteur maritime qui n'exploite pas les navires qu'il utilise
ORT	Observatoires Régionaux des Transports
PACT	programme d'actions pilotes sur le transport combiné de marchandises (Commission Européenne)
PAH	Port Autonome du Havre
PC	navire porte-conteneurs
PNLCC	Programme National de Lutte contre le Changement Climatique
PREDIT	Programme de recherche et d'innovation dans les transports terrestres
PTAC	Poids Total Autorisé en Charge d'un véhicule
R & D	Recherche et Développement
REAGIR	enquêtes REAGIR sur les accidents routiers (Réagir par des Enquêtes sur les Accidents Graves et par des Initiatives pour y Remédier)
RENFE	Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles, société nationale des chemins de fer espagnols
RFF	Réseau Ferré de France
RSC	Rhône Saône Conteneurs, entreprise de transport fluvial de conteneurs
SES	Service Economique et Statistique de la Direction des Affaires Economiques et Internationales du METATM (depuis 2005, SESP, P signifiant Prospective)
SITRA-M	nom de la principale base de données sur les transports de marchandises en France
SNCB	Société Nationale des Chemins de fer Belges
SNCF	Société Nationale des Chemins de Fer Français
SSC	Schéma de Services Collectifs : SSCE : de l'Energie; SSCENR : des Espaces Naturels et Ruraux; SSCTs : de Transports (un pour les voyageurs, un pour les marchandises)
TC	transport combiné (voir Glossaire)
TGV	Train à Grande Vitesse
TRM	transport routier de marchandises
UIC	Union Internationale des Chemins de fer
UIRR	Union Internationale des sociétés de transport combiné Rail Route
UTI	Unité de Transport Intermodal : matériel contenant des marchandises et convenant au transport intermodal (conteneurs, caisses mobiles et semi-remorques)
VNF	Voies Navigables de France



## Résumé

La thèse porte sur le jeu des acteurs du transport multimodal de marchandises (TMM).

L'observation des trafics et de divers cas de TMM conduit à choisir deux axes théoriques structurant la thèse :

- les modalités de choix individuel entre un risque de référence et un risque modifié par une action de prévention (statique comparative selon l'aversion au risque, considérations normatives, impact d'actions ayant les effets d'une assurance)
- les modalités de choix de technologie en concurrence oligopolistique (équilibre multiples, étapes-clef de la toute première adoption et du franchissement d'un seuil de viabilité de la technologie alternative – élément essentiel pour le TMM).

Les modalités d'action publique en matière de TMM sont analysées à l'aide de ces cadres et de la théorie des incitations, notamment à propos des autoroutes de la mer et des agences d'investissement en infrastructures. Des éléments sur le dispositif global des savoirs relatifs au TMM sont proposés.

## Abstract

The thesis investigates some aspects of the games played by multimodal freight transport (MFT) stakeholders. Observation of MFT traffics and of some case studies leads to the selection of two theoretical axes as a backbone for the thesis :

- conditions of individual choice between a reference risk and a risk modified by a preventive action (comparative statics relative to risk aversion, normative elements, impact of insurance-like actions)
- conditions of technology choice in oligopolistic competition (multiple equilibria, key-stages of the very first adoption and of the crossing of a viability threshold for the alternative technology - a major issue for MFT services).

Public action relative to MFT is investigated through these two frameworks and through the theory of incentives, as regards, for instance, motorways of the sea and infrastructure investment agencies. An analysis of the global knowledge system concerning MFT is proposed.

**Discipline** : Sciences Economiques (05)

## Mots-clef

transport multimodal de marchandises / jeu des acteurs / intervention publique / concurrence et coordination / prévention / assurance / risque de référence / oligopole / différenciation horizontale / externalités locales / robustesse aux coalitions / seuil de viabilité / logomorphisme / autoroutes de la mer / agence d'investissements / infrastructures de transport

multimodal freight transport / players' game / public intervention / competition and coordination / prevention / insurance / reference risk / oligopoly / horizontal differentiation / local externalities / coalition-proof / viability threshold / logomorphism / motorways of the sea / investment agency / transport infrastructure

**Laboratoire** PSE (Paris-Jourdan Sciences économiques),  
unité mixte de recherche CNRS EHESS ENPC ENS  
48, boulevard Jourdan 75014 PARIS

## Résumé

La thèse porte sur le jeu des acteurs du transport multimodal de marchandises (TMM).

L'observation des trafics et de divers cas de TMM conduit à choisir deux axes théoriques structurant la thèse :

- les modalités de choix individuel entre un risque de référence et un risque modifié par une action de prévention (statique comparative selon l'aversion au risque, considérations normatives, impact d'actions ayant les effets d'une assurance)
- les modalités de choix de technologie en concurrence oligopolistique (équilibre multiples, étapes-clef de la toute première adoption et du franchissement d'un seuil de viabilité de la technologie alternative – élément essentiel pour le TMM).

Les modalités d'action publique en matière de TMM sont analysées à l'aide de ces cadres et de la théorie des incitations, notamment à propos des autoroutes de la mer et des agences d'investissement en infrastructures. Des éléments sur le dispositif global des savoirs relatifs au TMM sont proposés.

## Abstract

The thesis investigates some aspects of the games played by multimodal freight transport (MFT) stakeholders. Observation of MFT traffics and of some case studies leads to the selection of two theoretical axes as a backbone for the thesis :

- conditions of individual choice between a reference risk and a risk modified by a preventive action (comparative statics relative to risk aversion, normative elements, impact of insurance-like actions)
- conditions of technology choice in oligopolistic competition (multiple equilibria, key-stages of the very first adoption and of the crossing of a viability threshold for the alternative technology - a major issue for MFT services).

Public action relative to MFT is investigated through these two frameworks and through the theory of incentives, as regards, for instance, motorways of the sea and infrastructure investment agencies. An analysis of the global knowledge system concerning MFT is proposed.

**Discipline** : Sciences Economiques (05)

## Mots-clef

transport multimodal de marchandises / jeu des acteurs / intervention publique / concurrence et coordination / prévention / assurance / risque de référence / oligopole / différenciation horizontale / externalités locales / robustesse aux coalitions / seuil de viabilité / logomorphisme / autoroutes de la mer / agence d'investissements / infrastructures de transport

multimodal freight transport / players' game / public intervention / competition and coordination / prevention / insurance / reference risk / oligopoly / horizontal differentiation / local externalities / coalition-proof / viability threshold / logomorphism / motorways of the sea / investment agency / transport infrastructure

**Laboratoire** PSE (Paris-Jourdan Sciences économiques),  
 unité mixte de recherche CNRS EHESS ENPC ENS  
 48, boulevard Jourdan 75014 PARIS