



**HAL**  
open science

# Peut-on réguler un jeu évolutionnaire: Une analyse des conflits récurrents dans le secteur des transports routiers

Cyrille Piatecki

## ► To cite this version:

Cyrille Piatecki. Peut-on réguler un jeu évolutionnaire: Une analyse des conflits récurrents dans le secteur des transports routiers. 2014. hal-00945544

**HAL Id: hal-00945544**

**<https://hal.science/hal-00945544>**

Preprint submitted on 12 Feb 2014

**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.

# Peut-on réguler un jeu évolutionnaire : Une analyse des conflits récurrents dans le secteur des transports routiers



Cyrille Piatecki \*

11 février 2014

Le blocus routier que doivent subir régulièrement les usagers des routes françaises est considéré comme une nuisance insupportable par tous les particuliers et toutes les entreprises européennes. Cependant, dans un contexte de concurrence forte sur les prix, il semble extrêmement difficile que l'État français intervienne sans déroger aux règlements de la Communauté Européenne. Cet article étudie la possibilité d'intervenir de la manière la plus légère possible de telle sorte que ces conflits récurrents cessent dans le cadre d'un jeu évolutionnaire dans lequel les entreprises de transport peuvent choisir d'afficher des salaires bas et donc des prix faibles ou des salaires élevés et donc des prix forts. Nous montrons qu'une simple prime versée aux entreprises à salaire élevé en cas de non attribution des contrats potentiels parce qu'elles ont été appariée avec une — ou plusieurs — entreprises à salaire faible, peut leur permettre de se maintenir sur le marché. Cependant si les entreprises adoptent leurs stratégies avec un délai de réaction, il est possible que la population des entreprises soit sujette à de très fortes fluctuations.

## Introduction

De manière récurrente depuis 1984, les routes française sont paralysées par des grèves de camionneurs. Outre le désagrément causé par les encombrements routiers pour se rendre sur les stations de ski préférées au mois de février ou les files d'attente aux points de vente de carburant <sup>1</sup>, la plupart des usagers de la route n'y voit que désagrément et fulmine envers ces camionneurs empêcheurs de rouler en rond. Cependant, au fil des jours et avec des reportages rabachés par les médias, nous nous prenons d'amitié pour ces pauvres chauffeurs routiers *exploités* par les entreprises de transport.

Si, de manière légale, la durée du travail doit être abaissée à 35 heures d'ici deux ans, peut-on tolérer qu'une partie non négligeable des employés du secteur privé se voit imposer des horaires de 56 heures en moyenne par semaine, les plongeant quasiment dans une situation de non-droit du travail? Comme dans tout conflit, des tentions bilatérales existent entre les deux parties en présence : les uns revendiquant des conditions de travail dignes de Germinal, les autres invoquant cette mondialisation *démoniaque* qui les pousse à sous-payer leurs employés.

Cependant, en raison de fortes externalités négatives générées par un blocage des routes, un troisième acteur intervient depuis longtemps dans le processus de négociation : l'État. Pris entre l'étau de l'opinion publique — des élections se profilant toujours dans un horizon proche — et les pressions de ses partenaires économiques frontaliers et européens, le gouvernement français ménage

---

\*LEO – –CRESEP

1. Certains de nos concitoyens n'y prenant que 5 litres de gazole.

la chèvre et le chou : faute d'une politique réellement décisive, les tensions dans la profession du transport se pérennisent depuis plus de 14 ans. Comme nous allons le voir, derrière ce rapport tripartite de forces se cachent d'importants problèmes économiques. Comment peut-on par exemple concilier compétitivité — politique des prix les plus bas — et rémunérations éthiquement satisfaisantes des chauffeurs routiers ? Comment expliquer que les patrons des entreprises de transport ne peuvent tenir leur promesse d'augmentations ? Pourquoi n'existe-t-il pas en France, comme aux États-Unis, un puissant syndicat de camionneurs constitué en lobby ? L'État peut-il intervenir efficacement dans le règlement de ce type de conflit ? Dans la perspective d'une défaillance des mécanismes d'auto-régulation du marché du travail, l'intervention étatique peut-elle permettre de parvenir à un optimum de second rang dans ce domaine ?

Dans cette optique, le présent papier se propose d'analyser les capacités d'intervention étatique dans la résolution d'un conflit privé interprété comme un jeu évolutionnaire. Pour bien saisir les conditions inhérentes au marché spécifique du transport routier, nous présentons dans une première partie les caractéristiques de ce secteur et le déroulement du conflit. Dans une seconde partie, nous proposerons une modélisation du conflit des chauffeurs routiers au travers de l'outil le plus naturel en économie pour ce type de problème : la théorie des jeux. Dans une dernière partie, nous tenterons d'intégrer à la modélisation théorique un élément important : l'histoire.

## 1 Les conflits dans le secteur du transport

En France, dans le secteur du transport routier, le conflit est latent depuis au moins le début des années 80.

### 1.1 Les conflits antérieurs au conflit de Novembre 1997

Relevant quasiment d'une tradition française depuis 14 ans, les routes sont bloquées régulièrement par des barrages de chauffeurs routiers. En 1984, conscients de leur pouvoir de nuisance, ces derniers bloquent le 16 février les départ en vacances d'hiver. Le 21 février, le ministre des transports de l'époque, le communiste Charles Fiterman, accepte d'ouvrir des négociations au sujet de la hausse des prix des carburants.

Les barrages seront levés le 24<sup>2</sup>. Cependant, ce conflit originel est de nature particulière : loin d'être un conflit privé, il oppose ici les patrons-routiers au gouvernement au sujet de la hausse des carburants. Le second round opposant le gouvernement et les patrons-routiers a lieu le 29 juin 1992 : le prétexte repose sur l'instauration du permis à points. De nature fondamentalement identique au précédent, ce conflit va rapidement se déplacer vers des questions d'ordre social. En effet, le premier ministre Pierre Bérégovoy, aidé de son ministre des affaires sociales, a l'habileté de faire glisser le conflit du champ réglementaire vers le champ social : pour la première fois, les conditions de travail des chauffeurs routiers sont évoquées pendant les négociations.

Ayant marqué un tournant dans la prise de conscience de leur force, ce conflit poussa les grandes centrales syndicales, principalement la CFDT, à s'intéresser à ce secteur. Il trouve enfin son dénouement deux ans plus tard dans la signature du « *contrat de progrès* » par les employeurs et leurs salariés. Ce contrat instaure un fondement de règles sur les temps de travail et de conduite. C'est parce qu'il pensait pouvoir régler rapidement le conflit en agissant ainsi que le gouvernement l'a recentré sur les rapports sociaux qui lient les patrons des entreprises de transport à leurs chauffeurs.

Cependant, à la suite d'une dynamique complexe du rapport des forces en présence, l'émergence d'une nouvelle donne et d'une nouvelle problématique a lieu. Signé en 1994, le contrat de progrès n'est que très peu respecté. Plusieurs raisons expliquent cette situation. En premier lieu, seul un tiers des 38.000 entreprises<sup>3</sup> a signé ce contrat. De plus, faute d'une réelle volonté du gouvernement de le vouloir faire respecter, les pressions législatives sont demeurées quasiment inexistantes.

---

2. Le gouvernement d'union de la gauche est encore sous le coup du syndrome chilien : les routiers du Chili avaient en 1973 largement contribué au coup d'État du général Pinochet.

3. Dont 85% emploient moins de 10 salariés.

Ainsi, le 18 novembre 1996, le troisième conflit dans ce secteur voit le jour. Opposant dès l'origine les chauffeurs routiers et les patrons des entreprises de transport, cette grève trouve sa solution par l'intervention de l'État et par l'application de nouvelles avancées sociales pour les chauffeurs routiers. Cependant, une fois de plus, ces nouveaux accords ne seront que très peu appliqués. Dans ces conditions, cet accord ne pouvait qu'engendrer un nouveau conflit et, au mois de novembre 1997, le dernier des conflits éclate.

Ayant initié de nouvelles dynamiques durant le second conflit des chauffeurs routiers de 1992, le gouvernement se trouve dans une situation délicate : avoir le rôle de médiateur dans un conflit privé ayant des retombées néfastes tant du point de vue économique et de la politique intérieure que du point de vue de la politique européenne de la France et de ses rapports économiques avec ses partenaires européens.

## 1.2 Le conflit de novembre 1997

Présentant que les négociations risquent d'achopper, le gouvernement marque, dès le début des tensions, sa volonté d'enrayer un processus d'escalade de type guerre d'usure. Le samedi 1<sup>er</sup> novembre, le ministre des transports, Jean-Claude Gayssot, souligne que « *l'image de la profession se joue, . . . , en montrant sa capacité à négocier avant le conflit*<sup>4</sup> ». Le gouvernement souligne également sa capacité juridique à étendre un accord collectif, signé par des syndicats représentatifs, à l'ensemble de la profession. Pouvant, de fait, avoir un fondement juridique, le gouvernement pousse alors l'UFT, la principale centrale syndicale, à continuer la négociation. Enfin, il s'engage à mieux appliquer et à renforcer le dispositif répressif dans la profession. En dernier lieu, le gouvernement anglais, suivi rapidement par le gouvernement espagnol, fait pression sur le gouvernement français afin qu'il règle le conflit avant son déclenchement : « *il est de notre devoir d'exercer la pression maximale sur les autorités française pour qu'elles interviennent de manière décisive*<sup>5</sup> » déclare le secrétaire d'État aux transports anglais Gaving Strang. En outre, devant la persistance des barrages en début de semaine, la commission européenne envisage de poursuivre la France en justice. N'hésitant pas à monter d'un cran dans l'escalade verbale, Tony Blair menace le gouvernement français de mettre le dossier en tête de l'ordre du jour du prochain sommet franco-britannique.

Un second facteur anticipatif intervient également dès le début du déroulement du conflit : l'opinion publique. D'un côté, les centrales syndicales ne veulent pas que le mouvement devienne impopulaire. Certes, avec 86% du fret acheminé par la route, les routiers peuvent très vite paralyser l'économie française<sup>6</sup>. Dans ces conditions, les barrages laissent passer les particuliers. De son côté, le gouvernement, avec en perspective les élections de mars 1998 n'a pas intérêt à voir le conflit éclater, ce qui démontrerait son incapacité à jouer son rôle de médiateur. Évidemment, seuls les patrons ont avantage à voir s'enliser le conflit : une politique de guerre d'usure ne pouvant tourner qu'à leur avantage.

Ainsi, le gouvernement doit à la fois répondre aux attentes des grévistes, à l'inquiétude de leur patrons et aux interrogations de l'opinion publique. Il doit montrer aux premiers sa volonté de faire respecter les accords. Aux seconds, il rappelle ce qu'il a déjà mis sur la table — allègement de la taxe professionnelle . . . À l'opinion publique, il doit montrer sa capacité à faire de la vraie politique. Dès le mercredi 5 novembre, des désaccords se font sentir au sein du CNPF. Énergés, une majorité des patrons des autres secteurs réclament une fin rapide du conflit face aux 140 barrages installés à travers la France. Certains soulignent la nécessité de donner de meilleures conditions de travail aux chauffeurs routiers. Cependant, de leur propre aveu, pratiquement aucun d'entre eux ne prête attention aux conditions de travail qu'ils imposent à leurs chauffeurs lorsqu'ils passent un contrat avec un transporteur.

Dans un sophisme de composition comme celui-ci, tout le monde a intérêt à s'entendre. Cependant, craignant le non respect de la clause tacite de réciprocité de la part des autres partis, personne ne s'engage à faire le premier pas. Enfin, dans un secteur soumis à une concurrence

4. Voir *Le Monde* du Lundi 3 novembre 1997.

5. Voir *Le Monde* du Lundi 3 novembre 1997.

6. La structure du réseau routier français est telle que 300 barrages suffisent pour bloquer l'économie.

internationale, où de nombreuses entreprises sont en situation délicate, la grève risque d'entraîner de nombreux dépôts de bilan.

En moins de dix jours, le conflit des chauffeurs routiers est réglé grâce à la médiation du gouvernement s'engageant à faire respecter l'accord signé le vendredi 7 novembre entre la CGC et la CFDT d'une part, l'UFT et l'UNASTRA d'autre part. La conclusion de ce conflit, le 10 novembre, montre plusieurs points importants. En premier lieu, si l'image de la France ressort ternie en Europe, l'image du gouvernement français est renforcée au plan intérieur. En outre, cette épreuve de force a révélé les failles d'une politique entièrement contractuelle dans ce secteur. Enfin, et surtout, elle montre la nécessité d'une harmonisation au niveau européen de la politique des transports. La concurrence est, selon les patrons de ce secteur, le principal frein à toute augmentation salariale. Cependant, cette concurrence n'a réellement lieu qu'au niveau européen : les principaux échanges commerciaux de l'union européenne se faisant à l'intérieur de ses frontières. Si une harmonisation intervient dans le secteur du transport, toutes les entreprises seront placées dans les mêmes conditions de concurrence : la volonté, au plan européen, d'instaurer une véritable politique de salaires éthiquement acceptables doit donc voir le jour.

De plus, les charges patronales sont, en France, les plus élevées d'Europe. Le gouvernement français étant l'un des seuls en Europe à penser que le social gouverne à l'économique, son salut en ce domaine passe alors dans l'harmonisation au plan européen de ces charges. Ainsi, l'échec d'une politique contractuelle dans le secteur des transport révèle la nécessité de l'intervention d'un médiateur entre les chauffeurs routiers et leurs patrons : l'État. Si cette intervention de l'État dans le règlement d'un conflit privé n'est pas la première du genre en France, il apparaît que, dans ce cas, elle revêt un caractère législatif. Dans ce domaine, les États possèdent un réel pouvoir ayant la possibilité d'instaurer de manière légale une amélioration pécuniaire et physique du travail des camionneurs. Du côté des patrons du transport, l'argument selon lequel une augmentation du salaire des chauffeurs routiers entraîne la faillite n'est pas totalement dénué de fondement. La concurrence existe bel et bien en Europe : un petit patron ne peut savoir si les autres chefs d'entreprises de son secteur vont augmenter les salaires en même temps que lui. S'il est le seul à la faire, de manière unilatérale, son entreprise connaît alors la faillite. Ainsi, du point de vue d'un patron, sa politique d'augmentation salariale est fonction de la proportion de patrons pratiquant des rémunérations élevées — ou non.

Cependant, dans une approche instantanée, cette information possède un coût pour les petites entreprises. En revanche, pour les entreprises plus importantes, de par leur réseau international, cette information peut être considérée comme d'accès inconditionnel. Pour que les petites unités puissent rivaliser, c'est-à-dire acquérir cette information sans coût, on peut faire intervenir un aspect temporel. Au travers de ses négociations avec ses clients, un petit transporteur peut connaître la politique de prix — salariale — du secteur. Cependant, cette acquisition d'information induit un délai dans la prise de décision : la politique salariale au temps  $t$  de ce petit transporteur est fonction de la politique de salaire de son secteur au temps  $t - 1$ .

Nous pouvons donc, afin de compenser l'asymétrie informationnelle entre les petites et les grandes entreprises du secteur du transport, introduire un délai réactionnel dans le comportement salariale des petits transporteurs. Le problème majeur consiste maintenant à modéliser ce délai. Compte tenu que nous analysons un secteur constitué de multiples entreprises en interactions, nous retenons dans la suite de notre papier une modélisation sous forme de jeu évolutionnaire. La question étant maintenant de pouvoir rendre compte des interactions répétées entre les différentes entreprises de ce secteur. En outre, cette approche doit pouvoir intégrer aisément l'intervention de l'État.

## 2 Modélisation du conflit sous la forme d'un jeu

Le secteur des transports routiers est composé de 38.000 entreprises en France. Malgré des tailles très diverses, ce nombre traduit un fait évident : ce sont essentiellement des très petites entreprises. On peut donc supposer qu'il n'existe pas d'effet d'entreprise dominante et que le secteur est réellement concurrentiel.

Cette concurrence est renforcée par le comportement des clients. En effet, même si une part non négligeable des transports est réalisée systématiquement par une relation contractuelle — implicite ou explicite — entre les deux parties — transporteur et affrèteur —, la plupart du temps, lorsqu'un affrèteur recherche un transporteur par l'exigence de la soumission de devis auprès de plusieurs entreprises. En faisant l'hypothèse que cette recherche d'information est onéreuse, nous pouvons supposer que les affrêteurs s'adressent en moyenne à deux entreprises. Ces dernières, de fait sont appariées deux à deux.

Considérons que chaque entreprise puisse adopter deux stratégies distinctes :

1. la stratégie  $S_e$ , dans laquelle elle offre à ses chauffeurs une rémunération élevée, mais qui a pour conséquence de fixer ses profits à un niveau bas et donc de déterminer une valeur présente de ses cash-flow  $V_e$  faible.
2. La stratégie  $S_b$ , dans laquelle elle offre à ses chauffeurs une rémunération plus faible, mais qui a pour conséquence de fixer ses profits à un niveau plus élevé et donc de déterminer une valeur présente de ses cash-flow  $V_b$  forte.

On a donc :  $V_e \leq V_b$ . Partant du principe qu'une entreprise appariée avec une entreprise dont l'offre est moins onéreuse perd le marché, mais que seul le hasard décide de l'obtention du marché dans le cas où elle est appariée avec une entreprise qui adopte la même stratégie qu'elle — en d'autres termes que la probabilité d'obtenir le contrat est dans ce cas de  $1/2$ , la bimatrice du jeu se présente de la manière suivante :

		<i>Entreprise 2</i>	
		$S_e$	$S_b$
<i>Entreprise 1</i>	$S_e$	$\left(\frac{V_e}{2}, \frac{V_e}{2}\right)$	$(0, V_b)$
	$S_b$	$(V_b, 0)$	$\left(\frac{V_b}{2}, \frac{V_b}{2}\right)$

À l'équilibre de Nash, le jeu ne laisse pas de place pour la moindre considération sociale puisque l'équilibre unique est :

$$(S_b, S_b) \text{ équilibre associé au couple de rémunération } \left(\frac{V_b}{2}, \frac{V_b}{2}\right)$$

Mais la modélisation du conflit des routiers en termes d'équilibre de Nash pur est inadéquate. En effet, chaque entreprise sait qu'elle opère dans un marché concurrentiel et non dans un duopole. Elles savent aussi que la réussite d'une stratégie dépend de la proportion des autres entreprises qui adopte cette stratégie. Il est vraisemblable qu'elles interprètent les conditions du jeu comme les conditions d'un jeu évolutionnaire. À la différence du jeu traditionnel, ce dernier reconnaît explicitement :

1. que les entreprises sont en grand nombre,
2. que les stratégies qu'elles adoptent sont prédéterminées au préalable des conflits potentiels auxquels elles vont participer,
3. qu'elles sont appariées au hasard — en ce sens qu'aucune d'entre elles n'a de contrôle sur la demande d'information de la part des affrêteurs.

Dans ce cas, si la population est composée d'un grand nombre de  $S_e$ -entreprises, c'est-à-dire d'entreprises qui préfèrent offrir des rémunérations élevées à leurs chauffeurs, il peut être, *a priori* intéressant pour une entreprise de décider d'être elle-même une  $S_e$ -entreprise. En effet, dans la mesure où elle se trouve rarement appariée  $S_b$ -entreprise, elle ne perd pas automatiquement trop de marchés. En réalité, comme nous allons le montrer ci-dessous, la stratégie  $S_b$  est une *stratégie*

*évoluionnairement stable*. Dans une population composée de  $\epsilon$   $S_e$ -entreprises et donc de  $1 - \epsilon$   $S_b$ -entreprises, les espérances de rémunération d'une  $S_e$ -entreprise et d'une  $S_b$ -entreprises sont :

$$\mathbb{E}U(S_e) = \epsilon \frac{V_e}{2} \quad \text{et} \quad \mathbb{E}U(S_b) = \epsilon V_b + (1 - \epsilon) \frac{V_b}{2}$$

Supposons qu'initialement la population des entreprises soit essentiellement composée de  $S_b$ -entreprises, ce que nous traduisons par  $0 < \epsilon \ll 1$ , alors, dans ce cas :

$$\mathbb{E}U(S_e) \approx 0 < (1 - \epsilon) \frac{V_b}{2} \approx \mathbb{E}U(S_b)$$

En d'autres termes, dans le long terme, les  $S_e$ -entreprises vont disparaître complètement au profit des  $S_b$ -entreprises et, comme nous l'avions annoncé,  $S_b$  est une stratégie évolutionnairement stable<sup>7</sup>.

Cette analyse est-elle définitive ? N'est-il pas possible que des entreprises immergées dans cet univers hautement concurrentiel ne décident d'adopter une stratégie de type  $S_e$  sans disparaître du marché ? Pour aller plus avant dans l'analyse de ce problème, introduisons sa dynamique évolutionnaire.

### 3 La dynamique évolutionnaire du conflit des routiers

Dans la section précédente, nous avons supposé l'état stationnaire. En d'autre termes, nous avons éliminé l'histoire des stratégies. Or, même si au moment de jouer les entreprises ont déterminé la stratégie qui les caractérisent, elles possèdent assez d'information pour décider de changer de stratégie si la stratégie qu'elles avaient adopté précédemment s'avère inefficace. La théorie des jeux évolutionnaires interprète l'inefficace comme le fait qu'une stratégie offre une rémunération inférieure à la moyenne de l'espérance de rémunération qu'offre l'ensemble des stratégies. Si  $\epsilon(t)$  est le pourcentage d'entreprises qui pratique la stratégie  $S_e$  à l'instant  $t$ , l'espérance moyenne de rémunération des entreprises est :

$$\mathbb{E}U(t) = \epsilon(t)\mathbb{E}U(S_e) + (1 - \epsilon(t))\mathbb{E}U(S_b)$$

Le taux de croissance de la part de la population qui adopte cette stratégie —  $\dot{\epsilon}(t)/\epsilon(t)$  est alors commandé par l'écart entre l'espérance de rémunération de cette stratégie et la moyenne des espérances de rémunération de toutes les stratégies à l'instant  $t$ . En d'autres termes :

$$\frac{\dot{\epsilon}(t)}{\epsilon(t)} = \alpha (\mathbb{E}U(S_e) - [\epsilon(t)\mathbb{E}U(S_e) + (1 - \epsilon(t))\mathbb{E}U(S_b)]) = \alpha ((1 - \epsilon(t)) [\mathbb{E}U(S_e) - \mathbb{E}U(S_b)]) \quad (1)$$

avec  $\alpha'(\cdot) > 0$ . Cependant, comme, en général, on n'a pas d'hypothèses suffisantes pour donner à la fonction  $\alpha(\cdot)$  un profil quelconque, on postule qu'elle est linéaire et que son coefficient est égal à l'unité.

Après substitution et réarrangement, il vient que la dynamique du jeu, dite *dynamique de répliation*, est :

$$\dot{\epsilon}(t) = -\delta\epsilon(t)(1 - \epsilon(t))[\epsilon(t) - \epsilon^*]$$

avec :

$$\delta = \frac{V_b - V_e}{2} \quad \text{et} \quad \epsilon^* = \frac{V_b}{V_e - V_b}$$

---

7. Il existe maintenant assez de présentations claires des deux conditions que doivent vérifier des stratégies pour être des stratégies évolutionnairement stables pour que nous ne nous attardions pas sur ce point — on pourra consulter, par exemple, Vega-Redondo (1996).

Étant donné que nous avons postulé que  $V_e \leq V_b$ , on a :  $\delta > 0$  et  $\epsilon^* < 0$ . Ceci démontre que  $\epsilon^*$  n'est pas équilibre de la dynamique de réplication. Comme la conjugaison de tous les termes du membre de droite de l'équation de dynamique de réplication est négative, en partant de n'importe quelle répartition initiale de la population  $(\epsilon(0), 1 - \epsilon(0))$ , on aboutit à la répartition d'équilibre  $(\bar{\epsilon}, 1 - \bar{\epsilon}) = (0, 1)$ . En d'autres termes, on a confirmation de la stabilité de la stratégie  $S_b$ .

Plus formellement, on peut remarquer qu'au voisinage de  $\epsilon = 0$ , l'équation de réplication prend la forme :

$$\dot{\epsilon}(t) = \delta\epsilon(t) + \mathcal{O}(\epsilon^2) \approx \delta\epsilon(t) \implies \frac{\dot{\epsilon}(t)}{\epsilon(t)} \approx \delta\epsilon^* < 0$$

ce qui démontre que  $\epsilon = 0$  est localement stable. De la même manière, en posant  $z(t) = \epsilon(t) - \epsilon^*$ , on aboutit à :

$$\dot{z}(t) = -\delta(1 - \epsilon^*)\epsilon^*z(t) + \mathcal{O}(z^2) \approx -\delta(1 - \epsilon^*)\epsilon^*z(t) \implies \frac{\dot{z}(t)}{z(t)} \approx -\delta(1 - \epsilon^*)\epsilon^* > 0$$

ce qui démontre que  $\epsilon = 1$  est localement stable. Nous avons donc confirmation que dans le cas des entreprises de transport routier, sans intervention de l'État, il n'est pas possible que des entreprises adoptant la stratégie  $S_e$  subsistent longtemps. Avec la disparition de ces entreprises, et l'absence complète d'espoir de la part des chauffeurs d'être mieux traités par leurs employeurs, la réapparition des conflits routiers peut être prédite sans trop d'erreur.

## 4 Problématique de l'intervention de l'État

Comment l'État peut-il intervenir dans un conflit privé ? Une première solution consiste à modifier la matrice du jeu au travers des rémunérations des entreprises. Ceci peut être obtenu de deux manières distinctes :

1. en pénalisant les  $S_b$ -entreprises,
2. en subventionnant les  $S_e$ -entreprises.

Ici les deux politiques étatiques sont strictement équivalentes. L'objectif de l'État est alors de choisir la politique qui permette, soit d'éliminer les  $S_b$ -entreprises, soit d'obtenir une répartition non dégénérée des entreprises entre les deux types d'entreprises et ce dans le but de prévenir les conflits sociaux. Une condition nécessaire pour qu'une telle politique aboutisse est d'intérioriser l'équilibre  $\epsilon^*$  — c'est-à-dire déplacer  $\epsilon^*$  dans l'intervalle  $]0, 1[$ . On doit donc avoir :

$$0 < \frac{\hat{V}_b}{\hat{V}_e - \hat{V}_b} \leq 1$$

où  $\hat{V}(j)$  est la rémunération des entreprises après l'intervention de l'État pour  $j = b$  ou  $j = e$ . Or, dans le cadre du jeu tel qu'il a été décrit jusqu'ici, ceci n'est possible que si cette intervention aboutit à  $\hat{V}_e > \hat{V}_b$  et si  $\hat{V}_b < \hat{V}_e/2$  — voir la figure (1).

Notons que ce qui importe ici, n'est pas simplement d'augmenter ou de diminuer la rémunération absolue d'une stratégie et sa position relative par rapport à l'autre. La seconde conséquence de l'intervention de l'État est de transformer  $\delta$  en :

$$\hat{\delta} = \frac{\hat{V}_e - \hat{V}_b}{2} > 0$$

Reste à savoir si, après l'intervention de l'État, le problème peut être modélisé dans les mêmes termes que précédemment. En réalité, cette solution qui, dans un premier temps, peut paraître attrayante, ne l'est pas. En effet, si elle permet d'éliminer les  $S_b$ -entreprises, ceci n'est réalisé qu'à un coût qui ne peut que devenir prohibitif dans le long terme. De plus, la France est devenue



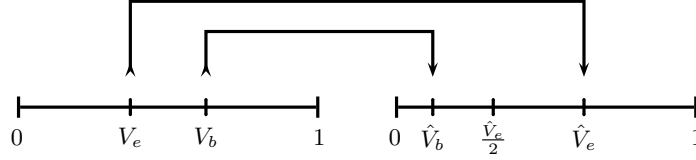


FIGURE 1 – DÉPLACEMENT DES RÉMUNÉRATIONS APRÈS INTERVENTION DE L'ÉTAT

maintenant une simple unité dans le complexe important de nations qui constituent l'Europe. La modification des conditions du jeu envisagée ci-dessus ne peut qu'inviter les transporteurs étrangers à envahir le marché français car les règles communautaires de la concurrence interdisent de discriminer entre les entreprises originaires des différentes nations européennes. De ce fait, soit la France serait obligée de traiter les entreprises étrangères de manière identique à ses entreprises domestiques, et ce, sans garantie de réciprocité — les entreprises françaises de transport ne pouvant alors décrocher aucun contrat étranger —, soit elle s'exposerait à des poursuites de la part de la communauté européenne. Dans tous les cas, en pratiquant une telle politique, la France condamnerait à terme son secteur des transports routiers.

Une solution moins onéreuse consiste à introduire une indemnité compensatoire pour rééquilibrer la matrice des rémunérations. Notons  $I$  la valeur présente de cette indemnité et supposons qu'il est possible de la fixer de telle sorte que<sup>8</sup> :  $I > V_b/2$ . La bi-matrice des rémunérations devient alors :

		<i>Entreprise 2</i>	
		$S_e$	$S_b$
<i>Entreprise 1</i>	$S_e$	$\left(\frac{V_e}{2}, \frac{V_e}{2}\right)$	$(I, V_b)$
	$S_b$	$(V_b, I)$	$\left(\frac{V_b}{2}, \frac{V_b}{2}\right)$

Dans ce cas, apparaissent deux équilibres de Nash indistincts :

$(S_e, S_b)$  et  $(S_b, S_e)$  équilibres associés aux couples de rémunération  $(V_b, I)$  et  $(I, V_b)$

ce qui suggère que dans un jeu évolutionnaire, il existe un équilibre intérieur et que ce dernier est stable.

## 5 Le jeu évolutionnaire avec intervention de l'État

Dans les mêmes conditions que précédemment, on a maintenant :

$$\mathbb{E}U(S_e) = \epsilon \frac{V_e}{2} + (1 - \epsilon)I \quad \text{et} \quad \mathbb{E}U(S_b) = \epsilon V_b + (1 - \epsilon) \frac{V_b}{2}$$

8. Pour toutes les autres configurations des indemnités, on retourne au cas précédent.

Supposons qu'initialement la population des entreprises soit essentiellement composée de  $S_b$ -entreprises, ce que nous traduisons par  $0 < \epsilon \ll 1$ , alors, dans ce cas :

$$\mathbb{E}U(S_e) \approx (1 - \epsilon)I > (1 - \epsilon)\frac{V_b}{2} \approx \mathbb{E}U(S_b) \quad (2)$$

Or, comme nous avons postulé que l'État instaurait une indemnité telle que  $I > V_b/2$ , cette fois c'est la stratégie  $S_e$  qui devient évolutionnairement stable. En ce qui concerne la dynamique évolutionnaire, en posant :

$$\delta_1 = - \left[ \frac{V_e}{2} - I - \frac{V_b}{2} \right] \quad \text{et} \quad \epsilon_1^* = \frac{\frac{V_e}{2} - I}{\left[ \frac{V_e}{2} - I - \frac{V_b}{2} \right]}$$

on obtient de nouveau la dynamique de réplication :

$$\dot{\epsilon}_1(t) = -\delta_1 \epsilon_1(t) (1 - \epsilon_1(t)) [\epsilon_1(t) - \epsilon_1^*]$$

Étant donné que  $V_e \leq V_b$ ,  $\delta > 0$  et  $\epsilon_1^* \in ]0, 1[$ . Pour comprendre comment évolue la population des entreprises, on peut développer, comme précédemment une analyse de stabilité locale au voisinage de  $\epsilon_1 = 0$ ,  $\epsilon_1 = \epsilon_1^*$  et  $\epsilon_1 = 1$ . Dans les deux premiers cas, on retrouve :

1. au voisinage de  $\epsilon_1 = 0$  :

$$\dot{\epsilon}_1(t) = \delta_1 \epsilon_1^* \epsilon_1(t) + \mathcal{O}(\epsilon^2(t)) \approx \delta_1 \epsilon_1^* \epsilon_1(t) \implies \frac{\dot{\epsilon}_1(t)}{\epsilon_1(t)} \approx \delta_1 \epsilon_1^* > 0$$

ce qui démontre que  $\epsilon_1 = 0$  est localement instable,

2. au voisinage de  $\epsilon_1 = 1$ , en posant  $z_1(t) = 1 - \epsilon_1(t)$ , on aboutit à :

$$\dot{z}_1(t) = \delta(1 - \epsilon_1^*) z_1(t) + \mathcal{O}(z^2(t)) \approx \delta(1 - \epsilon_1^*) z_1(t) \implies \frac{\dot{z}_1(t)}{z_1(t)} \approx \delta(1 - \epsilon_1^*) > 0$$

car  $\epsilon_1^* \in ]0, 1[$ , ce qui démontre que  $\epsilon_1 = 1$  est localement instable.

Comme les deux points extrêmes sont des attracteurs de la dynamique de réplication, il ne reste plus qu'une possibilité pour  $\epsilon_1^*$  : être stable. Vérifions cette occurrence en posant cette fois :  $z_1(t) = \epsilon_1(t) - \epsilon_1^*$ . On obtient :

$$\dot{z}_1(t) = -\delta(1 - \epsilon_1^*) \epsilon_1^* z_1(t) + \mathcal{O}(z^2(t)) \approx -\delta(1 - \epsilon_1^*) \epsilon_1^* z_1(t) \implies \frac{\dot{z}_1(t)}{z_1(t)} \approx -\delta(1 - \epsilon_1^*) \epsilon_1^* < 0$$

ce qui démontre, comme nous l'avions postulé, que  $\epsilon_1^*$  est localement stable<sup>9</sup> — voir la figure (2).

Ainsi l'intervention de l'État par versement d'une indemnité compensatoire pour les entreprises qui adoptent la stratégie  $S_e$  mais versée dans tous les cas où elles sont appariées avec des entreprises  $S_b$  conduit à une répartition des entreprises entre les deux stratégies. Comment interpréter le fait que  $]0, 1[$  soit le bassin d'attraction de  $\epsilon_1^*$ . Supposons qu'initialement  $\epsilon_1(0) \in ]0, \epsilon_1^*[$ . Dans ce cas, nous avons observé par l'équation (2) que  $\mathbb{E}U(S_e) > \mathbb{E}U(S_b)$  parce que la fréquence des appariements entre  $S_e$ -entreprises est faible. La stratégie  $S_e$  est donc plus attrayante pour les entreprises qui vont progressivement l'adopter, en conséquence de quoi, par l'équation (1), la  $\epsilon_1(t)$  va croître jusqu'en  $\epsilon_1^*$ . Elle se maintient en ce point parce que le processus inverse se produit si  $\epsilon_1(0) \in ]\epsilon_1^*, 1[$ . En effet, cette fois  $\mathbb{E}U(S_e) < \mathbb{E}U(S_b)$ , ce qui par le même raisonnement conduit à une diminution de  $\epsilon_1(t)$ .

On note pour terminer qu'une augmentation de l'indemnité induit un accroissement de la représentation de  $S_e$ -entreprises puisque :

9. De toute évidence, nous aurions pu développer une analyse de stabilité globale de  $\epsilon_1^*$ .

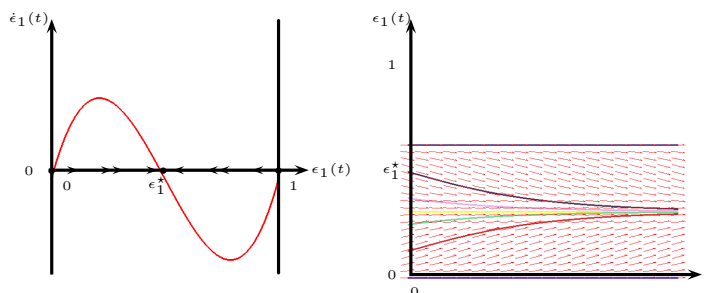


FIGURE 2 – STABILITÉ DE L'ÉQUILIBRE INTÉRIEUR APRÈS L'INTERVENTION DE L'ÉTAT

$$\frac{\partial \epsilon_1^*}{\partial I} = \frac{\frac{V_b}{2}}{\left[\frac{V_e}{2} - I - \frac{V_b}{2}\right]^2} > 0$$

et accélère la vitesse de convergence, puisque localement cette dernière est une fonction croissante de  $\epsilon_1^*$ .

## 6 L'introduction d'un retard adaptatif

Dans la section précédente, on a mis en évidence que l'introduction d'une indemnité pour perte de marché attribuée aux entreprises qui décident d'adopter des salaires élevés, conduisait à une répartition des entreprises de transport entre les deux types d'entreprises<sup>10</sup>. En quelque sorte, c'est, dans le cadre des hypothèses qui ont été postulées jusqu'à présent, le mieux que puisse obtenir l'État. Bien entendu en fixant  $I$  à un niveau très élevé, il peut obtenir la quasi-disparition des  $S_b$ -entreprises, mais ceci sous-entend qu'il accepte de supporter un coût élevé.

La question qui apparaît alors est de savoir si l'État peut réellement se reposer sur ce résultat pour construire une politique des transports routiers. En effet, jusqu'à présent nous avons postulé que le phénomène d'imitation qui est au cœur de la dynamique économique de réplication, n'incorporait pas de délais de réaction. En particulier, nous avons supposé que les entreprises percevaient les conditions externes immédiates et réagissaient sans délai. Or, comme les entreprises de transport routier sont essentiellement de petites entreprises, si elles peuvent adapter instantanément leur stratégie, ce n'est que sur la donnée d'informations passées qu'elles mettent un certain laps de temps à analyser. Dans ce cas, la dynamique de réplication se réécrit comme :

$$\begin{aligned} \frac{\dot{\epsilon}_2(t)}{\epsilon_2(t)} &= \mathbb{E}U(S_e|t - \tau) - [\epsilon_2(t)\mathbb{E}U(S_e|t - \tau) + (1 - \epsilon_2(t))\mathbb{E}U(S_b|t - \tau)] \\ &= (1 - \epsilon_2(t))[\mathbb{E}U(S_e|t - \tau) - \mathbb{E}U(S_b|t - \tau)] \end{aligned}$$

Cette équation traduit maintenant le fait que la population des  $S_e$ -entreprises croit si l'écart entre l'espérance d'utilité de la stratégie  $S_e$  et la moyenne des espérances d'utilités des stratégies

10. Il serait possible de reconstruire la même argumentation en postulant un spectre étendu de salaires dans les entreprises, mais ceci conduirait uniquement à complexifier le modèle et nous éloignerait de notre propos.

$S_e$  et  $S_b$  évaluées en  $t - \tau$  est positif. On note ainsi que la répartition des entreprises sur les deux stratégies en  $t$  est bien  $(\epsilon_2(t), 1 - \epsilon_2(t))$  mais que ce sont leurs espérances d'utilité passée qui décident des migrations d'une stratégie vers l'autre. Sous ces hypothèses et toujours avec intervention de l'état, on obtient la dynamique de répliation suivante :

$$\dot{\epsilon}_2(t) = -\delta_2 \epsilon_2(t) (1 - \epsilon_2(t)) [\epsilon_2(t - \tau) - \epsilon_2^*]$$

où<sup>11</sup>  $\delta_2 = \delta_1$  et  $\epsilon_2^* = \epsilon_1^*$ .

Cette équation n'est pas une équation différentielle ordinaire — *edo* — mais une équation différentielle avec retard — *edr*. Le comportement de  $\epsilon_2(t)$  est donc *a priori* plus complexe que celui de  $\epsilon_1(t)$ . En particulier, il est évident que si  $\epsilon_2 = 0$  et  $\epsilon_2 = 1$  sont immédiatement des équilibres potentiels de l'équation, il n'en va pas nécessairement de même pour  $\epsilon_2 = \epsilon_2^*$ . En effet, si la courbe intégrale passe ponctuellement à la date  $t$  par  $\epsilon_2^*$ , elle ne s'immobilise que si pour  $s \in [t - \tau, t] : \epsilon_2(s) = \epsilon_2^*$ .

Il est immédiat que l'analyse locale de cette *edr* est inchangée par rapport à l'analyse locale de l'*edo* initiale au moins en ce qui concerne les deux équilibres  $\epsilon_2 = 0$  et  $\epsilon_2 = 1$ , qui restent instables. En conséquence de quoi en partant de  $\epsilon_2(0) \in ]0, c[ \cup ]\epsilon_2^*, 1[$ ,  $\epsilon_2(t)$  ne s'immobilise jamais sur l'un de ces deux équilibres, qui apparaissent comme des *barrières de réflexion* pour la population des entreprises. En ce qui concerne maintenant la nature de  $\epsilon_2^*$ , posons :  $z(t) = \epsilon_2(t) - \epsilon_2^*$ . Dans ce cas, l'*edr* est localement équivalente à l'*edr* linéaire suivante :

$$\dot{z}(t) = -Bz(t - \tau) \quad \text{avec} \quad B = \delta \epsilon_2^* (1 - \epsilon_2^*) > 0 \quad (3)$$

L'étude d'une telle équation remonte à Kalecki (1935) — voir aussi Lange (1979). Dans les premières années de la revue *Econometrica* les économistes lui ont consacré un certain nombre d'articles. Cependant, les méthodes employées pour les étudier interdisant toute généralisation<sup>12</sup> aisée, il a fallu attendre les contributions de Bellman & Cooke (1963) et d'autres mathématiciens pour que certaines voies d'approche soient effectivement ouvertes — voir, par exemple, la méthode développée par Krall (1967) et El'sgot't & Norkin (1973).

Il est à noter que l'une des méthodes envisagée dans la littérature pour étudier cette équation — voir par exemple Wangersky & Cunningham (1956) — consiste à effectuer un développement de Taylor au voisinage de  $\tau = 0$ . Cette méthode conduisant à des résultats spécieux a été abandonnée — voir Mazanov & Tognetti (1974). La méthode la plus répandue aujourd'hui remonte à l'article de Cooke & Grossman (1982). En effet, il n'est pas très difficile de montrer que les solutions de cette équation sont de la forme exponentielle. Par substitution, on peut obtenir le spectre et, théoriquement, en trouver les racines. Cependant, dès que la structure des retards est plus complexe que celle induite au premier ordre, cette démarche est inexploitable.

Driver (1977) a démontré que toute solution de l'équation (3) — et, plus généralement d'une *edr* linéaire de n'importe quel ordre — est nécessairement de la forme :  $z(t) = ce^{\lambda t}$ . Par substitution de cette solution dans l'équation et après simplification, on obtient un spectre de la forme :

$$\lambda = -Be^{-\lambda\tau} \quad \text{ou encore} \quad Q(\lambda, \tau) = \lambda + Be^{-\lambda\tau} = 0 \quad (4)$$

Or, le terme de droite de ce spectre — la fonction  $Q(\lambda, \tau)$  — est une fonction *transcendantale* en ce sens qu'il ne peut être écrit sous forme de polynômes et/ou de racines de polynômes<sup>13</sup>. Il n'est donc pas question d'exhiber la solution de l'équation (4). La méthode de Cooke & Grossman (1982) — qui trouve son origine dans les travaux de Lee & Hsu (1969) — consiste alors à étudier le spectre de l'équation (3) au voisinage du *retard critique* —  $\tau_c$  — qui associe les racines de ce dernier à des nombres imaginaires purs. En effet,  $\tau_c$  est un point de bifurcation des solutions de l'équation (3). Reste à déterminer si en passant de  $\tau < \tau_c$  à  $\tau + d\tau > \tau_c$  — pour  $d\tau > 0$  — l'*edr* linéaire perd ou gagne sa stabilité — en  $\tau_c$  elle est nécessairement stable puisque  $\text{Re}(\lambda(\tau_c)) = 0$ .

11. On a changé les indices des paramètres uniquement pour obtenir une cohérence des notations.

12. Falbo (1995) propose une analyse assez complète de l'équation (3).

13. Si tel était le cas, on parlerait de fonction *algébrique*.

En d'autres termes, un accroissement de  $\tau$  au voisinage de  $\tau_c$  provoque-t-il un accroissement ou une diminution de  $\text{Re}(\lambda)$ ? On trouve que :

$$\left. \frac{d\lambda}{d\tau} \right|_{\tau=\tau_c} = - \frac{Q_\tau(\lambda(\tau_c), \tau_c)}{Q_\lambda(\lambda(\tau_c), \tau_c)}$$

et si  $Q(\lambda, \tau)$  est une fonction analytique, on obtient :

$$\left. \frac{d\text{Re}(\lambda)}{d\tau} \right|_{\tau=\tau_c} = -\text{Re} \left[ \frac{Q_\tau(\lambda(\tau_c), \tau_c)}{Q_\lambda(\lambda(\tau_c), \tau_c)} \right]$$

Il existe réellement une double difficulté dans cette approche de la stabilité des équations différentielles avec délais :

1. tout d'abord, du fait de la possible multiplicité des retards critiques, on ne peut exclure, *a priori*, de voir réapparaître des plages de retards faisant passer la solution de l'instabilité à la stabilité. Ce problème ne se posera pas dans le cas qui nous intéresse.
2. En suite, il est important que les transitions entre  $\text{Re}(\lambda) > 0$  et  $\text{Re}(\lambda) < 0$  n'apparaissent qu'en des points qui correspondent à des racines imaginaires pures de l'équation transcendante. Ceci est garanti par un théorème de Datko (1978), théorème qui généralise un résultat de El'sgot't & Norkin (1973). Celui-ci énonce que le suprémum de  $\text{Re}(\lambda) = \sup(\text{Re}(\lambda))$  est une fonction continue de  $\tau$  pour  $\tau > 0$ . Il n'est donc pas possible qu'au voisinage d'une racine complexe quelconque  $\lambda(\tau)$  telle que  $\text{Re}(\lambda(\tau)) > 0$  — réciproquement  $\text{Re}(\lambda(\tau)) < 0$  — se produise un saut vers une racine de signe opposé.

Revenons à l'équation (4), en posant  $\lambda = i\alpha$ , nous devons étudier la plus petite racine positive de l'équation :  $i\alpha + Be^{i\alpha\tau} = 0$ . Soit :

$$\underbrace{-\frac{i\alpha}{B}}_{\textcircled{1}} = \underbrace{e^{-i\alpha\tau}}_{\textcircled{2}} \quad B > 0 \quad (5)$$

Ceci revient à déterminer le point d'intersection entre la courbe paramétrée  $-if/B$  et le cercle paramétré  $e^{-i\alpha\tau}$ . Les éléments d'analyse sont relativement simples : l'exponentielle complexe  $\textcircled{2}$  décrit le cercle complexe de norme unitaire dans le sens des aiguilles d'une montre, alors que la droite imaginaire pure  $\textcircled{1}$  est parcourue par tous les imaginaires négatifs purs de module  $\alpha/B$ . Pour qu'il y ait égalité entre ces deux courbes, il est donc nécessaire, d'une part, que  $\alpha/B$  s'ajuste à l'unité, et que, d'autre part que la courbe  $\textcircled{2}$  ne décrive que des points imaginaires — voir la figure (3). Ces deux conditions s'écrivent :

$$\begin{cases} \theta = 0 & \iff \alpha\tau = \pi/2 \pmod{2\pi} & (i) \\ \alpha/B = 1 & \iff \alpha = B & (ii) \end{cases}$$

On a donc, pour  $k \in \mathbb{N}^*$  :

$$\tau_c = \frac{1}{B} \left( \frac{\pi}{2} + 2k\pi \right)$$

On notera  $\tilde{\tau}_c$  la plus petite valeur critique — *i. e.* :  $\tilde{\tau}_c = \pi/(2B)$ . On connaît à présent les retards pour lesquels les racines de l'équation transcendante sont des imaginaires purs. Quel est l'effet sur la partie réelle de ces racines d'un augmentation de ces retards. On peut vérifier aisément que  $Q(\lambda, \tau)$  est une fonction analytique<sup>14</sup> de  $\lambda$ . Maintenant :

$$\frac{d\lambda}{d\tau} = - \frac{Q_\tau}{Q_\lambda} = \frac{\lambda B e^{-\lambda\tau}}{1 - \tau B e^{-\lambda\tau}}$$

En  $\lambda = i\alpha$ , on a :

14. On sait qu'une fonction  $f(\cdot)$  d'une variable complexe  $z$  est analytique si et seulement si :  $f_y = if_x$  où  $x = \text{Re}(z)$  et  $y = \text{Im}(z)$ . Dans la littérature on parle de condition de Cauchy.

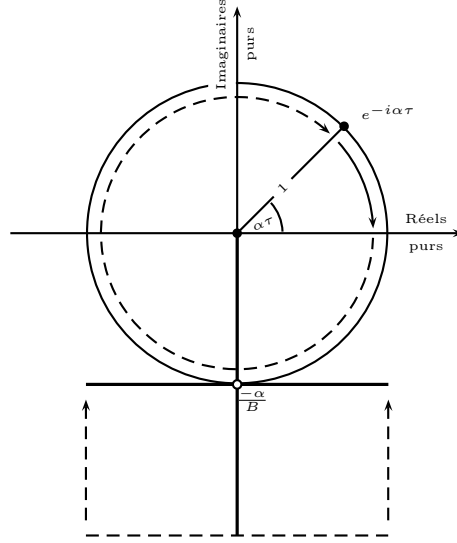


FIGURE 3 – LES SOLUTIONS DANS LE CAS MONO-RETARDÉ

$$\frac{d\lambda}{d\tau}\Big|_{\lambda=i\alpha} = \frac{i\alpha B e^{-i\alpha\tau}}{1 - \tau B e^{-i\alpha\tau}} = \frac{\alpha B \sin(\alpha\tau) - i [\alpha B \cos(\alpha\tau) + \alpha\tau B^2]}{[1 - \tau B \cos(\alpha\tau)]^2 + [\tau B \sin(\alpha\tau)]^2}$$

Ainsi :

$$\frac{d\text{Re}(\lambda)}{d\tau}\Big|_{\lambda=i\alpha} = \frac{\alpha B \sin(\alpha\tau)}{[1 - \tau B \cos(\alpha\tau)]^2 + [\tau B \sin(\alpha\tau)]^2}$$

Mais quand  $\lambda = i\alpha$  est racine de  $Q(\lambda, \tau)$ , on a :  $\sin(\alpha\tau) = \alpha/B$ ,  $\cos(\alpha\tau) = 0$  et  $\alpha = B$ . De ce fait, on aboutit à :

$$\frac{d\text{Re}(\lambda)}{d\tau}\Big|_{\lambda=i\alpha} = \frac{\alpha^2}{1 + (\alpha\tau)^2} > 0$$

Ainsi, quand  $\tau$  franchit  $\tilde{\tau}_c$  apparaît une perte irrémédiable de stabilité de  $\epsilon_2^*$ , puisque toutes les racines imaginaires pures subséquentes de l'équation transcendante sont franchies par accroissement de leur partie réelles.

En résumé, comme  $B > 0$ ,  $\epsilon_2^*$  est stable si et seulement si  $\tau < \tilde{\tau}_c$ . Si  $\tau = \tilde{\tau}_c$ ,  $\epsilon_2(t)$  oscille localement au voisinage de  $\epsilon_2^*$  et pour  $\tau > \tilde{\tau}_c$ , la méthode de Cooke et Grossman permet de conclure qu'il n'y a pas de convergence locale. Cependant, comme on a montré que  $\epsilon_2 = 0$  et  $\epsilon_2 = 1$  sont instables, il ne peut y avoir absorption par ces deux équilibres. La nature des oscillations demeure, pour l'instant, indéterminée. La figure (4) présente quatre simulations de la dynamique sous le paramétrage suivant :  $\delta_2 = .25$  et  $\epsilon_2^* = .5$ . Ce paramétrage implique que  $B = .063$  et  $\tau_c = 25$ . Dans le quadrant (a), on a simulé l'évolution temporelle pour  $\tau = 22$  et un horizon de 1000. On retrouve bien la convergence vers  $\epsilon_2^*$ . Dans le quadrant (b), on a simulé l'évolution temporelle pour  $\tau = 25$  et un horizon de 1000. Cette fois, on retrouve bien l'oscillation pure autour de  $\epsilon_2^*$ .

Le quadrant (c) montre comment les fluctuations s'amplifient quand  $\tau$  s'éloigne de  $\tau_c$  — ici,  $\tau = 35$ . Enfin, le quadrant (d) fait apparaître un phénomène étonnant. Quand le retard devient assez élevé — ici  $\tau = 100$  —,  $\epsilon_2 = 0$  et  $\epsilon_2 = 1$ , deviennent des barrières de *quasi-absorption*. Nous définissons une *barrière de quasi-absorption* —  $\epsilon_2^q$  — comme une valeur où  $\epsilon_2(t)$  séjourne un laps de temps important avant d'être de nouveau attiré par l'autre barrière<sup>15</sup>. En d'autres termes,

15. Attention! Sur le quadrant (d) de la figure (4), il semble que 0 et 1 soient tous deux barrières de quasi-absorption. En réalité, ce n'est qu'un artefact car nous avons démontré que ces deux points sont des points d'équilibre de la dynamique. Même s'ils sont instables, dès que  $\epsilon_2(t)$  les atteint, tout mouvement cesse.

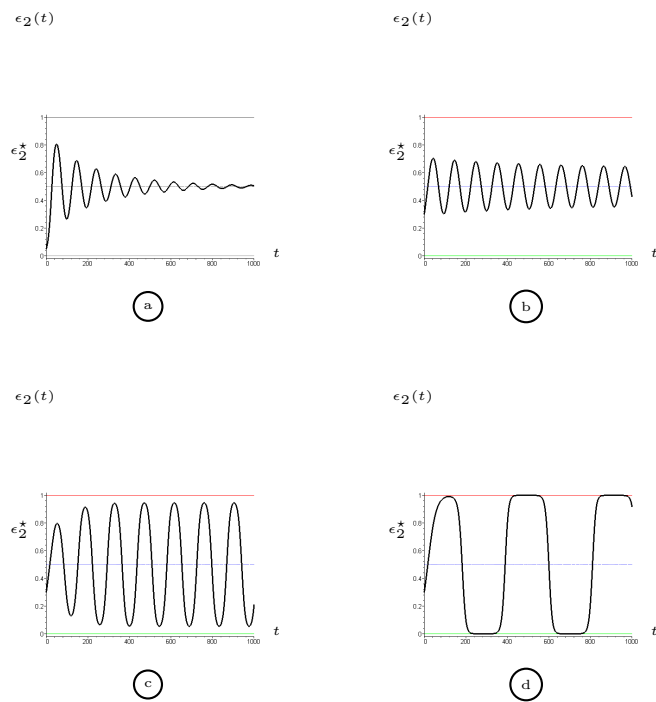


FIGURE 4 – ÉVOLUTION DE LA POPULATION DES ENTREPRISES ADOPTANT DES SALAIRES ÉLEVÉS AVEC RETARD

les  $S_j$ -entreprises —  $j = e, \text{ ou } b$  — peuvent quasiment disparaître pendant un certain temps du paysage du secteur des transports routiers et réapparaître spontanément sans qu’aucun phénomène mutationnel exogène n’intervienne. On constate aussi qu’une augmentation de l’indemnité versée par le gouvernement entraîne une diminution du retard critique puisque :

$$\frac{\partial \tau_c}{\partial I} = -\frac{\pi}{2 \left( I - \frac{V_b}{2} \right)^2} < 0$$

On constate ainsi que plus l’indemnité versée par l’État au  $S_e$ -entreprises est élevée, plus l’occurrence d’une instabilité de la répartition des entreprises est forte, puisque le retard critique diminue. Cependant, conjointement, plus l’indemnité est forte plus  $\epsilon_2^*$  est élevé.

Ainsi, l’intervention de l’État peut-elle conduire à une forte instabilité des politiques adoptées par les entreprises de transport. Dans tous les cas, elle ne conduit jamais à l’élimination définitive des  $S_b$ -entreprises, ni des  $S_e$ -entreprises, même si contrairement à ses objectifs, ces dernières peuvent être quasiment éliminées du marché pendant un temps égal au retard réactionnel.

## 7 Les appariements multiples

La théorie des jeux évolutionnaires est apparue initialement pour discuter des conflits intraspécifiques entre animaux. Il était donc logique qu’elle étudie les appariements par paires. Dans sa récupération par les économistes, elle n’a pas perdu cette caractéristique. Pourtant, l’essentiel des conflits que nous avons à traiter en économie recouvre des conflits dans lesquels les multi-appariements sont la règle. Par exemple, quand un affréteur recherche une entreprise de transport, il est vraisemblable qu’il demande plus de deux devis, et même, si le nombre de devis qu’il demande reste faible, étant donné l’accroissement des coûts de transaction qu’il subit en multipliant les demandes, il est important d’étudier ce qu’il advient quand chaque entreprise de transport se retrouve en concurrence directe avec plus d’une autre entreprise de transport.

Considérons toujours qu’il n’existe que deux types d’entreprises : les  $S_e$ -entreprises et les  $S_b$ -entreprises. Une  $S_e$ -entreprise présente des devis plus élevés qu’une  $S_b$ -entreprise. Quand elle est appariée avec  $N - 1$  autres entreprises de transport —  $N > 2$  —, elle n’obtient le contrat que si les  $N - 1$  autres entreprises sont comme elle des  $S_e$ -entreprises. Ainsi, la probabilité —  $\mathbb{P}_{S_e}^N$  — qu’une  $S_e$ -entreprise obtienne un marché est :

$$\mathbb{P}_{S_e}^N = \frac{\epsilon^{(N-1)}}{N} \longrightarrow \begin{cases} \epsilon/2 & \text{si } N \downarrow 2 \\ 0 & \text{si } N \uparrow \infty \end{cases}$$

Quand  $N \downarrow 2$ , on retrouve la probabilité obtenue dans le cas de l’appariement par paire. Quand  $N \uparrow \infty$ , la probabilité s’annule, parce qu’il devient certain qu’une  $S_e$ -entreprise sera appariée avec au moins une  $S_b$ -entreprise. L’espérance d’utilité d’une  $S_e$ -entreprise est donc :

$$\mathbb{E}U_N(S_e) = \epsilon^{(N-1)} \left( \frac{V_e}{N} \right) + (1 - \epsilon^{(N-1)}) I \longrightarrow \begin{cases} \mathbb{E}U(S_e) & \text{si } N \downarrow 2 \\ I & \text{si } N \uparrow \infty \end{cases}$$

La situation d’une  $S_b$ -entreprise est plus complexe. En effet, si elle est appariée avec  $N - 1$  autres  $S_b$ -entreprises, évènement qui se produit avec une probabilité  $(1 - \epsilon)^{(N-1)}$ , elle n’a qu’une chance sur  $N$  d’obtenir le marché, si elle est appariée avec  $N - 2$  autres  $S_b$ -entreprises et une  $S_e$ -entreprise, évènement qui se produit avec la probabilité  $\epsilon(1 - \epsilon)^{(N-2)}$ , elle n’a qu’une chance sur  $N - 1$  d’obtenir le marché, et ainsi de suite... Au bout du compte, la probabilité —  $\mathbb{P}_{S_b}^N$  — qu’une  $S_b$ -entreprise obtienne le marché est :

$$\mathbb{P}_{S_b}^N = \sum_{j=0}^{N-1} \frac{(1 - \epsilon)^{(N-j-1)} \epsilon^j}{(N - j)} = \epsilon^{(N-1)} \sum_{j=0}^{N-1} \frac{1}{N - j} \left( \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} \right)^{(N-j-1)} \longrightarrow \begin{cases} (1 - \epsilon)/2 & \text{si } N \downarrow 2 \\ 0 & \text{si } N \uparrow \infty \end{cases}$$



Ici encore, quand  $N \downarrow 2$ , on retrouve la probabilité obtenue dans le cas de l'appariement par paire. Quand  $N \uparrow \infty$ , la probabilité s'annule, par ce qu'il devient certain qu'une  $S_e$ -entreprise sera appariée avec une infinité de  $S_e$ -entreprises. L'espérance d'utilité d'une  $S_b$ -entreprise est donc :

$$\mathbb{E}U_N(S_b) = \epsilon^{(N-1)} \sum_{j=0}^{N-1} \frac{V_b}{N-j} \left( \frac{1-\epsilon}{\epsilon} \right)^{(N-j-1)} \longrightarrow \begin{cases} \mathbb{E}U(S_b) & \text{si } N \downarrow 2 \\ 0 & \text{si } N \uparrow \infty \end{cases}$$

Notons que  $\mathbb{E}U_N(S_b)$  peut encore s'écrire sous la forme :

$$\mathbb{E}U_N(S_b) = \left[ \frac{(1-\epsilon)^{(N-1)}V_b}{N} + \epsilon^{(N-1)} \sum_{j=1}^{N-2} \frac{V_b}{N-j} \left( \frac{1-\epsilon}{\epsilon} \right)^{(N-j-1)} \right] + \epsilon^{(N-1)}V_b$$

Ceci permet de s'apercevoir que quand  $\epsilon \ll 1$  :

$$\begin{cases} \mathbb{E}U_N(S_b) = V_b/N \\ \mathbb{E}U_N(S_e) = I \end{cases}$$

En d'autres termes, pour que  $S_e$  soit évolutionnairement stable — *i. e.* :  $\mathbb{E}U_N(S_e) > \mathbb{E}U_N(S_b)$ , il est suffisant que  $I > V_b/N$ , ce qui généralise la condition obtenue lors des appariements par paire. On constate donc que la situation de l'État est améliorée par l'occurrence de multi-appariements, puisque pour rendre la stratégie des salaires élevés évolutionnairement stable il doit subir un coût de plus en plus faible avec l'accroissement de  $N$ . Comme précédemment, la dynamique de réplication de ce modèle est donnée par :

$$\frac{\dot{\epsilon}_3(t)}{\epsilon_3(t)} = (1 - \epsilon_3(t)) [\mathbb{E}U_N(S_e) - \mathbb{E}U_N(S_b)]$$

ou encore :

$$\dot{\epsilon}_3(t) = \epsilon_4(t) (1 - \epsilon_3(t)) H(\epsilon_3(t))$$

où :

$$H(\epsilon_3(t)) = \left[ \epsilon_3(t) \left( \frac{V_e}{N} \right) + \left[ 1 - \epsilon_3^{(N-1)}(t) \right] I - \epsilon_3^{(N-1)}(t) \sum_{j=0}^{N-1} \left( \frac{V_b}{N-j} \right) \left( \frac{1-\epsilon_3(t)}{\epsilon_3(t)} \right)^{(N-j-1)} \right]$$

Il est clair que  $\epsilon_3 = 0$  et  $\epsilon_3 = 1$  sont des points stationnaires de cette dynamique de réplication. La difficulté est de savoir s'il existe un  $\epsilon_3^*$  tel que  $H(\epsilon_3(t)) = 0$ . Posons  $k = N - j$ , on a alors :

$$H(\epsilon_3) = \left[ \epsilon_3 \left( \frac{V_e}{N} \right) + \left[ 1 - \epsilon_3^{(N-1)} \right] I - \sum_{k=1}^N \left( \frac{V_b}{k} \right) (1 - \epsilon_3)^{(k-1)} \epsilon_3^{(N-k)} \right]$$

On a donc :

$$H(0) = I - \frac{V_b}{N} \quad \text{et} \quad H(1) = \frac{V_e}{N} - V_b$$

De ce fait, par continuité, les conditions nécessaires et suffisantes pour qu'il existe  $\epsilon_3^* \in ]0, 1[$  tel que  $H(\epsilon_3) = 0$  sont que :

$$\begin{cases} I > \frac{V_b}{N} \\ \frac{V_e}{N} < V_b \end{cases}$$

Si ces conditions sont vérifiées, on peut réécrire  $H_2(\epsilon_3)$  sous la forme :  $H_2(\epsilon_3) = \epsilon_3(t) - \epsilon_3^*$  et la dynamique de réplication a exactement la même forme que précédemment, c'est-à-dire :

1. dans le cas non retardé :

$$\dot{\epsilon}_3(t) = -\delta_3 \epsilon_3(t) (1 - \epsilon_3(t)) [\epsilon_3(t) - \epsilon_3^*]$$

2. dans le cas avec retard :

$$\dot{\epsilon}_4(t) = -\delta_4 \epsilon_4(t) (1 - \epsilon_4(t)) [\epsilon_4(t - \tau) - \epsilon_4^*]$$

Il n'est donc pas nécessaire de reprendre une analyse de ces dynamiques puisqu'elles aboutissent exactement au même résultat que dans le cas des deux dynamiques précédentes. La difficulté apparaît uniquement d'un point de vue numérique, puisqu'il faut évaluer  $\epsilon_4^*(N)$  de telle sorte à connaître  $\tau_c(N)$ . En effet, ici c'est  $N$  qui est le paramètre d'intérêt. La figure (5) montre que  $\epsilon_4^*$  croît avec  $N$ .

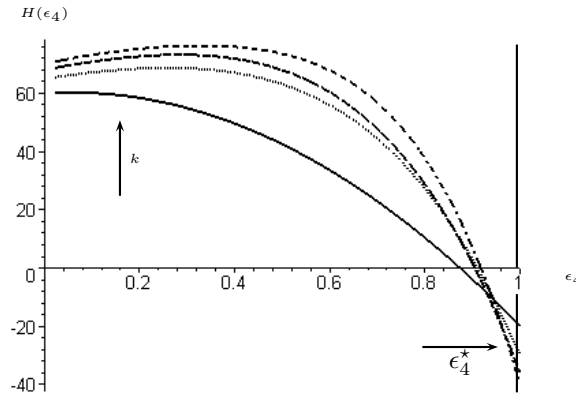


FIGURE 5 – EFFET DU NOMBRE D'APPARIÉS SUR  $\epsilon_4^*$

## 8 La nature de l'indemnisation

Nous avons consacré l'essentiel de cet article à défendre la proposition suivante : *en instituant une indemnité versée aux  $S_e$ -entreprises chaque fois qu'elles perdent un marché au profit des  $S_b$ -entreprises, l'État peut garantir la survie d'un certain pourcentage d'entre elles dans la population totale des entreprises et moraliser plus ou moins le marché*. Il est censé pouvoir réaliser cette opération à un coût d'autant plus faible que le nombre d'entreprises qui sont appariées en moyenne sur un contrat de transport est élevé. Les questions importantes qui en découlent sont alors :

1. une telle politique est-elle réellement souhaitable ?
2. Peut-elle être réellement implémentée ?

En ce qui concerne la première question, nous pouvons y répondre favorablement. En instituant ce type de prime, l'État garanti soit que la proportion des  $S_e$ -entreprises converge vers une proportion stable, soit qu'elle oscille autour de cette dernière, soit enfin que, pendant certaines périodes de longueur  $\tau$ , elle traduise leur quasi-extinction et que, brutalement, elle traduise leur quasi-totale adoption. Ces fluctuations peuvent sembler défavorables, mais il est important de comparer les différentes situations induites par l'interventionnisme étatique avec la disparition inéluctable des  $S_e$ -entreprises dans le cas contraire. Bien entendu, cet argument prend en compte le fait que l'État ne peut changer complètement la matrice des rémunérations dans le contexte européen. Dans les règles européennes de la concurrence, une telle indemnisation est possible si toutes les entreprises peuvent y avoir accès. Ceci sous-entend donc que les entreprises de transport

des pays du Sud de l'Europe — comme l'Italie et l'Espagne —, pays dans lesquels la concentration du secteur des transports routiers est plus faible que dans les pays du Nord — comme la Belgique et les Pays-Bas — demanderont rapidement à bénéficier de ces indemnités.

Simultanément, il faut garder à l'esprit que maintenir, par une politique discrétionnaire, un ensemble de  $S_e$ -entreprises permet à tout gouvernement national aux poings liés par les accords communautaires d'arguer de sa politique favorable aux salariés dans les conflits sociaux potentiels et de détourner la «*hire*» de ces derniers vers les  $S_b$ -entreprises plutôt que vers l'Europe. En termes de cycle de la vie politique, l'État a manifestement intérêt à pratiquer une telle politique.

En ce qui concerne la seconde question, à savoir si une telle politique d'indemnisation peut être implémentée, la réponse est plus nuancée. En effet, lorsqu'un affréteur demande un devis à une entreprise de transport, s'il décide, en définitive de faire appel à une autre entreprise, il n'a aucune raison de justifier de son choix. En d'autres termes, il est extrêmement difficile de savoir si la non-attribution d'un marché est la conséquence du hasard ou la conséquence d'un appariement avec une  $S_b$ -entreprise. On peut cependant suggérer que l'État peut verser une prime calculée à partir du chiffre d'affaire des transporteurs routiers dans leur ensemble. Cependant, même cette suggestion peut être difficilement implémentable pour au moins deux raisons :

1. une telle prime inciterait les transporteurs à déposer de fausses déclarations, créant ainsi un problème annexe d'incitation à la révélation du type de chaque entreprise,
2. selon les dynamiques mises en évidence, le type d'une entreprise peut changer extrêmement rapidement entre deux déclarations, rendant impossible sa révélation exacte.

## 9 Conclusion

Nous avons montré qu'il n'est pas possible de maintenir sur le marché des transports des  $S_e$ -entreprises hors du champ de l'intervention de l'État. Cependant, son intervention n'est qu'imparfaite et peut conduire à de graves difficultés d'implémentation des politiques de transport routiers. À moins que l'Europe, qu'elle se constitue un jour en État Fédéral ou non, adopte une industrielle moins libérale, ce qui risque de se produire avec son élargissement futur probable aux pays de l'Europe de l'Est, nous pouvons nous attendre à une récurrence régulière des conflits des transports routiers.

## Références

- Bellman, R. & Cooke, K. (1963), *Differential-Difference Equations*, Academic Press.
- Cooke, K. & Grossman, Z. (1982), 'Discrete delays, distributed delays and stability switches', *Journal of Mathematical Analysis and Applications* **86**, 592–627.
- Datko, R. (1978), 'A procedure for determination of the exponential stability of certain differential-difference equations', *Quarterly of Applied Mathematics* **36**, 279–292.
- Driver, R. (1977), *Ordinary and Delay differential Equations*, Springer.
- El'sgot't, L. & Norkin, S. (1973), *Introduction to the theory and application of differential equations with deviating arguments*, Academic Press.
- Falbo, C. (1995), Analytic and numerical solutions to the delay differential equations, in 'Joint Meeting of the Northern and Southern California Sections of the MAA'.
- Kalecki, M. (1935), 'A macrodynamic theory of business cycles', *Econometrica* **3**, 327–344.
- Krall, A. (1967), *Stability techniques for Linear Systems*, Gordon & Breach.
- Lange, O. (1979), *Introduction to Economic Cybernetics*, Pergamon Press.
- Lee, M. & Hsu, C. (1969), 'On the  $\tau$ -decomposition method of stability analysis for retarded dynamical systems', *SIAM J. Control* **7**, 242–259.
- Mazanov, A. & Tognetti, K. (1974), 'Taylor series expansion of delay differential equations – a warning', *Journal of Theoretical Biology* **46**, 271–282.

- Vega-Redondo, F. (1996), *Evolution, Games, and Economic Behaviour*, Oxford University Press.
- Wangersky, P. & Cunningham, W. (1956), 'On time lag in equations of growth', *Proceeding of the National Academy of Science* **42**, 699–702.