

## **Pour un financement conditionnel des projets risqués bas carbone<sup>1</sup>**

*Guy Meunier<sup>2</sup> et Jean-Pierre Ponssard<sup>3</sup>*

Ecole Polytechnique, Département d'Economie

Document de travail septembre 2016

### **Résumé**

Une critique récurrente des subventions aux technologies propres (énergies renouvelables, solaire, mécanismes de développement propre, voiture électrique, ...) est l'existence d'effets d'aubaine : des investissements bénéficient de subventions dont ils n'ont pas besoin pour être rentables. Cette note formalise ce type de situation comme la sélection d'un portefeuille de projets par l'Etat dans un contexte d'asymétrie d'information. Il montre qu'une forme de garantie du financement, avec remboursement en cas de succès, permet de limiter les effets d'aubaines et les dépenses publiques tout en maximisant le bénéfice social en termes de réduction des émissions. La pertinence du mécanisme proposé est illustrée dans le cadre de subventions pour le déploiement des infrastructures pour les véhicules à hydrogène.

*Mots clés:* technologies vertes, politiques publiques, avance remboursable, information asymétrique

### **Abstract**

Subsidies are extensively used for promoting the deployment of green technologies (renewables, clean development mechanism, electric vehicles...). Such policies may generate high windfall profits: some of the projects that benefited from the subsidies would have been undertaken anyway. The paper formalizes this situation using a simple principal agent framework under adverse selection. The agent may invest or not and obtain some private benefit in case of success. The principal observes both the investment and the eventual success, which generates a social benefit. Under some conditions it is shown that a subsidy paid conditional on failure (and not on success) limits the windfall profit while encouraging a large portfolio of projects to be invested. The relevance of this policy is discussed in the context of facilitating investment for infrastructure for fuel cell electric vehicles.

*Keywords:* green technologies, subsidies, adverse selection

---

<sup>1</sup> Nous remercions Pierre Boyer, François Larmande, Christian de Perthuis, Philippe Quirion ainsi que les participants à l'atelier Déclinaison sectorielle des scénarios de transition : application au secteur de la mobilité, 16 Septembre 2015, Paris, au workshop on CO2 pricing and sectoral complementary policies, April 18, 2016, CIRANO, Montréal, Quebec (Canada), et au Friday Lunch Meeting, Chaire Economie du Climat, Paris 1er Juillet 2016 pour leurs commentaires et suggestions. Cette note a été partiellement financée par la chaire Energie et Prospérité et par l'ANR/Investissements d'avenir (ANR -11- IDEX-0003-02).

<sup>2</sup> INRA et Ecole Polytechnique, UR 1303

<sup>3</sup> CNRS et Ecole Polytechnique, UMR 9194

## Pour un financement conditionnel des projets risqués bas carbone

### 1. L'idée de départ

Le défi du changement climatique ne pourra pas être relevé sans un effort important sur le plan technologique. Les programmes de recherche correspondants s'inscrivent le plus souvent dans un horizon de plusieurs dizaines d'années. A cet horizon les mécanismes d'incitation sous la forme de marchés carbone, lorsqu'ils existent, sont inopérants : l'Union Européenne n'a pas encore défini les règles de l'EU-ETS à l'horizon 2020, l'expérience du SO<sub>2</sub> aux Etats Unis montre que l'Etat pouvait revenir sur une régulation préalablement définie, les annonces faites lors de la COP 21 ne contiennent aucun engagement à un prix du carbone. L'impossibilité pour l'Etat à s'engager sur le long terme constitue un frein pour l'investissement dans les technologies non carbonées.

Il existe certes d'autres formes d'incitation et les encouragements de certains macro-économistes néo-keynésiens à relancer l'économie européenne en finançant la transition énergétique laisse à penser qu'elles pourraient se multiplier (Aglietta et ali., 2015). L'Etat peut en effet accorder des aides à la R&D (capture du carbone), subventionner la production d'énergies non carbonées (photovoltaïque ou éolien). La multiplication de ces aides sectorielles peut légitimement susciter un débat sur le gaspillage qu'elles peuvent engendrer : du point de vue de la théorie économique elles seront en partie inefficaces (optimum dit de second rang) ; leur mise en place sont souvent faites sans référence à un prix social du carbone et peuvent donc correspondre à des coûts d'abattement très élevés ; inversement elles peuvent engendrer des effets d'aubaine, certains de ces programmes auraient peut-être été lancés sans subvention. L'existence d'asymétrie d'information entre l'Etat et les industriels est à l'origine de ces nombreux effets pervers. La présente contribution s'inscrit dans cette tradition (voir par exemple Fischer, 2005, Montero, 2000).

L'idée principale de cette note est de démontrer l'intérêt d'un *mécanisme de subvention contingent* (type avance remboursable) propre à minimiser ces effets pervers.<sup>4</sup> Schématiquement il s'agit de reconnaître la part d'incertitude à la plupart de ces investissements, d'en encourager le plus possible par une aide remboursable finançant seulement une fraction de l'investissement, le remboursement n'ayant lieu qu'en cas de succès du projet. Nous supposons explicitement que l'entreprise connaît la probabilité de succès de chaque projet alors que l'Etat ne connaît pas cette probabilité. L'aide est versée en cas d'échec mais pas en cas de succès. Cette idée peut paraître paradoxale, surtout si l'aide est gagée sur les émissions évitées en cas de succès. Mais, d'une part, en ne finançant qu'une partie de l'investissement on responsabilise le porteur du projet et on évite de financer des projets ayant une faible probabilité de réussite. Et d'autre part, en

---

<sup>4</sup> L'idée d'avance remboursable a été historiquement introduite pour les programmes aéronautiques ou elle se substitue aux subventions pures et simples non conformes aux lois du commerce international. Cette idée a aussi été introduite récemment pour les investissements d'avenir (cf. Ademe) mais à notre connaissance son analyse économique reste encore peu développée.

demandant un remboursement en cas de succès on limite l'effet d'aubaine, les projets déjà intrinsèquement rentables n'ayant pas besoin de la subvention pour être mis en œuvre.

Un mécanisme de ce type a été proposé pour financer les coûts d'infrastructure pour le déploiement des véhicules à hydrogène (mécanisme *eTICC*, pour Energy Transition Infrastructures with Carbon reduction Certificates).<sup>5</sup> Les véhicules électriques à batterie (BEV, Battery Electric Vehicles) et à hydrogène (FCEV, Fuel Cell Electric Vehicles) joueront en effet un rôle important dans le secteur des transports pour réduire les émissions associées aux véhicules à combustion interne d'énergie fossile (Harrison, 2014).

Dans de nombreux pays une panoplie d'instruments est utilisée pour favoriser leur déploiement. La part des FCEV reste encore limitée du fait de la nécessité de mettre en place un réseau d'infrastructure de stations pour la distribution d'H<sub>2</sub>. Cette mise en place pose un problème de poule et d'œuf : sans infrastructure pas de vente possible de FCEV, sans vente de FCEV pas besoin d'infrastructure.

Plusieurs expériences pilotes sont lancées (Brunet, Kotelnikova et Ponssard 2015) mais pour obtenir un résultat quantitativement significatif il faudrait qu'elles se multiplient. La rentabilité effective de ces projets d'infrastructure est difficile à évaluer, puisqu'elle dépend de la vitesse de mise sur le marché des véhicules, qui elle-même dépend de la mise en place de la politique climatique de l'Etat<sup>6</sup>.

Le mécanisme *eTICC* n'est pas stricto sensu une avance remboursable puisque dans ce cas l'Etat garantit une partie de la dette levée par l'industriel porteur de projet pour compléter sa mise de fonds, plutôt que d'apporter directement le financement. Le montant garanti est calculé sur la base des émissions que l'infrastructure permet d'éviter. Les avantages supplémentaires par rapport à un mécanisme d'avance remboursable classique (tel que décrit dans la suite de cet article) sont

- d'une part l'Etat n'avance pas l'argent, et de mobiliser des financements privés
- d'autre part l'investissement dans l'infrastructure étant à terme rentable (dès lors que des politiques et réglementation pour décarboner la mobilité sont effectivement mises en œuvre), la probabilité d'appel de la garantie est a priori suffisamment faible pour que cette dernière ne soit pas consolidée dans la dette de l'Etat

Cette situation pour les infrastructures de mobilité propre n'est pas unique. Il existe en fait de nombreuses situations dans lesquelles l'Etat est encouragé à apporter sa participation et toute une série de projets vient le solliciter sans qu'il soit facile d'opérer une sélection entre les projets nécessitant vraiment un support public et les projets intrinsèquement rentables avec les politiques existantes. Ce contexte n'est pas sans rappeler la question des crédits carbone accordés

---

<sup>5</sup> Note Air Liquide - CDC Climat Recherche, Laffitte et al. 2015

<sup>6</sup> Techniquement, cela signifie que la probabilité de succès "p" du modèle présenté ici est en fait inconnue non seulement de l'Etat mais aussi de l'entreprise: l'entreprise se fait une certaine idée du niveau de p, mais celui-ci dépend aussi des politiques futures de décarbonation.

dans le cadre des mécanismes de développement propres (Gillenwater et Seres, 2011). Dans ce cadre un financement était accordé à tout projet dont on pouvait démontrer ex-ante que l'attribution de crédits carbone permettrait d'obtenir une rentabilité seuil alors que sans crédits cette rentabilité ne serait pas obtenue. L'expérience a montré la faiblesse d'une telle procédure facilement manipulable ; ex-post de nombreux projets intrinsèquement rentables ont en fait bénéficié d'un tel financement mais la multiplication des crédits a fini par poser un problème de financement. Des dérives similaires ont été observées dans les subventions pour l'installation de panneaux photovoltaïques.

Le mode de financement proposé ici apporte lui aussi une aide dès le départ couvrant une partie des coûts du projet. Des conditions de remboursement de cette aide sont définies en fonction d'un niveau de réussite à un horizon défini à l'avance. Pour l'entreprise ne pas tout mettre en œuvre pour la réussite du projet c'est perdre sa mise initiale et si les gains attendus compensent la diminution de la subvention la réussite est encouragée ; l'intérêt des parties est sinon totalement du moins partiellement aligné.

Cette note se propose d'explorer les propriétés d'un tel mécanisme dans un cadre très stylisé indépendamment de toute une série de questions pratiques ou réglementaires qui pourraient se poser par ailleurs. Il s'agit d'apporter les premiers éléments d'analyse économique. La section 2 explicite le modèle et ses propriétés. La section 3 discute sa pertinence dans le cadre du financement de la transition énergétique. En annexe 1 nous présentons une étude de cas stylisée inspirée de l'arbitrage entre un véhicule à combustion interne et un véhicule électrique. Cette illustration numérique permet de montrer l'intérêt de l'avance remboursable par rapport à des subventions fixes ou proportionnelles. Enfin l'annexe 2 présente pour mémoire l'optimum de premier rang obtenu si une taxe carbone pouvait être mis en place.

## 2. Le modèle

Considérons la situation stylisée suivante. Il s'agit de sélectionner certains projets risqués au sein d'un portefeuille  $N = (1, 2, \dots, i, \dots, n)$ ; chaque projet  $i$  est caractérisé par quatre paramètres :

- o un coût d'investissement  $F_i$
- o une date de réalisation du projet  $T_i$
- o un revenu  $R_i$  privé ( $R_i > F_i$ ) et une externalité sociale  $b_i$  seulement en cas de succès, et à aucun revenu ni privé ni social en cas d'échec,
- o une distribution de probabilité jointe définissant les aléas des projets.

Dans un premier temps nous nous limitons au cas le plus simple :

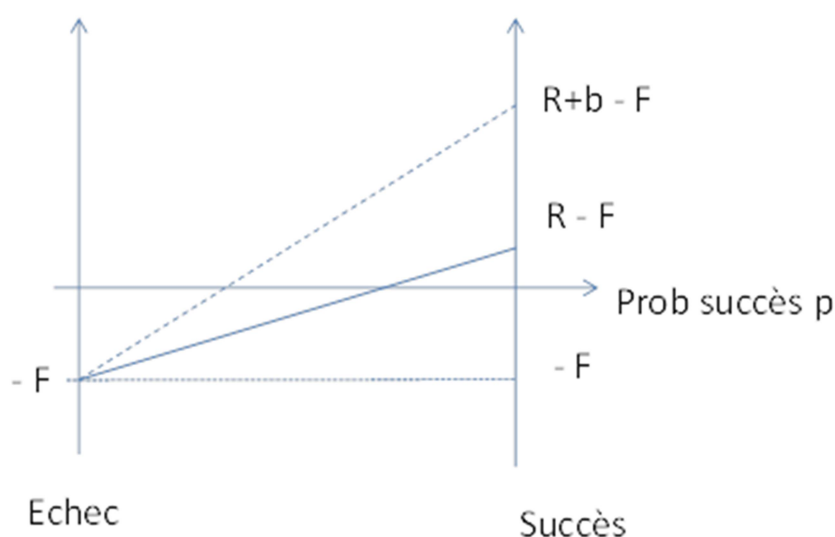
- o les projets ont les mêmes caractéristiques financières et temporelles ( $F, T, R, b$ ) ; pour simplifier nous n'introduisons pas de taux d'intérêt entre les périodes;
- o les projets sont indépendants et identiquement distribués ; dénotons par  $p$  la probabilité de succès et appelons  $F(p)$  la fonction de répartition de  $p$  ; à titre d'illustration nous supposons la répartition de  $p$  uniforme sur l'intervalle  $[0, 1]$ .

Il y a deux parties prenantes : l'Etat et l'entreprise. L'Etat maximise le bien-être social, l'entreprise son profit. Les paramètres financiers et temporels sont connaissance commune, c'est-à-dire

observables et vérifiables. La probabilité de succès d'un projet est une information privée de l'entreprise mais la fonction de distribution  $F(p)$  est connaissance commune.<sup>7</sup>

Il existe deux probabilités de succès seuils (voir figure 1). La probabilité  $p_f$  telle que si  $p > p_f$  l'entreprise entreprend le projet, et la probabilité  $p_{FB}$  telle que si  $p > p_{FB}$  l'Etat entreprendrait le projet (optimum social ou *optimum de premier rang*) s'il en connaissait la probabilité de succès. On a :

$$p_f = F/R < p_{FB} = F/(R+b)$$



**Figure 1** : Les probabilités de succès seuils pour l'Etat et l'entreprise

La question posée est de savoir comment et à quel coût l'Etat peut se rapprocher de l'optimum social grâce à un mécanisme décentralisé.

Formellement nous supposons que l'Etat cherche à maximiser le bénéfice social  $B = \int_0^1 pb \, d(p)$  à l'aide d'un mécanisme de subventions ( $s_1, s_2$ ) où  $s_1$  représente la subvention en cas de succès et  $s_2$  celle en cas d'échec, on suppose qu'elles sont positives. Le bénéfice social  $BN$  net de la subvention s'écrit  $BN = \int_0^1 [pb - (s_1p + (1-p)s_2)] \, d(p)$ .<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Ces hypothèses sont cruciales pour l'analyse. En particulier il convient de souligner que l'Etat observe l'investissement et son coût  $F$  ; en l'absence de cette observation il y aurait un risque évident d'aléa moral : les entreprises pourraient obtenir la subvention, ne rien faire et donc courir à l'échec, et la garder la subvention !

<sup>8</sup> Cette formulation fait l'hypothèse que la subvention est coûteuse pour l'Etat et que ce dernier ne peut pas mettre en place de redistribution de son coût auprès des agents. Une telle hypothèse est en phase avec les contraintes budgétaires actuelles et les difficultés politiques liées à l'instauration d'une taxe carbone. Si l'Etat pouvait mettre en place une taxe carbone et taxer les revenus associés à l'abattement pour les valeurs de  $p > p_f$ , on se retrouverait dans le cas classique de Pigou; ceci reviendrait à choisir  $s_1 = F - R$  ( $< 0$ ) et  $s_2 = F$  et on obtiendrait l'optimum de premier rang.

Connaissant  $(s_1, s_2)$  l'entreprise n'entreprend le projet que si  $-F + pR + s_1p + (1-p)s_2 \geq 0$ .

Il est assez simple de montrer que le mécanisme optimal consiste à fixer  $s_1 = 0$  et n'utiliser que  $s_2$ , la subvention en cas d'échec.<sup>9</sup>

Le mécanisme que nous souhaitons étudier met en place une subvention uniquement en cas d'échec. Il procède de la manière suivante :

- o il apporte une subvention  $s_2 = D$  en cas d'échec du projet,
- o c'est le fait que  $D < F$  qui dissuade les entreprises ayant des projets à faible taux de succès de faire appel au mécanisme d'aide. Ce mécanisme opère une sélection implicite sur le portefeuille de projets.

Dans ces conditions la nouvelle probabilité seuil  $p_f(D)$  à partir de laquelle l'entreprise s'engage dans le projet s'écrit :

$$p_f(D) = (F - D) / (R - D)$$

En reportant cette expression dans  $BN$  un calcul simple montre que la valeur de  $p_f(D)$  qui maximise  $BN$  est obtenu pour :

$$p_f^* = (R + F) / 2(R + b)$$

ce qui revient à choisir pour  $D$  la valeur  $D^* = [F(R + 2b) - R^2] / (R + 2b - F)$

d'où finalement une valeur minimale  $b^*$  pour  $b$  telle que  $b^* = R(R - F) / 2F$ .

Il est possible d'illustrer le mécanisme de manière graphique avec  $F = 1$  et  $R = 1.5$ , les valeurs de  $b$  allant de 0 à 2. On a donc  $p_f = 2/3$  et  $p_{FB}$  qui décroît de  $2/3$  à 0.27 lorsque  $b$  augmente de 0 à 2. La valeur critique  $b^*$  est 0.375. Il faut que  $b$  soit supérieur à cette valeur pour que le mécanisme ait un intérêt économique.

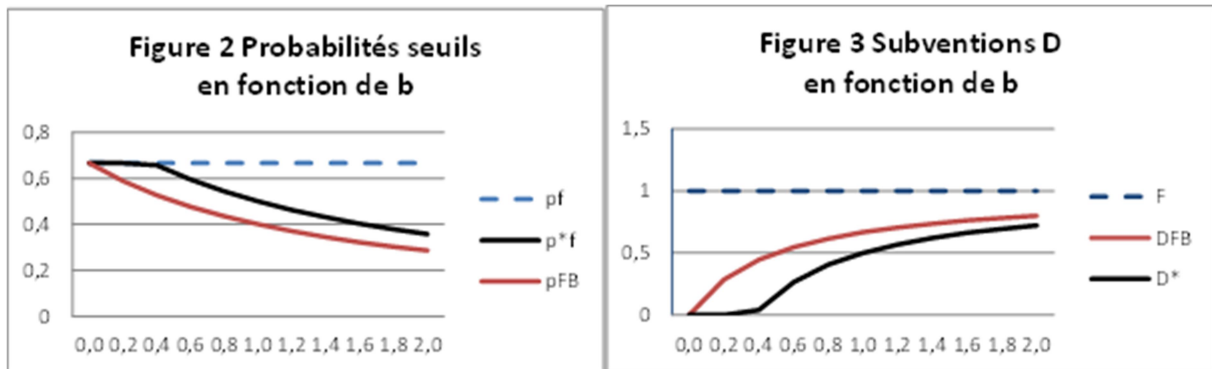
La Figure 2 met en évidence la convergence relativement lente de  $p_f^*$  vers la probabilité seuil de l'optimum de premier rang lorsque le bénéfice social  $b$  augmente. L'écart entre ces deux valeurs explique pourquoi certains projets socialement profitables seront laissés de côté par le mécanisme.

La Figure 3 montre la part croissante de la subvention (en % du coût fixe) lorsque que  $b$  augmente, valeur qui croît d'abord rapidement puis de plus en plus lentement lorsque  $b$  augmente. Même lorsque que  $b$  prend des valeurs élevées la subvention reste nettement inférieure aux 80% nécessaire pour atteindre l'optimum de premier rang. C'est le fait que

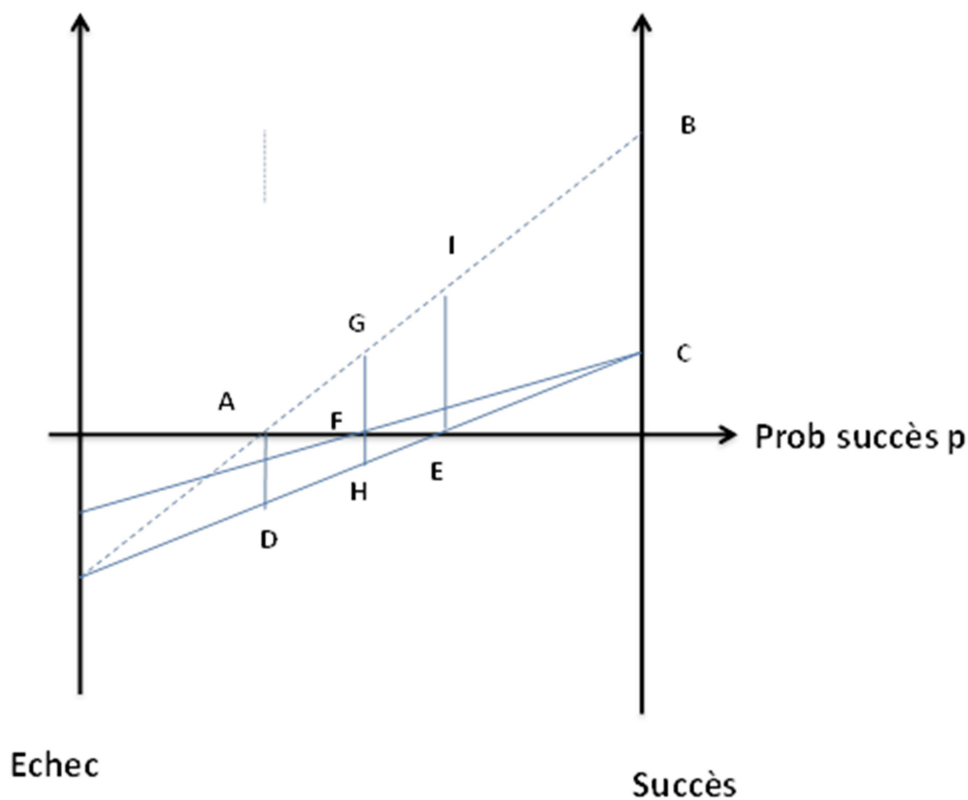
---

<sup>9</sup> Un tel mécanisme permet de minimiser le montant de subvention nécessaire pour mettre en œuvre des projets  $p > p^*$  où  $p^*$  est une cible. Les projets mise en œuvre sont moins souvent en situation d'échec que  $p^*$  et reçoivent donc moins fréquemment la subvention  $s_2$  et plus fréquemment  $s_1$ . Ainsi, réduire  $s_1$  et augmenter  $s_2$  en laissant  $p^*$  indifférent permet de réduire le montant de subvention total.

l'entreprise supporte une part significative du coût d'investissement qui décourage la mise en œuvre de projets à faible probabilité de réussite.



Revenons maintenant à la Figure 1 en faisant apparaître le mécanisme. Nous obtenons la Figure 4. La mise en place du mécanisme fait passer le profit espéré de l'entreprise de la droite EC à la droite FC (le point E correspond à la probabilité seuil  $p_f$ , le point F à la probabilité seuil  $p^*_f$  et le point A à la probabilité seuil  $p_{FB}$ ).



**Figure 4** : Représentation graphique du mécanisme

Nous pouvons utiliser cette figure pour faire le bilan coût bénéfice du mécanisme. En l'absence de subvention, le bénéfice social correspond à l'aire du quadrilatère EIBC : seuls les projets profitables pour l'entreprise sont engagés. L'approche dite optimum de premier rang est

intéressante à identifier à titre de référence (elle n'est pas réalisable par hypothèse du fait de l'absence d'un prix du CO2 à l'horizon du projet). Elle permettrait d'augmenter le bénéfice brut de l'aire du quadrilatère AIED moins le coût pour l'entreprise égal au triangle AED, soit en termes de bénéfice net l'aire correspondant au triangle AIE.

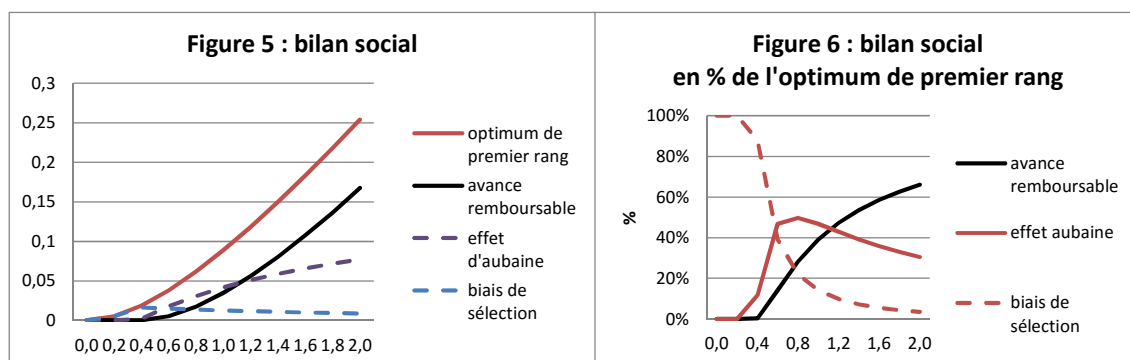
La question est maintenant de savoir si le mécanisme permet de récupérer une partie de ce bénéfice net en faisant passer le seuil d'acceptabilité des projets pour l'entreprise de  $p_f$  à  $p_f^*$ .

Le mécanisme génère un bénéfice brut égal au quadrilatère HGIE (au lieu du quadrilatère AIED) mais au prix d'une subvention correspondant à l'aire du triangle FCH. Décomposons cette dernière en deux triangles FCE et FHE. L'aire de HGIE moins l'aire du triangle FHE peut se calculer comme l'aire du triangle AIE moins celle du triangle AFG. En définitive le bénéfice net dû à ce mécanisme eut se calculer comme  $AIE - AFG - FCE$ . Il y a donc deux pertes par rapport à l'optimum de premier rang :

- un *biais de sélection* : les projets dont les probabilités de succès sont situées entre A et F ne sont pas engagés alors qu'il serait socialement profitable de le faire ;
- un *effet d'aubaine* pour les projets dont les probabilités de succès sont supérieures à  $p_f^*$  et donc pour lesquelles la subvention génère un excédent de profit ; noter que cet excédent diminue avec la probabilité de succès pour les projets intrinsèquement rentables.

La position précise du point F entre A et E arbitre entre ces pertes en minimisant la somme. Plus le bénéfice social en cas de succès est élevé plus le point F se rapproche de A.

Les Figures 5 et 6 illustrent le bilan social du mécanisme (en valeur absolue et en pourcentage de l'optimum de premier rang c'est-à-dire du triangle AIE) la valeur de l'externalité sociale  $b$ . Cette évaluation est quantifiée en identifiant l'origine de la perte en termes d'effet de sélection et d'effet d'aubaine. L'efficacité du mécanisme s'accroît avec  $b$ . Lorsque  $b$  augmente  $p_f^*$  se rapproche de  $p_{FB}$  si bien que le biais de sélection diminue. L'effet d'aubaine augmente avec  $b$  mais à partir d'une certaine valeur il diminue en pourcentage du bénéfice associé à l'optimum de premier rang ; il reste donc bien maîtrisé.



Pour conclure cette analyse coût bénéfice il est intéressant de comparer le mécanisme avec l'internalisation pure et simple de l'externalité. Cette option reviendrait ici à attribuer directement des certificats carbone d'une valeur égale à  $b$  en cas de succès. On retrouverait



certaines l'optimum de premier rang (c'est à-dire l'aire AIE) mais alors, en l'absence d'une taxe sur les profits de l'entreprise, non seulement la totalité de ce bénéfice social serait entièrement récupérée par celle-ci mais l'aire associée au quadrilatère IBCE le serait aussi (on attribuerait des certificats verts aux projets déjà rentables pour l'entreprise). L'effet d'aubaine serait maximal !

### 3. Discussion

Cette analyse d'un mécanisme de subvention contingent de projets risqués bas carbone suggère plusieurs remarques. Nous sommes dans une situation dite d'*optimum de second rang*. Les mécanismes envisagés vont donc générer des distorsions qu'il convient de réduire.

Le bénéfice social consiste en émissions évitées : le projet, s'il est engagé et se traduit pas un succès, permet la mise en place d'une technologie propre qui va se substituer à une technologie polluante. Le bénéfice social est  $b = \tau u_H$  où  $\tau$  représente le coût social du CO2 et  $u_H$  les émissions évitées. Le revenu privé est obtenu sur le marché du bien, le prix du bien étant fixé par référence au coût de la technologie polluante. Le mécanisme étudié revient à faire une analyse coût bénéfice dans un contexte d'incertitude. Il est facile de vérifier que le coût marginal d'abattement pour le régulateur au point  $p = p^*_f$  (probabilité seuil à partir de laquelle le projet est engagé) correspond bien au coût social du carbone  $\tau$  (en ce point le bénéfice marginal est égal au coût marginal).

L'originalité du problème porte sur le choix d'un portefeuille de projets risqués sachant que l'Etat ne connaît pas la probabilité de succès de chaque projet alors que l'entreprise la connaît ou au moins en a une meilleure idée. Certains projets non rentables le seraient d'un point de vue social, compte tenu des émissions évitées en cas de succès. En l'absence d'un marché du carbone comment définir un mécanisme de financement de optimum de deuxième rang rang qui encourage la mise en place de ces projets sans pour autant créer un effet d'aubaine pour ceux qui sont déjà rentables du point de vue de l'entreprise ?

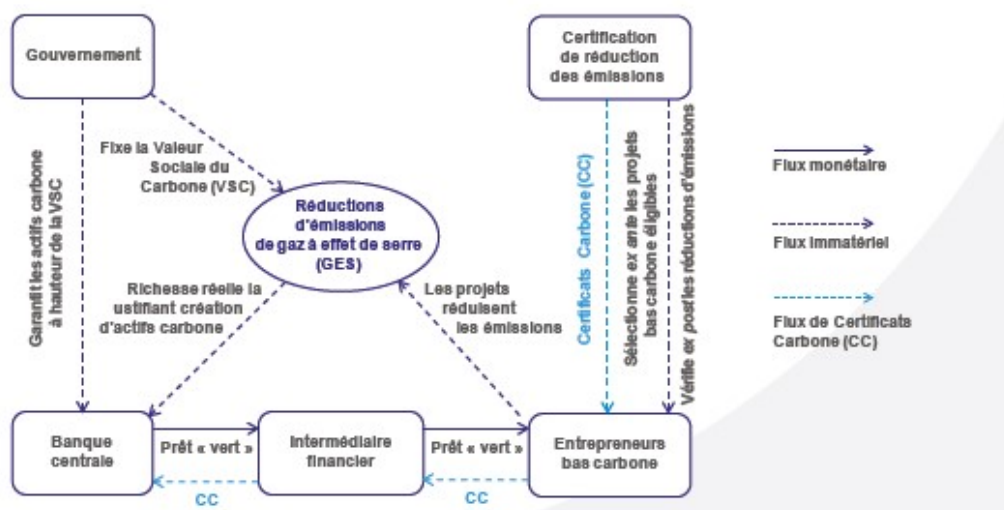
Attribuer le gain potentiel des émissions évitées à tous les projets (par exemple comme c'est le cas sous la forme d'un prix de rachat pour les investissements en panneaux photovoltaïques ou en éoliennes) générerait un effet d'aubaine maximal. Le mécanisme étudié ici de type aide remboursable réalise un compromis, tous les projets socialement profitables ne sont pas entrepris mais l'effet d'aubaine pour les projets intrinsèquement rentables est limité. Ce compromis est obtenu en apportant une garantie de remboursement d'une fraction des coûts d'investissement en cas d'échec du projet. Si cette probabilité est forte l'entreprise ne prendra pas le risque de s'engager dans le projet même avec la subvention ; si la probabilité de succès est élevée l'entreprise s'engagera dans le projet mais il y a de fortes chances que la subvention ne soit pas versée. Le bilan carbone résultant de ce mécanisme est moins favorable qu'avec un prix du carbone (l'optimum de premier rang) mais beaucoup plus qu'avec un mécanisme qui rembourserait la totalité des émissions évitées.<sup>10</sup> *Le côté paradoxal du mécanisme, qui consiste à*

<sup>10</sup> Il est clair que subventionner l'échec d'un projet, quoique permettant de limiter les rentes des projets réussis, réduit l'incitation à faire un effort pour réussir. Dans notre modèle l'entreprise ne fait pas d'effort et l'Etat observe que l'investissement a bien lieu ainsi que son résultat (échec ou succès). Dans ces conditions il n'y a aucun risque d'aléa moral. La prise en compte de l'effort de l'entreprise et du

*accorder des crédits pour émissions évitées justement dans les situations où il n'y en pas, disparaît dès lors qu'on raisonne en moyenne sur un portefeuille de projets.*

Quand ce mécanisme prend la forme d'une garantie permettant à l'entreprise de financer son projet auprès des banques, et que l'externalité sociale est mesurée par le potentiel d'abattement de CO<sub>2</sub> permis par l'infrastructure (cas du mécanisme eTICC), on retrouve les principales caractéristiques de la proposition d'Aglietta et al. (2015) schématisé par la figure 7 :

- o l'Etat fixe la valeur sociale du carbone,
- o un organisme certificateur attribue des certificats carbone pour les projets risqués innovants sur la base de leurs caractéristiques financières et temporelles,
- o un intermédiaire financier fait un prêt vert à l'entreprise gagé sur ces certificats en cas d'échec et sur les revenus privés dégagés en cas de succès ;
- o l'intermédiaire financier se refinance auprès de la banque centrale,
- o l'Etat apporte sa garantie auprès de la banque centrale, ce qui l'encourage à respecter son engagement en termes de valeur sociale du carbone.



**Figure 7** : Dispositif d'intermédiation financière gagée sur le carbone (source Aglietta et al., 2015)

## Références

Aglietta, M., Espagne, E., et Perrissin Fabert, B. (2015) Une proposition pour financer l'investissement bas carbone en Europe. Note d'analyse, France Stratégie, <http://www.strategie.gouv.fr/publications/une-proposition-financer-linvestissement-bas-carbone-europe>

risque d'aléa moral permettrait d'obtenir une formulation plus générale du mécanisme optimal envisagé.

Bovenberg, A. L., & Goulder, L. H. (1996). Optimal environmental taxation in the presence of other taxes: general-equilibrium analyses. *The American Economic Review*, 86(4), 985-1000.

Bovenberg, A. L., & Goulder, L. H. (2002). Environmental taxation and regulation. *Handbook of public economics*, 3, 1471-1545.

Brunet, J., Kotelnikova, A. and Ponssard, J.-P. (2015). [The deployment of BEV and FCEV in 2015: California, Germany, France, Japan, Denmark](#). Ecole Polytechnique Chair Energy and Prosperity.

Cremer, H., & Gahvari, F. (2001). Second-best taxation of emissions and polluting goods. *Journal of Public Economics*, 80(2), 169-197.

Cremer, H., Gahvari, F., & Ladoux, N. (1998). Externalities and optimal taxation. *Journal of Public Economics*, 70(3), 343-364.

Fischer, C., (2005). Project-based mechanisms for emissions reductions: balancing trade-offs with baselines, *Energy Policy* 33(14), 1807-1823.

Gillenwater, M. and Seres, S. (2011). The Clean Development Mechanism: A Review of the first international offset program. Pew Center on Global Climate Change, Arlington, VA 22201 USA. <http://ghginstitute.org/wp-content/uploads/2015/04/PEW8037CDMReport.pdf>

Harrison, P. (2014). Fueling Europe's Future: How auto innovation leads to eu jobs, Technical report, Cambridge Econometrics. [http://www.camecon.com/Libraries/Downloadable\\_Files/Fuelling\\_Europe\\_s\\_Future-How\\_auto\\_innovation\\_leads\\_to\\_EU\\_jobs.sflb.ashx](http://www.camecon.com/Libraries/Downloadable_Files/Fuelling_Europe_s_Future-How_auto_innovation_leads_to_EU_jobs.sflb.ashx)

Laffitte, M., Leguet, B, Quint, A., Le Mer, C. ( 2015) Proposal for an innovative financing mechanism involving the establishment of eTICCs (Energy Transition Infrastructures with Carbon reduction Certificates) to encourage « early movers » of solutions for energy and environmental transition – Application to a hydrogen distribution infrastructure for road vehicles. Note Air Liquide CDC Climat.

Montero, J.P., (2000). Optimal design of a phase-in emissions trading program. *Journal of Public Economics*, 75 (2), 273–291.

## Annexe 1

Nous proposons ici une étude de cas. Nous supposons que la technologie verte consiste à mettre en place un nouveau type de véhicule électrique pour le substituer à un véhicule à combustion interne. Pour fixer les idées nous prendrons des données inspirées de l'achat d'une Zoé par rapport à une Clio. Notre étude est très simplifiée et nous ne cherchons pas à faire le tour de la question mais seulement à illustrer notre mécanisme contingent.

L'incertitude porte sur le nombre de km parcourus par an, élément déterminant pour calculer l'économie d'utilisation entre les deux options. On peut supposer que le consommateur a certaine

idée de la distance qu'il parcourra alors que l'Etat ne peut se fier a priori qu'à des statistiques globales. Pour mettre en place notre mécanisme il faut cependant supposer que l'Etat puisse vérifier la distance réellement parcourue après 5 ans d'usage du véhicule.<sup>11</sup> Un compteur inviolable pourrait permettre cette vérification. Nous supposons ici que la distribution de km parcourus est uniforme sur [0, 20 000] ce qui est clairement faux mais simplifie considérablement nos calculs. La durée envisagée d'utilisation du véhicule est supposée être de 5 ans avec un prix de revente nul.

Le choix entre les options pour le consommateur non écologiste et pour l'Etat dépend des données rassemblées dans le tableau A1. Pour simplifier nous n'introduisons pas d'actualisation. Les prix d'achat et de consommation correspondent aux données du constructeur. Nous avons introduit un facteur correctif dans les émissions CO2 affichées de la Clio.

|      |                   |       |        |  |        |
|------|-------------------|-------|--------|--|--------|
| Clio | durée de vie (an) | 5     |        |  |        |
|      | km/an             |       | -      |  | 20 000 |
|      | prix achat (€)    |       | 13 700 |  | 13 700 |
|      | l/100km           | 7,2   |        |  |        |
|      | €/l               | 1,35  |        |  |        |
|      | consommation      | €     | -      |  | 9 720  |
|      | kgCO2/km          | 0,127 |        |  |        |
|      | facteur correctif | 1,5   |        |  |        |
|      | émissions         | tCO2  | 0,00   |  | 19,05  |
| Zoe  | prix achat (€)    | €     | 22 100 |  | 22 100 |
|      | €/Mwh             | 100   |        |  |        |
|      | kwh/100km         | 5,2   |        |  |        |
|      | consommation      | €     | -      |  | 520    |
|      | kgCO2/km          | -     | -      |  | -      |

Tableau A1 Le cas Zoé versus Clio

En prenant une valeur tutélaire du carbone de l'ordre de 100 €/tCO2 pour l'année 2030, valeur suggérée par les travaux du Comité pour l'économie verte, nous en déduisons les valeurs des paramètres de notre modèle, reproduites dans le tableau A2.<sup>12</sup> Modifier la valeur du paramètre  $b$  revient à modifier la valeur tutélaire du carbone.

<sup>11</sup> Comme dans le corps de l'article, nous imposons la contrainte que l'utilisateur qui roule le plus est indifférent entre le mécanisme et l'absence de mécanisme (correspond à l'hypothèse  $s_1=0$ ), la participation est volontaire. Sans cette hypothèse, le régulateur aurait intérêt à taxer les kilomètres électriques pour atteindre le first best. Il conviendrait d'enrichir le modèle de base et introduire une autre source d'asymétrie d'information sur les variables ( $R$ ,  $b$ ). Chaque agent apprend son type et Ex-post seul  $b$  (ici le nombre de kilomètres parcourus) est connaissance commune. La prime serait conditionnelle à la réalisation de  $b$ . Le contexte de sélection adverse réapparaît. Quoiqu'il en soit cet exemple permet d'illustrer quantitativement les valeurs associées à chaque instrument de financement.

<sup>12</sup> Voir par exemple

[http://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/5.\\_alain\\_quinet.pdf](http://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/5._alain_quinet.pdf)

|                  |             |         |  |        |
|------------------|-------------|---------|--|--------|
| valeur tutélaire | €/tCO2      | 100     |  | 100    |
|                  | gain social | 0       |  | 1905   |
|                  | km/an       | -       |  | 20 000 |
| Zoe vs Clio      | F           | 8 400   |  | 8 400  |
|                  | R           | 0       |  | 9 200  |
|                  | b           | 0       |  | 1905   |
| Bilan privé      | - F + R     | - 8 400 |  | 800    |
| Bilan social     | -F + R + b  | - 8 400 |  | 2 705  |

Tableau A2 Paramètres équivalents pour le modèle

Le nombre de Zoé vendues part d'une hypothèse de cible potentielle de 50 000 véhicules. Nous allons comparer les différentes politiques : laisser faire, optimum de premier rang et optima de second rang selon le mécanisme envisagé. L'ensemble des résultats du modèle est rassemblé dans le tableau A3.

*Laisser faire* : L'achat d'une Zoé est profitable pour le consommateur dès qu'il envisage de faire parcourir une distance supérieure à 18 261 km/an ( $p_f$ ), il y aurait alors 4 348 Zoé de vendues.

*Optimum de premier rang* : Pour l'Etat le bilan social est positif dès que la distance parcourue est supérieure à 15 128 km/an ( $p_{FB}$ ), soit alors 12 179 ventes.

*Optima de second rang* : Le mécanisme proposé (avance remboursable) encourage le consommateur à acheter une Zoé dès qu'il envisage de parcourir 15 849 km/an ( $p^*_f$ ), soit 15 849 ventes ; elle s'appuie sur une prime fixe de 5 346 € intégralement remboursée par un consommateur parcourant 20 000 km/an pendant 5 ans ( $0.053 \times 20\,000 \times 5 = 5\,346$  €). La prime fixe absolue<sup>13</sup> optimale soit 426 € par véhicule propre (cette prime maximise le bilan coût bénéfice sous cette hypothèse de subvention fixe) et la prime fixe optimale proportionnelle aux émissions évitées. Cette prime proportionnelle est de 22 €/tCO2 évitée, bien moindre que le coût social de 100 €/tCO2 du fait de l'impossibilité de redistribuer la taxe carbone.

| Résultats                     | unités | laisser faire | optimum de premier rang | optima de second rang |     |                     |     |                                    |     |
|-------------------------------|--------|---------------|-------------------------|-----------------------|-----|---------------------|-----|------------------------------------|-----|
|                               |        |               |                         | avance remboursable   | %   | prime fixe optimale | %   | prime unitaire optimale (22€/tCO2) | %   |
| nbre km/an seuil pour Zoé     | €/km   | 18 261        | 15 128                  | 15 849                |     | 17 336              |     | 17 470                             |     |
| nb Zoe vendues                |        | 4 348         | 12 179                  | 10 378                |     | 6 661               |     | 6 325                              |     |
| prime achat                   | €      |               |                         | 5 346                 |     | 426                 |     |                                    |     |
| rabais par km parcouru par an | €/km   |               |                         | 0,053                 |     |                     |     |                                    |     |
| valeur brute des CO2 évitées  | M€     | 0             | 12,45                   | 9,80                  |     | 3,92                |     | 3,36                               |     |
| coût total                    | M€     | 0             | 5,64                    | 5,76                  |     | 2,83                |     | 2,47                               |     |
| valeur nette des CO2 évitées  | M€     | 0             | 6,81                    | 4,04                  | 59% | 1,09                | 16% | 0,90                               | 13% |
| effet d'aubaine               | M€     | 0             | -                       | 2,41                  | 35% | 2,34                | 34% | 2,11                               | 31% |
| biais de sélection            | M€     | 0             | -                       | 0,36                  | 5%  | 3,38                | 50% | 3,81                               | 56% |

Tableau A3 Comparaison du mécanisme d'aide remboursable avec des mécanismes de subvention à prime fixe absolue ou proportionnelle

<sup>13</sup> La prime accordée par l'Etat en 2016 pour l'achat d'un véhicule électrique est de 6 300 €.

Nous avons aussi reporté sur le tableau A3 la valeur nette des émissions évitées, l'effet d'aubaine et le biais de sélection pour chaque politique. Noter que par construction la somme de la valeur nette plus l'effet d'aubaine plus le biais de sélection est constante pour l'ensemble des politiques de décarbonisation envisagées, seule varie la répartition de cette somme pour les politiques de second rang. Cette répartition met en évidence l'efficacité relative des politiques de second rang. On voit que pour le mécanisme d'aide remboursable l'effet d'aubaine et le biais de sélection restent limités. La somme de ces deux termes est de l'ordre de 40% du gain net associé à l'optimum de premier rang, ce qui n'est pas le cas pour les mécanismes à prime fixe (elle est de l'ordre de 85%). Une grande partie de la subvention se retrouve alors sous la forme soit d'un effet d'aubaine du fait que tous les acheteurs de Zoé en bénéficieraient, même ceux qui n'en ont pas besoin pour acheter une Zoé ( $p > p_f$ ), soit d'un biais de sélection. La baisse de l'effet d'aubaine du mécanisme d'aide remboursable vient du caractère conditionnel du remboursement, elle permet de diminuer à moindre frais le biais de sélection.

On peut enfin faire un bilan carbone et calculer le coût d'abattement associé à chaque mécanisme. Le tableau A4 donne les résultats.

| Résultats                  | unités | laisser faire | optimum de premier rang | optima de second rang |   |                     |   |                                    |   |
|----------------------------|--------|---------------|-------------------------|-----------------------|---|---------------------|---|------------------------------------|---|
|                            |        |               |                         | avance remboursable   | % | prime fixe optimale | % | prime unitaire optimale (22€/tCO2) | % |
| Tonnes de CO2 évitées      | Mt CO2 | 0             | 0,125                   | 0,098                 |   | 0,039               |   | 0,034                              |   |
| coût total de la politique | M€     | 0             | 5,64                    | 5,76                  |   | 2,83                |   | 2,47                               |   |
| coût abattement moyen      | €/tCO2 | 0             | 45                      | 59                    |   | 72                  |   | 73                                 |   |

Tableau A4 Coût d'abattement pour les différents mécanismes

Pour l'optimum de premier rang le coût total est de 5.64 M€ (compensation des surcoûts payés par les acheteurs situés entre  $p_{FB}$  et  $p_f$ ) alors que les émissions évitées s'élèvent à 0.125 MtCO2, d'où un coût d'abattement moyen de 45 €/t. Pour les aides remboursables le coût total est de 5.76 M€, soit légèrement plus élevé alors que les émissions évitées sont plus faibles, d'où un coût moyen d'abattement de 59 €/tCO2. Pour le mécanisme à prime fixe et le mécanisme à prime proportionnelle, les émissions évitées sont beaucoup plus faibles alors que le budget dépensé est loin de baisser dans les mêmes proportions, d'où un coût moyen d'abattement bien plus élevé.

Ces résultats mettent bien évidence la supériorité de l'avance remboursable par rapport à des mécanismes de prime fixe ou proportionnelle.

## Annexe 2

La théorie économique nous enseigne que l'optimum de premier rang pourrait être obtenu grâce à la mise en place d'une taxe carbone (taxe Pigouvienne). Nous explicitons ici ce résultat et revenons sur certaines difficultés de mise en œuvre, raisons qui font préférer en pratique l'usage de subventions.

Le plus simple est de se situer dans le cadre de l'étude de cas stylisé Zoé versus Clio de l'annexe 1. Considérons explicitement les deux technologies avec les coûts associés investissement et exploitation. La figure A1 est l'équivalent de la figure 1.

Le coût pour la Clio en fonction du nombre de km parcourus correspond à la droite AD ; si l'utilisateur d'une Clio doit payer la taxe carbone alors son coût correspond à la droite AE ; la différence entre AD et AE correspond à la perte sociale due aux émissions, et la différence d'ordonnée entre D et E représente précisément le paramètre  $b$ . Le coût pour la Zoé correspond à la droite BC : achat plus élevé mais coût d'exploitation plus faible. La différence d'ordonnée entre A et B représente précisément le paramètre  $F$  tandis que celle entre C et D représente précisément la différence entre les paramètres  $R$  et  $F$ .<sup>14</sup>

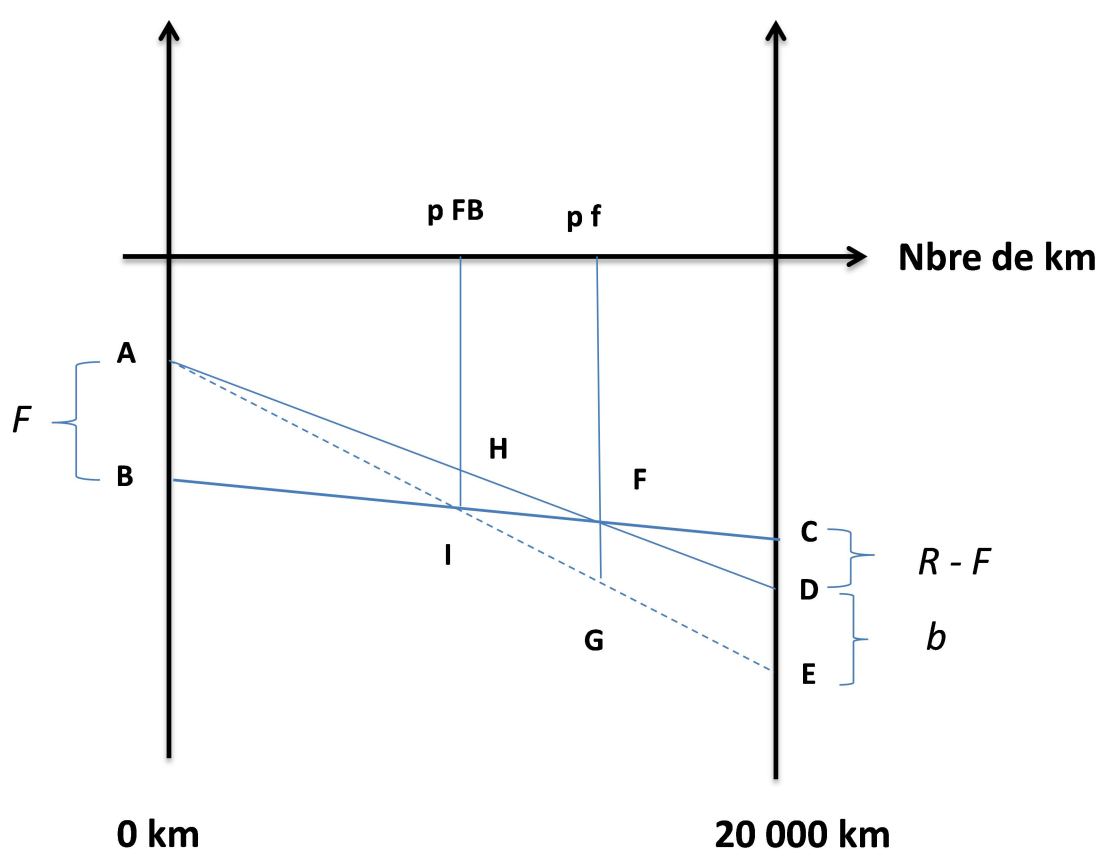


Figure A1 Optimum de premier rang et taxe carbone

En l'absence de la taxe carbone l'arbitrage se fait pour un nombre de km correspondant à l'abscisse  $p_f$  alors qu'en présence de la taxe carbone optimale l'arbitrage se fait pour un nombre de km correspondant à l'abscisse  $p_{FB}$ . Le choix entre les deux technologies est alors efficient.

<sup>14</sup> Cette correspondance nous permettrait de raisonner directement dans le cadre de notre modèle tel que décrit dans la section 2. Raisonner dans le cadre de cette étude de cas est plus parlant.

Un point souvent très sensible dans la mise en œuvre de cette approche vient de l'aspect redistributif de la taxe : les utilisateurs effectuant un nombre de km inférieur à  $p_{FB}$  paieront la taxe carbone (triangle AHI), ceux situés entre  $p_{FB}$  et  $p_f$  ne la paieront pas mais paieront néanmoins le coût d'abattement pour passer de la Clio à la Zoé (triangle HIF), quant à ceux qui auraient acheté un Zoé indépendamment de la taxe carbone (ceux situés au-delà de  $p_f$ ) ceux-là ne paieront rien. D'un autre côté tous les utilisateurs de véhicules bénéficieront de la baisse des émissions. La taxe carbone permet d'obtenir l'efficacité économique mais laisse ouverte la question de la répartition du coût de l'amélioration de bien-être associé.<sup>15</sup> D'autres points discutés en introduction rendent difficile la mise en place d'une taxe carbone dans un contexte de moyen long terme.

Il est plus facile de mettre en place des subventions et de les faire financer par le budget de l'Etat, donc les contribuables. Autant le faire en maximisant le bénéfice environnemental au moindre coût, c'est l'objet du mécanisme étudié dans cette note.

---

<sup>15</sup> Cette question devrait être étudiée dans un cadre d'une politique fiscale globale en situation d'équilibre général. Cela permettrait de représenter le coût des fonds publics et les effets redistributifs de la fiscalité carbone qui, en théorie, dépendent du reste de la fiscalité. On peut citer la littérature sur le double dividende (cf Bovenberg et Goulder, 1996, 2002) et celle sur la fiscalité optimale en présence d'externalité (Cremer et al., 1998, Cremer et Gahvari 2001).