

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

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

Ecole Polytechnique, Département d'Economie

Document de travail juin 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.

## 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 font pas référence à un prix du carbone. L'impossibilité pour l'Etat à s'engager sur un prix du carbone à 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

---

<sup>1</sup> 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

<sup>3</sup> CNRS et Ecole Polytechnique

un débat sur le gaspillage qu'elles peuvent engendrer : elles sont souvent déconnectées de toute référence à un prix social du carbone et peuvent 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 induit de nombreux effets pervers et cette réflexion s'inscrit dans cette tradition (voir par exemple Fischer, 2005, Montero, 2000).

L'idée 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 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. Différentes 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

---

<sup>4</sup> L'idée d'avance remboursable a été historiquement introduite pour les programmes aéronautiques ou elle s'oppose 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.

<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.

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 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.

## 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.

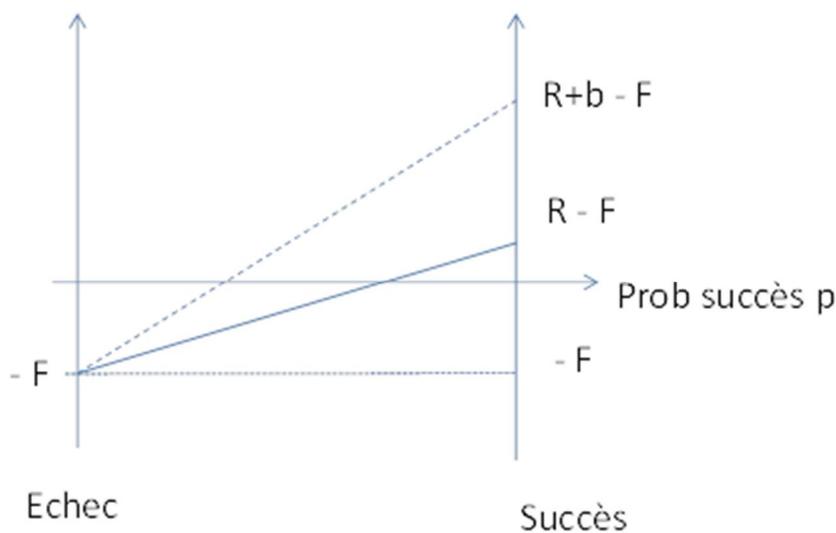
Dans un premier temps nous nous limitons au cas le plus simple :

- 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 *first best*) 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

<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 vident d'aléa moral : les entreprises pourraient obtenir la subvention, ne rien faire et donc courir à l'échec, et la garder la subvention !

$s_2$  celle en cas d'échec. 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>

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.

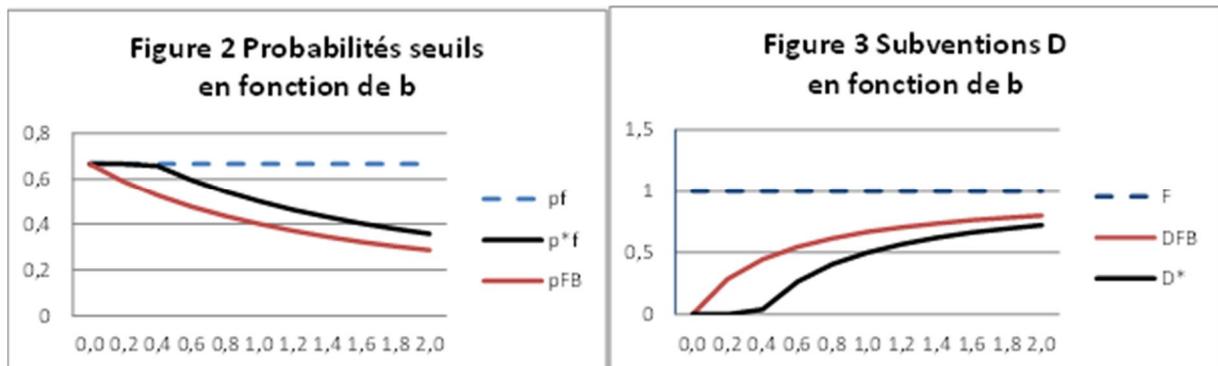
La Figure 2 met en évidence la convergence relativement lente de  $p_f^*$  vers la probabilité seuil de first best lorsque le bénéfice social  $b$  augmente. L'écart entre ces deux valeurs explique pourquoi certains projets socialement profitables seront laissés de côté par le mécanisme.

---

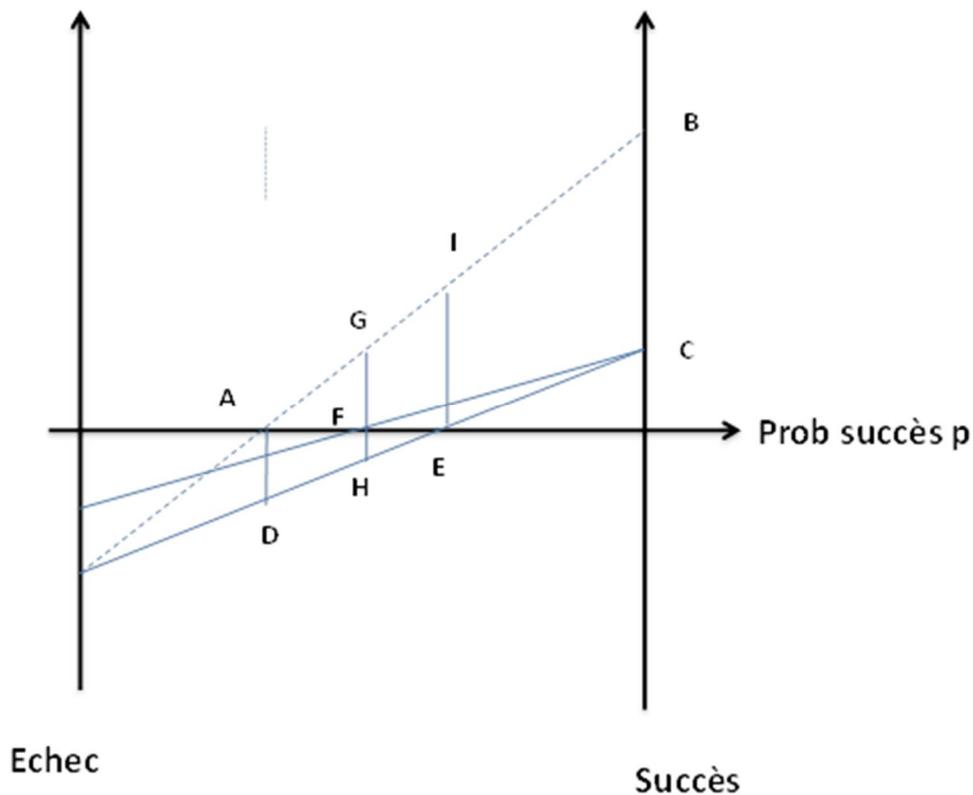
<sup>8</sup> Cette formulation fait l'hypothèse que la subvention est coûteuse pour l'Etat et donc que ce dernier ne peut pas mettre pas en place de redistribution de son coût auprès des agents. Une telle hypothèse est en phase avec les contraintes budgétaires actuelles et les difficultés politiques liées à l'instauration d'une taxe carbone. Noter que dans ces conditions la taxe carbone ne permettrait pas d'obtenir le first best (voir le cas de la prime unitaire proportionnelle traité dans l'annexe).

<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.

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 le first best. C'est le fait que 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 first best est intéressante à identifier à titre de benchmark (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.

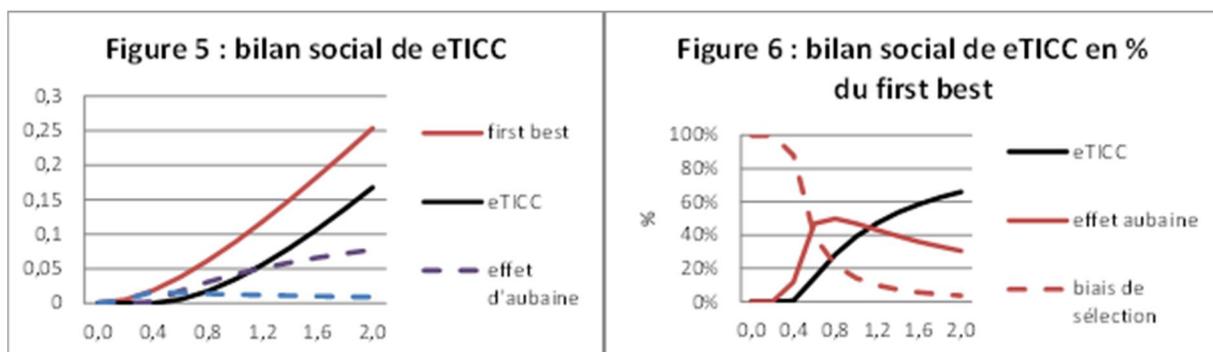
La question est maintenant de savoir si le mécanisme permet de récupérer une partie de ce bénéfice net en faisant passer le seuil d'acceptabilité des projets pour l'entreprise de  $p_f$  à  $p_f^*$ .

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 peut se calculer comme  $AIE - AFG - FCE$ . Il y a donc deux pertes par rapport au first best :

- 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 du first best). 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 la valeur de l'externalité sociale  $b$ . 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 au first best ; 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 certes le first best (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 en l'absence d'un marché du carbone suggère plusieurs remarques. Nous sommes donc dans une situation dite de *second best*. Les mécanismes envisagés vont donc générer des distorsions qu'il convient de réduire.

Dans la plupart des cas le bénéfice social consiste en émissions évitées : le projet permet la mise en place d'une technologie propre qui va se substituer à une technologie polluante. Le bénéfice social est  $b = u_H$  où  $u_H$  représente le coût social du CO<sub>2</sub> 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. Il est facile de vérifier que le coût marginal d'abattement pour le régulateur au point  $p = p^*_f$  correspond bien au coût social du carbone (en ce point le bénéfice marginal est égal au coût marginal).

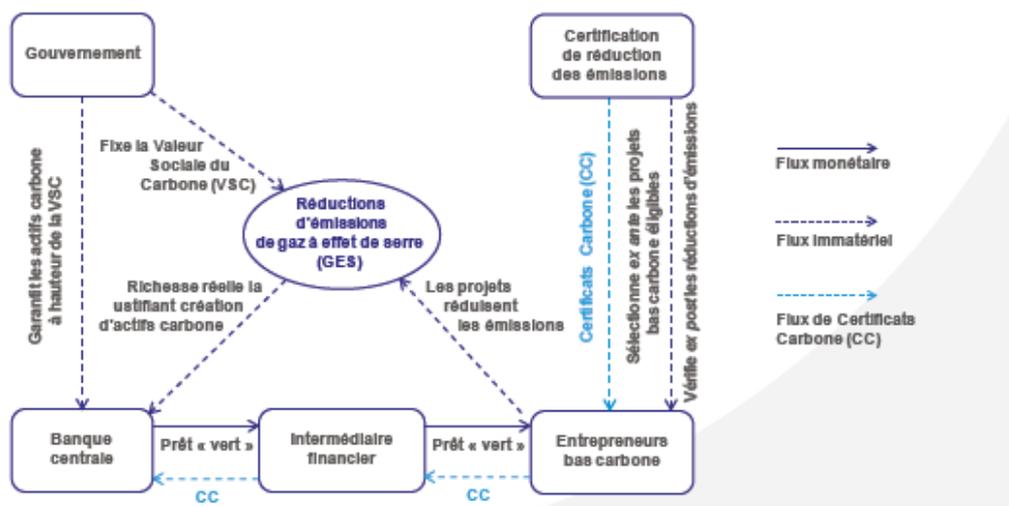
L'originalité du problème porte sur le choix d'un portefeuille de projets risqués sachant que l'Etat ne connaît pas la probabilité de succès de chaque projet alors que l'entreprise la connaît ou au moins en a une meilleure idée. Certains projets non rentables le seraient d'un point de vue social, compte tenu des émissions évitées en cas de succès. En l'absence d'un marché du carbone comment définir un mécanisme de financement de second best 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 résultat 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 (le first best) 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 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 CO2 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,

<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. La prise en compte de l'aléa moral permettrait d'obtenir une formulation plus générale du mécanisme optimal envisagé.

<http://www.strategie.gouv.fr/publications/une-proposition-financer-linvestissement-bas-carbone-europe>

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

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

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

---

<sup>11</sup> Il conviendrait d'enrichir le modèle de base car avec cette hypothèse extrême le problème de la sélection adverse disparaît et le first best peut être obtenu. On pourrait par exemple introduire des types tirés à partir d'une distribution de probabilité jointe sur les variables  $(R, b)$ . A priori chaque agent apprend son type. Ex-post seul  $b$  (ici le nombre de kilomètres parcourus) est connaissance commune. La prime est conditionnelle à la réalisation de  $b$ . Chaque agent fait son analyse de rentabilité connaissant son type et la valeur conditionnelle de la prime. Le contexte de sélection adverse

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 supposé 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.

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

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 ( $p_j$ ). Pour l'Etat le bilan social est positif dès que cette

---

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)

Pour un financement conditionnel des projets risqués bas carbone

distance est supérieure à 15 128 km/an ( $p_{FB}$ ). Le mécanisme proposé encourage le consommateur à acheter une Zoé dès qu'il envisage de parcourir 15 849 km/an ( $p^*_{fj}$ ).

Les résultats du modèle sont rassemblés dans le tableau A3.

Résultats	unités	first best	second best							
			avance remboursable	%	prime fixe optimale	%	prime fixe	%	prime unitaire optimale (22" /tCO2)	%
nbre km/an seuil pour Zoé	"/km	15 128	15 849		17 336		15 128		17 470	
nb Zoe vendues		12 179	10 378		6 661		12 179		6 325	
prime achat	"		5 346		426		1 441			
rabais par km parcouru par an	"/km		0,053							
valeur brute des CO2 évitées	M"	12,45	9,80	79%	3,92	31%	12,45	100%	3,36	27%
coût total	M"	5,64	5,76	102%	2,83	50%	17,55	311%	2,47	44%
valeur nette des CO2 évitées	M"	6,81	4,04	59%	1,09	16%	-5,10	-75%	0,90	13%
effet d'aubaine	M"	-	2,41	35%	2,34	34%	11,91	175%	2,11	31%
biais de sélection	M"	-	0,36	5%	3,38	50%	0,00	0%	3,81	56%

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

Dans ce tableau, à titre de comparaison, nous avons fait figurer le first best, le mécanisme d'aide remboursable, 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), la prime fixe qui permettrait d'éliminer tout biais de sélection soit 1 441 € par véhicule propre (avec cette prime le consommateur achète une Zoé dès qu'il envisage de faire au moins 15 128 km/an) et la prime fixe optimale proportionnelle aux émissions évitées, la prime est de 22 €/tCO2 évitée, bien moindre que le coût social de 100 €/tCO2 du fait de l'impossibilité de redistribuer la taxe carbone.

Le nombre de Zoé vendues part d'une hypothèse cible potentielle de 50 000 véhicules (tout consommateur achèterait alors une Zoé indépendamment du nombre de km envisagé).

L'efficacité brute des différents mécanismes peut être évaluée en pourcentage du first best. Elle est de 79% pour le mécanisme d'aide remboursable, de 31% pour la prime fixe absolue optimale (1 441 € par véhicule propre) et de 27% pour la prime fixe proportionnelle optimale. Elle pourrait atteindre 100 % pour des primes fixes absolue ou proportionnelle mais alors le rendement net deviendrait négatif (pour la prime proportionnelle il faudrait prendre un prix du CO2 égale 100 €/tCO2). La valeur nette des CO2 évitées pour le mécanisme d'aide remboursable est 59 % du bilan net (et respectivement 16 % et 13 % pour les primes fixes optimales, absolue et proportionnelle). En appliquant la propriété de décomposition du gain net mise en évidence en page 6 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 au first best, ce qui n'est pas le cas pour les mécanismes à prime fixe (elle est de l'ordre de 85%).

Il est utile de calculer le coût total de chaque mécanisme : c'est la différence entre le gain brut et le gain net. C'est aussi le coût de la subvention qui sera payé par l'Etat. Pour le first best ce coût serait de 5.64 M€ (compensation des surcoûts payés par les acheteurs situés entre  $p_{FB}$  et  $p_{fj}$ ). Pour

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

les aides remboursables ce coût s'élève à 5.76 M€, légèrement plus élevé. On voit qu'il est aussi plus élevé que pour les mécanismes à prime fixe. Mais, avec ces derniers, le gain net est beaucoup plus faible. Noter aussi que le coût total s'élèverait à 17,55 M€ avec une prime fixe de 1 441 €. Une grande partie de la subvention se retrouve alors sous la forme 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 ( $p > p_f$ ). La baisse de l'effet d'aubaine du mécanisme d'aide remboursable vient du caractère conditionnel du remboursement.

Ces résultats mettent bien évidence la supériorité du mécanisme contingent par rapport à des mécanismes de prime fixe.