Changement technologique et régulation environnementale : une approche en information imparfaite

Etienne Lavail, Jean-Michel Salles, Mabel Tidball, . Université Paris 1

ACI-CTDD, Paris, 8 octobre 2007

Changement technologique et régulation environnementale : une approche en information imparfaite

Etienne Lavail, Jean-Michel Salles
et Mabel Tidball

UMR LAMETA Montpellier

Comment le jeu entre acteurs pilote le rythme du changement technique orienté en faveur de l'environnement ?

- Le problème
- En l'absence de politique publique, il n'existe pas a priori d'incitation pour les firmes à investir dans R/D en faveur de l'environnement
- En l'absence de R/D des firmes, un régulateur soucieux du bien-être des citoyens ne peut imposer de politique environnementale ambitieuse
- Piste de solution
- Le rythme du changement technique orienté en faveur de la qualité de l'environnement est piloté par un jeu d'anticipations croisées entre les firmes innovantes et le régulateur
- Chacun va chercher à influencer les autres

Le modèle en information parfaite (Puller, 2006)

- Régulateur fixe une norme X (% de réduction de la pollution)
- Firmes choisissent (indépendamment) un niveau d'innovation, I_i, puis sont en concurrence en quantités, q_i, sur le marché.
- Le modèle simplifié
  - 2 firmes i et j, en duopole de Cournot
  - Fonction de demande inverse $P(Q) = 1 – Q$, avec $Q = q_i + q_j$
  - En l'absence de normes, les coûts marginaux sont constants $c_i = \tilde{c}_i$
  - Profit de la firme i $\Pi_i = p(q_i, q_j).q_i - c_i q_i$
  - Si x > 0, alors les firmes peuvent innover pour réduire leurs coûts de mise en conformité

Le jeu simplifié (suite)

- On suppose que :
  - le durcissement de la norme accroît les coûts de façon croissante
  - l'innovation réduit linéairement les coûts de mise en conformité
  - Les dépenses de R/D conduisent à I_i de façon déterministe : $R(I) = ½\gamma I^2$
- Il vient donc : $$\pi 1 := (1 - q1 - q2)\, q1 - (\alpha 1\, x + \lambda\, x^2 - \phi\, x\, I1)\, q1 - \frac{\gamma\, I1^2}{2}$$

  avec α_1, λ et ϕ constantes > 0
- Et la fonction de bien-être social est : $W = \Pi_1 + \Pi_2 + CS + EC$

  avec : Π_1 et Π_2, les profits des firmes 1 et 2

  $EC = \delta(1\text{-}X)Q$, les coûts externes liés à la pollution, $\delta > 0$

  $CS = \int_0^{Q^*} P(Q)dQ - P(Q^*).Q^*$ le surplus des consommateurs

  ici $$CS = \frac{Q^{*2}}{2} = \frac{\left(q_1^* + q_2^*\right)^2}{2}$$

Objectif de Puller : comparer 3 situations différentes

- Le niveau d’innovation et de bien-être qu’obtiendrait un planificateur social
  - Le régulateur choisit X et les I_i
  - Les firmes jouent Nash en q_i, avec X et I fixés
- Les niveaux obtenus par un régulateur qui s’engage sur une norme *ex ante* ("*commitment*")
  - Le régulateur est « *first mover* » (Leader S), il choisit X = argmax(W)
  - Les firmes choisissent I_i à X fixé, puis jouent Nash en q_i
- Les niveaux obtenus par un régulateur qui peut revenir sur la norme *ex post* ("*no commitment*")
  - Les firmes choisissent I_i, puis jouent Nash en q_i
  - Le régulateur (« *follower* ») choisit X = argmax(W)
- Le jeu se résout par *backward induction* (tout se résout en ordre inversé)

Les résultats

- Le cas « *no commitment* » met en évidence l'usage stratégique qui peut être fait de l'innovation pour influencer le choix de X par le régulateur
- En supposant l'existence d'une solution intérieure, l'innovation à l'équilibre est donnée par :

$$\frac{d\Pi_i}{dI_i} = \frac{\partial \pi_i}{\partial c_i}\cdot\left[\frac{\partial c_i}{\partial I_i} + \frac{\partial c_i}{\partial x^*}\cdot\frac{dx^*}{dI_i}\right] + \frac{\partial \pi_i}{\partial c_j}\cdot\left[\frac{\partial c_j}{\partial I_i} + \frac{\partial c_j}{\partial x^*}\cdot\frac{\partial x^*}{\partial I_i}\right] - \frac{\partial R_i(\cdot)}{\partial I_i}\Big|_{x^*(I_i^*, I_j^*)} = 0$$

$$\Leftrightarrow \quad \underbrace{\frac{\partial \pi_i}{\partial c_i}\cdot\frac{\partial c_i}{\partial I_i}}_{\text{cost reduction effect}} + \underbrace{\frac{\partial \pi_i}{\partial c_j}\cdot\frac{\partial c_j}{\partial x^*}\cdot\frac{dx^*}{dI_i}}_{\text{raise rival cost effect}} = -\left[\underbrace{\frac{\partial \pi_i}{\partial c_i}\cdot\frac{\partial c_i}{\partial x^*}\cdot\frac{dx^*}{dI_i}}_{\text{ratchet effect}} + \frac{\partial \pi_i}{\partial c_j}\cdot\frac{\partial c_j}{\partial I_i} - \underbrace{\frac{\partial R_i(\cdot)}{\partial I_i}}_{\text{R\&D cost}}\right]$$

Avantages d'innover plus :

• Réduction des coûts de conformité

• Accroissement des coûts des rivaux par le durcissement de la norme

Coûts d'innover plus :

• Durcissement de la norme

• Spillover vers les concurrents

• Augmentation des coûts de R/D

Résultats (suite)

- On ne peut pas comparer analytiquement les jeux de structure différente
- Application numérique, dans le cas symétrique d'un duopole de firmes identiques ($\alpha_i = \alpha_j = \alpha$ et mêmes coûts et avantages de l'innovation)
- Pour des valeurs « raisonnables » des paramètres, les trois cas sont beaucoup plus proches dans le cas duopole que dans le cas monopole
- Mais conservent la hiérarchie :

  Planificateur social > *Commitment* > *No commitment*
- Cependant, la concurrence incite les entreprises à agir presque comme si le régulateur s'engageait
- Le cas *No commitment* peut même devenir socialement préférable dans le cas d'une asymétrie sur les α
- Rappelons que ces résultats sont acquis en information parfaite
- Que se passerait-il en information imparfaite ?

Le modèle en information imparfaite : l'équilibre conjectural entre les firmes

- Chaque firme vise à maximiser son profit sans connaître la fonction de profit de son rival. Mais elle peut observer le son comportement, par exemple (duopole Cournot) sa production q_j
- Elle va faire une conjecture sur l'évolution de la production de la firme j en fonction de l'évolution de sa propre production

$$q_j = \overline{q_j} + a_i\left(q_i - \overline{q_i}\right), \quad a_i \in \Re$$

- Chaque firme a une stratégie de référence q_i^{-} donnée et connaît celle des autres firmes (par exemple le niveau de production de j avant la régulation environnementale).
- La conjecture de la firme i revient à supposer que la firme j va dévier de sa stratégie de référence d'une quantité proportionnelle à la déviation de i
- La variation est supposée affine avec un paramètre d'apprentissage a_i

…

- La firme i peut alors maximiser son profit à partir de ses conjectures sur j
- Son programme est alors : $\max_{q_i, I_i} \Pi_i\left(q_i, \overline{q_j} + a_i.\left(q_i - \overline{q_j}\right), I_i\right)$
- Ici, les conjectures ne portent que sur les quantités, l'innovation n'est abordée que de façon indirecte
- Si la solution existe et est unique, on obtient la fonction de réaction de la firme i : $x_i = r_i\left(\overline{q_i}, a_i\right)$

  Avec $\bar{q}$ le vecteur des stratégies de références et a_i le paramètre d'apprentissage

- Ici, il vient :

$$\cdot \left\{ \begin{array}{ll} \frac{\partial \Pi_i(\cdot)}{\partial q_i} & = 0 \\ \frac{\partial \Pi_i(\cdot)}{\partial I_i} & = 0 \\ \mathcal{D}^2 \Pi_i(q_i, I_i) & \text{,la hessienne, est définie négative} \end{array} \right.$$

$$\Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{lll} q_i & = & \frac{\gamma(-a_i\overline{q_i} - 1 + \overline{q_i} + \alpha x + \lambda \cdot x^2)}{(-2\gamma - 2a_i\gamma - 2\beta\gamma + \phi^2 x^2)} \\ I_i & = & \frac{\phi x}{\gamma} \cdot q_i \\ a_i & > & \frac{(\phi x)^2}{2\gamma} - \beta - 1 \end{array} \right.$$

…

- Les firmes jouent simultanément, puis chacune peut observer la valeur de la production de l'autre. Elle peut alors comparer sa conjecture avec la réalisation (qui repose elle-même sur une conjecture)
- Elle est alors en mesure de calculer la valeur qu'aurait du prendre a'_i

$$q_j = \overline{q_j} + a_i'.\left(q_i - \overline{q_i}\right) \quad soit \quad a_i' = \frac{q_j - \overline{q_j}}{q_i - \overline{q_i}}$$

- La firme peut alors corriger son paramètre d'apprentissage pour prendre en compte cette information. Elle va le faire progressivement, pour intégrer le fait que cette information n'est pas fiable, avec un « paramètre d'ajustement » $\rho_i \in [0, 1]$
- Elle corrige sa conjecture qui devient : $a_{i(2)} = (1 - \rho_i).\ a_i + \rho_i\ .\ a'_i$
- L'autre firme fait la même chose en parallèle
- On peut donc représenter la dynamique du processus d'apprentissage

Le processus d'apprentissage

- A chaque étape t, les firmes ajustent les quantités q(t) et les niveaux d'innovation I(t). Si on note $a_i(t)$ le paramètre d'apprentissage de la firme i au début de l'étape t et $a_i'(t)$ la valeur corrigée étant donné que la firme j a effectivement produit $r_i(t)$ en t, il vient

$$a_i'(t) = \frac{r_j((\overline{q_i}, \overline{q_j}), a_j(t)) - \overline{q_j}}{r_i((\overline{q_i}, \overline{q_j}), a_i(t)) - \overline{q_i}}$$

- Ce qui donne la dynamique :

$$a_i(t+1) = (1-\rho_i)a_i(t) + \rho_i \frac{r_j((\overline{q_i}, \overline{q_j}), a_j(t)) - \overline{q_j}}{r_i((\overline{q_i}, \overline{q_j}), a_i(t)) - \overline{q_i}}$$

- Le paramètre $a_i(t+1)$ n'est défini que si r_i et r_j existent et $r_i \neq \bar{q}_i$
- Les stratégies de référence $\bar{q}_i$ et $\bar{q}_j$ sont exogène et leur choix discutable (en pratique, nous les avons choisies identiques et égales aux valeur de q_i à l'équilibre de Nash)

Résultats

- On a appliqué le procédé de variations conjecturales, tel que défini par Tidball et Jean-Marie (2006) à un cadre inspiré de Puller (2006).
- En fait, fonction de coût modifiée, car était concave pour I optimale
  - Donc, pas de solution intérieure pour l'optimum de cartel entre i et j (solution de bord car le monopole est plus efficace)
  - Or, simultanéité et symétrie du processus maintiennent la trajectoire sur l'axe $q_i = q_j$
  - $\Rightarrow$ Les conjectures convergent vers un point-selle
- Ajout d'un paramètre pour rendre fonction convexe : $\beta > \phi X/\gamma$

$$\Pi_i = (1 - q_i - qj) \cdot q_i - (\beta \cdot q_i + \alpha_i \cdot x + \lambda \cdot x^2 - \phi \cdot x \cdot I_i) \cdot q_i - \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot I^2$$

- On obtient alors une convergence vers l'optimum de cartel

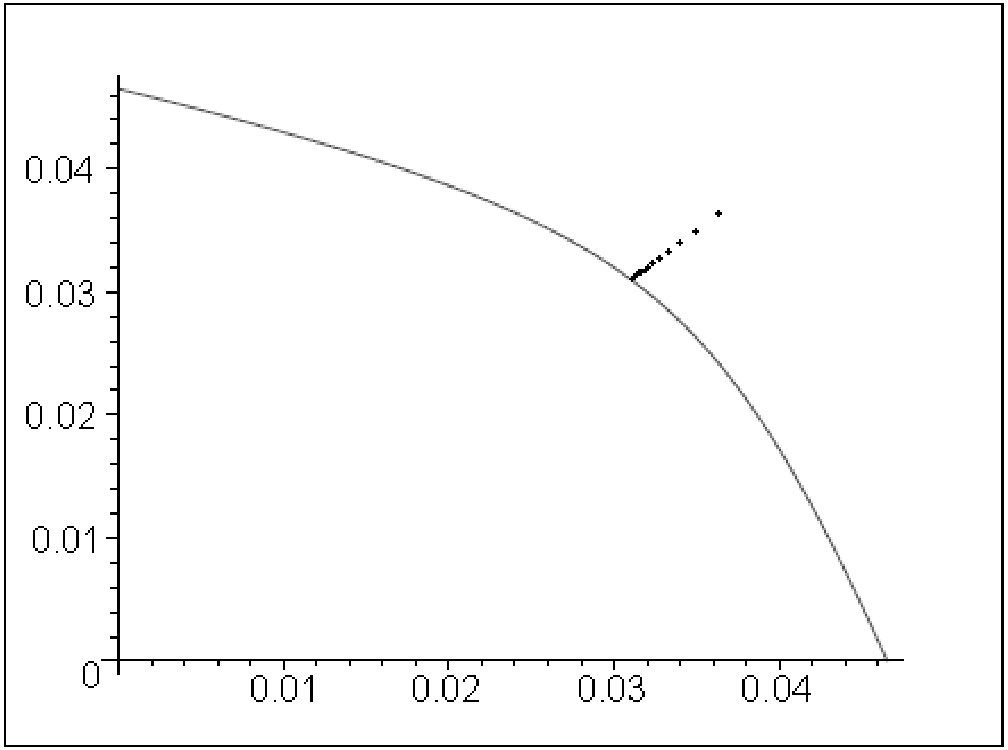
$$\lim_{t \to \infty} a_i(t+1) = (1 - \rho_i) a_i(t) + \rho_i \frac{r_j(\overline{q}, a_j(t)) - \overline{q_j}}{(\overline{q}, a_i(t)) - \overline{q_i}}$$

Application numérique

- On prend les valeurs : $\alpha = 0.15, \lambda = 0.09, \phi = 0.25, \gamma = 0.40, \delta = 0.80.$
- Et on donne à β une valeur suffisamment grande β = 1
- On cherche à savoir si les niveaux de production et d'innovation vers lesquels converge ce processus sont optimaux : $\max_{q,I} (\theta\Pi_i + (1-\theta)\Pi_j)$
- Il existe une seule solution pour θ = ½
- Ce résultat découle du fait que les firmes optimisent selon la direction définie par leur conjectures. À l'optimum, cette ligne est tangente à la courbe d'iso-utilité de l'entreprise concurrente. Au point de convergence, les deux firmes optimisent suivant la même ligne, tangente aux courbe d'iso-utilité des deux firmes. C'est la condition nécessaire d'existence de l'optimum, la condition suffisante provient de la concavité de ces courbes.
- Il reste à montrer la convergence du processus et pour cela à étudier la stabilité locale

Stabilité locale

- On vérifie directement les résultats établis par Tidball et Jean-Marie
- On réalise une simulation numérique pour le point de convergence (1,1)
- Dans le diagramme (q_i, q_j), on observe (évidemment) une réductin des quantités qui traduit une réduction de l'effort d'innovation ! ! !



Extensions (+/- urgentes)

- Reprendre le processus avec des conjectures sur les I_i
- Reprendre le processus avec des firmes asymétriques
- Essayer d’adapter le modèle de façon à permettre un jeu entre les firmes et le régulateur
- Si les conjectures ne le permettent pas (ça ne semble pas simple), basculer vers un jeu de signalement (?…)