

**Taille optimale dans l'industrie du séchage du bois
et avantage compétitif du bois-énergie : une modélisation
microéconomique**

Alexandre SOKIC

Ecole Supérieure du Bois

Atlanpôle BP 10605

Rue Christian Pauc

44306 Nantes cedex 3

Tél.: 02 40 18 12 26

Fax.: 02 40 18 12 00

e-mail : alexandre.sokic@ecolesupbois.asso.fr

Résumé : Cet article se propose de construire un cadre d'analyse microéconomique analytique permettant d'étudier les conditions d'existence et les déterminants de la compétitivité d'une technologie de chaudière fonctionnant au bois-énergie dans un cadre industriel. Pour ce faire, on choisit d'étudier une firme représentative de l'industrie du séchage des bois dont le processus de production consiste en la fourniture d'énergie calorifique destinée au séchage des bois. Pour assurer son processus de production la firme dispose de deux technologies de chaudière alternatives, l'une fonctionnant au combustible fossile et l'autre au bois-énergie. Le principe de la modélisation repose sur la formulation des fonctions de coût associées à chacune des technologies en présence. Le calcul des éléments de la solution analytique du modèle permet d'envisager les différents aspects du choix technologique d'une unité industrielle du séchage des bois, les modes et l'efficacité d'une intervention publique, et les conditions de coûts de production et de prix de vente devant prévaloir dans le système d'approvisionnement en ressource bois-énergie.

Classification JEL : L73, Q23, Q42

1. Introduction

Dans la gestion de la crise des effets de la tempête de 1999 les gouvernements allemands et suisses ont particulièrement orienté leurs efforts vers la promotion du développement de l'utilisation du bois de feu dans le but d'augmenter les débouchés pour les bois issus de la tempête et d'augmenter les débouchés de l'offre de bois dans un plus long terme.

L'utilisation du bois-énergie comporte des atouts de nature environnementale et économique. Le bois-énergie est une énergie renouvelable qui présente un bilan neutre sur les émissions de gaz à effet de serre. Sur le plan économique un développement de l'utilisation du bois-énergie peut être doublement intéressant. En effet, il permettrait, d'une part, d'accroître sensiblement les débouchés pour l'offre de bois, ainsi que la valorisation des déchets forestiers, et d'autre part, il pourrait être un vecteur de développement local et rural important.

Le principal obstacle au développement de l'utilisation du bois-énergie réside dans le surcoût de l'investissement dans la technologie de chaudière à bois par rapport à celle utilisant une source d'énergie fossile. Dans la littérature technique sur le sujet il existe des études technico-économiques traitant la problématique de choix entre technologie de chaudière à combustible fossile et technologie de chaudière à bois. Cependant, celles-ci sont toujours entreprises sur la base d'exemples numériques et ne permettent donc pas de mettre en évidence les déterminants des conditions de la compétitivité du bois-énergie par rapport aux sources d'énergie fossiles. Une modélisation microéconomique permettant de mettre en évidence ces conditions est une étape essentielle dans la compréhension des conditions du développement du bois-énergie.

Le séchage en général, et celui du matériau bois en particulier, est un processus consommateur d'énergie calorifique pour lequel le choix entre technologie de chaudière à bois ou à combustible fossile peut être envisagé. Au sein des industries du bois, le séchage des bois est une étape importante du processus de production tant dans les industries de première transformation comme les scieries que dans celles de la deuxième transformation comme la menuiserie ou l'ameublement. La problématique économique de la fourniture d'énergie calorifique au processus de séchage des bois est similaire à celle de la fourniture d'énergie calorifique au processus de chauffage collectif. Les résultats à obtenir sont donc susceptibles d'être aisément transposables dans le cadre d'une problématique de chaufferie collective par exemple.

Dans cet article, on se propose de construire un cadre d'analyse microéconomique analytique permettant d'étudier les conditions d'existence et les déterminants de la compétitivité d'une technologie de chaudière fonctionnant au bois-énergie dans un cadre industriel. Pour ce faire, on choisit d'étudier une firme représentative de l'industrie du séchage des bois dont le processus de production consiste en la fourniture d'énergie calorifique destinée au séchage des bois. Pour assurer son processus de production la firme dispose de deux technologies de chaudière alternatives, l'une fonctionnant au combustible fossile et l'autre au bois-énergie. Le principe de la modélisation repose sur la formulation des fonctions de coût associées à chacune des technologies en présence. Le calcul des éléments de la solution analytique du modèle

permet d'envisager les différents aspects du choix technologique d'une unité industrielle du séchage des bois, les modes et l'efficacité d'une intervention publique, et les conditions de coûts de production et de prix de vente devant prévaloir dans le système d'approvisionnement en ressource bois-énergie. L'hypothèse d'économies d'échelle introduite dans les fonctions de coûts permet de montrer, en particulier, l'existence d'un seuil de capacité à partir duquel le bois-énergie devient plus compétitif que les combustibles fossiles.

On présente dans un premier temps les fonctions de coûts des deux technologies alternatives de fourniture d'énergie au processus de séchage des bois à savoir la technologie de chaudière fonctionnant au combustible fossile et celle fonctionnant au bois-énergie. Après avoir effectué le détail des calculs de coûts de production par période, on étudie la solution analytique du problème de choix de la firme. On examine alors, plus précisément, les déterminants de l'avantage compétitif de la technologie utilisant le bois-énergie par rapport à celle utilisant le combustible fossile. On conclut enfin en proposant des extensions du modèle.

2. Présentation du modèle

On considère le processus de production consistant dans la fourniture d'énergie calorifique destinée au processus de séchage des bois. On mesure l'output par le volume de bois à sécher dans des cellules de séchoir. On appelle S la capacité de séchage annuelle choisie en unités de volume de capacité de séchage. En ce qui concerne la technologie de production, le choix doit se faire entre deux technologies alternatives : une technologie de chaudière fonctionnant au bois-énergie ou une technologie de chaudière fonctionnant au combustible fossile.

On représente par \bar{I}_S le montant en terme nominal de l'investissement correspondant à l'acquisition et l'installation d'un équipement de séchoir d'une unité de volume de capacité de séchage. On suppose que le montant de cet investissement évolue proportionnellement au volume de la capacité de séchage choisie, c'est-à-dire que le choix d'une capacité de séchage de S unités de volume de capacité de séchage entraîne un montant d'investissement en équipement de séchoir $I_S(S)$ donné par :

$$I_S(S) = S \cdot \bar{I}_S \quad (1)$$

On appelle \bar{I}_C^B le montant en terme nominal de l'investissement correspondant à l'achat d'un équipement neuf de chaudière à bois en charge de la production d'énergie nécessaire au fonctionnement d'une unité de volume de capacité de séchage. On suppose que cet investissement évolue moins que proportionnellement par rapport à la capacité de séchage choisie, c'est-à-dire que le choix d'une capacité de séchage de S unités de volume de capacité de séchage détermine un montant d'investissement en équipement de chaudière à bois $I_C^B(S)$ de :

$$I_C^B(S) = S^\alpha \cdot \bar{I}_C^B \quad 0 < \alpha < 1 \quad (2)$$

Le coefficient α peut s'interpréter comme le pourcentage d'augmentation du coût d'achat de l'équipement de la chaudière à bois qui résulte d'une augmentation de 1% de la capacité de séchage choisie. A travers cette hypothèse on suppose l'existence de rendements d'échelle croissants en ce qui concerne l'achat d'équipements neufs. On suit ainsi, en particulier, Haldi et Whitcomb (1967) qui ont cherché à évaluer la relation entre le coût des nouveaux équipements et leur capacité. Ils ont évalué une relation proche de celle donnée par (2) sur un grand nombre d'équipements industriels et ont conclu que dans la grande majorité des cas le coefficient α était inférieur à l'unité. Ces résultats dénotent l'existence d'économies d'échelle dans l'achat d'équipements neufs.

\bar{I}_C^F représente le montant en terme nominal de l'investissement correspondant à l'acquisition d'un équipement de chaudière à combustible fossile en charge de la production d'énergie nécessaire au fonctionnement d'une unité de volume de capacité de séchage. De manière similaire au cas de l'hypothèse (2), on suppose que cet investissement évolue moins que proportionnellement à la capacité de séchage choisie, c'est-à-dire que le choix d'une capacité de séchage de S unités de volume de capacité de séchage détermine un montant d'investissement en équipement de chaudière à combustible fossile $I_C^F(S)$ de :

$$I_C^F(S) = S^{\alpha'} \cdot \bar{I}_C^F \quad 0 < \alpha' < 1 \quad (3)$$

On suppose que l'équipement de chaudière à bois est plus coûteux que celui de la chaudière à combustible fossile, soit :

$$I_C^B(S) > I_C^F(S) \quad (4)$$

Dans le but de promouvoir le développement de l'utilisation du bois en tant que source d'énergie les autorités publiques mettent en place un dispositif de subvention accordé aux acheteurs d'une technologie de chaudière à bois. On note λ le taux accordé par le gouvernement au titre de subvention pour l'achat d'une chaudière à bois. Celui-ci est tel que :

$$0 \leq \lambda < 1 \quad (5)$$

Toutefois, le taux de subvention λ ne permet pas de compenser le surcoût associé à l'achat de l'équipement de la technologie de chaudière à bois par rapport à celui de la chaudière à combustible fossile. Cela implique donc que le taux λ reste tel que :

$$(1 - \lambda)I_C^B(S) > I_C^F(S) \quad (6)$$

Les prix des combustibles bois et d'origine fossile sont donnés respectivement par p_B et p_F . On les suppose constants sur la durée d'exploitation. Cependant, on

envisage la possibilité pour le prix du combustible fossile d'être influencé, de manière exogène, par le prix du pétrole brut, le taux de change de la monnaie nationale par rapport au dollar, ou encore par certains aspects de la politique de taxation spécifique choisie par le gouvernement (comme la mise en place d'un type de TGAP par exemple). On considère donc, en particulier, le prix du combustible fossile comme une fonction de ces variables exogènes.

q_B et q_F sont les quantités annuelles de bois et combustible fossile, respectivement, pour alimenter en combustible les chaudières correspondantes en charge d'une unité de volume de capacité de séchage. On suppose que les quantités de combustibles utilisées évoluent proportionnellement à la capacité de séchage choisie, c'est-à-dire que le choix d'une capacité de séchage de S unités de volume de capacité de séchage détermine des quantités $Q_B(S)$ et $Q_F(S)$ de bois et de combustible fossile, respectivement, de :

$$\begin{aligned} Q_B(S) &= S \cdot q_B \\ Q_F(S) &= S \cdot q_F \end{aligned} \quad (7)$$

On suppose que, quelle que soit la capacité de séchage choisie S , le coût en combustible bois est toujours inférieur à celui du combustible fossile, c'est-à-dire que l'on peut écrire :

$$p_B \cdot q_B < p_F \cdot q_F \quad (8)$$

C'est au niveau du coût du combustible qu'apparaît donc l'avantage compétitif du bois-énergie sur les sources d'énergie d'origine fossile.

Les coûts d'entretien et de maintenance doivent également être pris en considération. Ceux-ci sont supposés être déterminés par la capacité de séchage choisie et constants sur l'ensemble de la durée d'exploitation prévue.

On appelle c_E^B le coût annuel d'entretien et de maintenance d'une chaudière à bois en charge d'une unité de volume de capacité de séchage. Ce coût est supposé évoluer de façon moins que proportionnelle par rapport à la capacité de séchage choisie, c'est-à-dire que le choix d'une capacité de séchage de S unités de volume de capacité de séchage entraîne un coût annuel d'entretien et de maintenance $C_E^B(S)$ de :

$$C_E^B(S) = S^\beta \cdot c_E^B \quad 0 < \beta < 1 \quad (9)$$

Le coefficient β peut s'interpréter comme le pourcentage d'augmentation des coûts d'entretien et de maintenance d'une chaudière à bois qui résulte d'une augmentation de 1% de la capacité de séchage choisie. A travers cette hypothèse on suppose également l'existence d'économies d'échelle liées aux coûts d'entretien et de maintenance. On suit en cela le travail de Haldi et Whitcomb (1967) qui obtiennent le même type de résultats avec les coûts d'exploitation qu'avec les biens d'équipement neufs.

On appelle c_E^G le coût annuel d'entretien et de maintenance d'une chaudière à combustible fossile en charge d'une unité de volume de capacité de séchage. Comme précédemment, ce coût est supposé évoluer de façon moins que proportionnelle par rapport à la capacité de séchage choisie, c'est-à-dire que le choix d'une capacité de séchage de S unités de volume de capacité de séchage détermine un coût annuel d'entretien et de maintenance $C_E^F(S)$ de :

$$C_E^F(S) = S^{\beta'} \cdot c_E^F \quad 0 < \beta' < 1 \quad (10)$$

On suppose également que les coûts d'entretien et de maintenance associés à la chaudière à bois sont plus élevés que ceux associés à la chaudière à combustible fossile :

$$C_E^B(S) > C_E^F(S) \quad (11)$$

On note n la durée d'exploitation prévue en années pour les équipements de chaudières à bois et à combustible fossile. On suppose qu'au terme de cette durée d'exploitation les valeurs résiduelles des équipements de chaudières sont négligeables. Le taux d'actualisation, noté i , est supposé constant sur l'ensemble de la période d'exploitation.

3. Calcul des coûts annuels équivalents pour le choix de la technologie bois

Le coût annuel équivalent représente le coût qui provient du traitement de l'ensemble des différents coûts associés à l'utilisation d'une certaine technologie. Il permet de convertir l'ensemble des différents coûts pouvant intervenir à des dates différentes durant la période d'utilisation en coûts annuels constants sur cette période. L'ensemble des calculs est effectué pour le choix d'une capacité de séchage de S unités de volume de capacité de séchage.

L'investissement initial total dans la technologie de la chaudière à bois est donné par :

$$I_S(S) + (1 - \lambda)I_C^B(S) = S \cdot \bar{I}_S + (1 - \lambda)S^\alpha \cdot \bar{I}_C^B \quad (12)$$

Le coût total annuel d'entretien et de maintenance, supposé constant dans le temps, associé à cette technologie s'élève à :

$$C_E^B(S) = S^\beta \cdot c_E^B \quad (13)$$

Le coût total annuel en combustible bois se monte à :

$$p_B Q_B(S) = S \cdot p_B \cdot q_B \quad (14)$$

La valeur résiduelle de la chaudière étant supposée négligeable à l'issue de la durée d'exploitation prévue n , le calcul du coût total annuel équivalent $CAE^B(S)$ associé à la technologie de la chaudière à bois est donné par :

$$CAE^B(S) = \left[S \cdot \bar{I}_S + (1 - \lambda) S^\alpha \bar{I}_C^B \right] \cdot \left[\frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} \right] + S^\beta c_E^B + S \cdot p_B q_B \quad (15)$$

On définit le coût annuel équivalent moyen de la technologie bois, $\overline{CAE^B}(S)$, comme étant le coût annuel équivalent par unité de volume de capacité de séchage. Son calcul est donné par :

$$\overline{CAE^B}(S) = \frac{CAE^B(S)}{S}$$

soit

$$\overline{CAE^B}(S) = \left[\bar{I}_S + (1 - \lambda) S^{\alpha-1} \bar{I}_C^B \right] \cdot \left[\frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} \right] + S^{\beta-1} c_E^B + p_B q_B \quad (16)$$

En calculant la dérivée partielle de $\overline{CAE^B}$ par rapport à S on obtient :

$$\frac{\partial \overline{CAE^B}(S)}{\partial S} = (1 - \lambda)(\alpha - 1) S^{\alpha-2} \bar{I}_C^B \cdot \left[\frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} \right] + (\beta - 1) S^{\beta-2} c_E^B \quad (17)$$

Comme les coefficients α et β sont strictement inférieurs à l'unité le signe de cette dérivée partielle est strictement négatif :

$$\frac{\partial \overline{CAE^B}(S)}{\partial S} < 0 \quad (17)'$$

Le coût annuel équivalent moyen est décroissant par rapport à la capacité de séchage choisie. La technologie de chaudière à bois présente donc des rendements d'échelle croissants.

4. Calcul des coûts annuels équivalents pour la technologie au combustible fossile

L'ensemble des calculs est effectué pour le choix d'une capacité de séchage de S unités de volume de capacité de séchage.

L'investissement initial total dans la technologie de la chaudière à combustible fossile est donné par :

$$I_S(S) + I_C^F(S) = S \cdot \bar{I}_S + S^{\alpha'} \cdot \bar{I}_C^F \quad (18)$$

Le coût total annuel d'entretien et de maintenance, constant dans le temps, associé à cette technologie s'élève à :

$$C_E^F(S) = S^{\beta'} \cdot c_E^F \quad (19)$$

Le coût total annuel en combustible fossile se monte à :

$$Q_F(S) = S \cdot p_F \cdot q_F \quad (20)$$

La valeur résiduelle de la chaudière étant supposée négligeable à l'issue de la durée d'exploitation prévue n , le calcul du coût total annuel équivalent $CAE^F(S)$ associé à la technologie de la chaudière à combustible fossile est donné par :

$$CAE^F(S) = \left[S \cdot \bar{I}_S + S^{\alpha'} \bar{I}_C^F \right] \cdot \left[\frac{i}{1 - (1+i)^{-n}} \right] + S^{\beta'} c_E^F + S \cdot p_F q_F \quad (21)$$

On définit le coût annuel équivalent moyen de la technologie à combustible fossile, $\overline{CAE^F}(S)$, comme étant le coût annuel équivalent par unité de volume de capacité de séchage. Son calcul est donné par :

$$\overline{CAE^F}(S) = \frac{CAE^F(S)}{S}$$

soit

$$\overline{CAE^F}(S) = \left[\bar{I}_S + S^{\alpha'-1} \bar{I}_C^F \right] \cdot \left[\frac{i}{1 - (1+i)^{-n}} \right] + S^{\beta'-1} c_E^F + p_F q_F \quad (22)$$

En calculant la dérivée partielle de $\overline{CAE^F}$ par rapport à S on obtient :

$$\frac{\partial \overline{CAE^F}(S)}{\partial S} = (\alpha' - 1) S^{\alpha'-2} \bar{I}_C^F \cdot \left[\frac{i}{1 - (1+i)^{-n}} \right] + (\beta' - 1) S^{\beta'-2} c_E^F \quad (23)$$

Comme les coefficients α' et β' sont strictement inférieurs à l'unité, le signe de cette dérivée partielle est strictement négatif :

$$\frac{\partial \overline{CAE^F}(S)}{\partial S} < 0 \quad (23)'$$

Le coût annuel équivalent moyen est décroissant par rapport à la capacité de séchage choisie. La technologie de chaudière à combustible fossile présente donc également des rendements d'échelle croissants.

5. Avantage compétitif du bois-énergie et capacité de séchage

Les résultats obtenus précédemment établissent que les deux technologies des chaudières utilisant respectivement le bois et le combustible fossile présentent des économies d'échelle. Dans une optique de promotion du développement du bois-énergie, la question intéressante est de déterminer les conditions permettant de faire apparaître l'avantage concurrentiel en terme de coût de l'utilisation du bois-énergie par rapport à l'utilisation des sources d'énergie d'origine fossile.

Le surcoût annuel équivalent moyen de l'utilisation de la technologie de chaudière au bois-énergie par rapport à celle au combustible fossile est donné par la différence :

$$\overline{CAE^B}(S) - \overline{CAE^F}(S)$$

qui s'écrit, après simplifications, de la manière suivante :

$$\left(\frac{i}{1 - (1+i)^{-n}} \right) \cdot \left((1-\lambda)S^{\alpha-1}\bar{I}_C^B - S^{\alpha'-1}\bar{I}_C^F \right) + S^{\beta-1}c_E^B - S^{\beta'-1}c_E^F + p_B q_B - p_F q_F \quad (24)$$

Par souci de simplification on fait l'hypothèse que les coefficients α, α', β , et β' sont tous égaux, soit :

$$\alpha = \alpha' = \beta = \beta' = \alpha \quad (25)$$

Cette hypothèse importante équivaut à supposer que les coûts des équipements des technologies de chaudière à bois et à combustible fossile ainsi que les coûts d'entretien et de maintenance associés à ces technologies présentent des économies d'échelle de même nature.

L'utilisation de (25) permet de réécrire le surcoût de la technologie bois-énergie par rapport à celle au combustible fossile comme suit :

$$\left(\frac{i}{1 - (1+i)^{-n}} \right) \cdot \left(S^{\alpha-1} \left((1-\lambda)\bar{I}_C^B - \bar{I}_C^F \right) \right) + S^{\alpha-1} \left(c_E^B - c_E^F \right) + (p_B q_B - p_F q_F) \quad (26)$$

Dans l'expression (26) on retrouve les différents éléments déterminant le surcoût de l'utilisation de la technologie au bois-énergie, à savoir le surcoût de l'achat de la technologie de chaudière à bois et le surcoût lié à l'entretien et à la maintenance de ce type de technologie de chaudière. Le dernier terme de cette expression est une quantité négative. Il mesure l'économie de coûts en combustibles procurée par l'utilisation du bois-énergie par rapport au combustible fossile.

Comme $0 < \alpha < 1$, la lecture de l'expression (26) permet de constater que plus la capacité de séchage installée sera importante moins élevé sera le surcoût du bois-énergie par rapport au gaz. Le calcul de la dérivée partielle de ce surcoût par rapport à S permet de le montrer aisément.

Il existe par conséquent un seuil à partir duquel l'utilisation de la technologie bois-énergie se révèle plus économique que celle au combustible fossile. En effet, on montre en utilisant les hypothèses (1) à (11) que l'expression (26) devient négative, c'est-à-dire que la technologie bois-énergie devient plus compétitive que celle au combustible fossile, lorsque :

$$S > \left[\frac{\left(c_E^B - c_E^F \right) + \left(\frac{i}{1 - (1+i)^{-n}} \right) \left((1-\lambda)\bar{I}_C^B - \bar{I}_C^F \right)}{p_F q_F - p_B q_B} \right]^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (27)$$

L'inégalité (27) met en évidence la présence d'un effet de seuil dans l'existence de l'avantage compétitif de la technologie au bois-énergie par rapport à celle au combustible fossile. Il s'agit d'un seuil quantitatif à partir duquel la technologie de chaudière utilisant le bois-énergie se montre moins coûteuse que celle utilisant un combustible fossile. Autrement dit, la technologie au bois-énergie n'est intéressante que pour les industries du séchage du bois dans lesquelles les capacités de séchage dépassent le seuil donné par (27).

6. Les déterminants de l'avantage compétitif du bois-énergie

Dans un souci de développement de l'utilisation du bois-énergie en tant que source d'énergie dans les processus industriels de séchage des bois l'élément important est de

voir s'abaisser le seuil donné par l'inégalité (27). En effet, en considérant une distribution donnée du nombre des unités industrielles de séchage des bois selon leur capacité de séchage, un abaissement du seuil de compétitivité du bois-énergie se traduit par un plus grand nombre d'unités de production pouvant avantageusement envisager l'adoption de la technologie de chaudière au bois.

La détermination du seuil de capacité donné par (27) constitue par conséquent un élément important dans une optique microéconomique de choix technologique pour la firme. Face à un plan de production et le choix de la capacité de séchage correspondante la firme peut, en confrontant ce dernier au seuil donné par (27), prendre la décision d'adopter telle ou telle technologie de chaudière.

On appelle \tilde{S} le seuil de compétitivité donné par (27), on a donc :

$$\tilde{S} = \left[\frac{\left(c_E^B - c_E^F \right) + \left(\frac{i}{1 - (1+i)^{-n}} \right) \left((1-\lambda)\bar{I}_C^B - \bar{I}_C^F \right)}{p_F q_F - p_B q_B} \right]^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (28)$$

L'expression (28) met en évidence les différents déterminants de ce seuil. Ce seuil est influencé par l'ensemble des variables et paramètres introduits dans le modèle concernant la description des fonctions de coût des technologies alternatives.

Ce seuil est, en lui-même, le premier facteur d'avantage compétitif de l'utilisation du bois-énergie dans le sens où la technologie de chaudière au bois montre, ceteris paribus, son avantage concurrentiel par rapport à celle au combustible fossile dans les processus de séchage de relative grande capacité.

Les surcoûts associés à la technologie de la chaudière à bois par rapport à celle fonctionnant au combustible fossile, à savoir le surcoût de l'achat de l'équipement et celui lié à l'entretien de la technologie, interviennent positivement dans la détermination du seuil \tilde{S} . Plus le surcoût de l'achat de l'équipement de la technologie bois par rapport à l'achat de l'équipement de la technologie utilisant le combustible fossile est important, plus le seuil de compétitivité de la technologie bois sera élevé.

L'influence des autorités publiques sur le développement de l'utilisation de la technologie de chaudière utilisant le bois-énergie dans les processus industriels de séchage des bois se manifeste à travers le paramètre de politique économique λ . En effet, le taux λ de subvention accordé par les autorités publiques intervient négativement sur le seuil \tilde{S} . Un taux de subvention plus important permet d'abaisser le seuil de compétitivité de la technologie bois.

Un aspect important de ce choix de politique économique réside dans l'évaluation de l'influence du taux de subvention sur le seuil de compétitivité du bois-énergie. C'est la

raison pour laquelle il est intéressant pour les autorités publiques de calculer l'élasticité du seuil \tilde{S} par rapport au taux de subvention λ , $e_{\tilde{S}/\lambda}$. Ce calcul est donné par :

$$e_{\tilde{S}/\lambda} = \frac{\partial \tilde{S}}{\partial \lambda} \cdot \frac{\lambda}{\tilde{S}} \quad (29)$$

Une augmentation du taux de subvention de 1% permet d'abaisser le seuil de compétitivité du bois-énergie de $|e_{\tilde{S}/\lambda}|%$. Le modèle permet également d'envisager le problème de l'intervention publique sous un autre angle. En effet, on peut considérer que le gouvernement se fixe comme objectif que le seuil de compétitivité \tilde{S} atteigne un certain niveau \hat{S} , par exemple, car il estime celui-ci compatible avec un développement significatif de l'utilisation du bois-énergie.

Dans ces conditions on peut alors calculer le taux minimal de subvention permettant d'atteindre un seuil de compétitivité au moins égal à \hat{S} . En utilisant l'expression (26) on obtient après réarrangements algébriques la valeur minimale de λ donnée par :

$$\lambda > 1 - \frac{\bar{I}_C^F}{\bar{I}_C^B} + \frac{\left((p_B q_B - p_F q_F) S^{1-\alpha} + c_E^B - c_E^F \right) \cdot \left(\frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} \right)}{\bar{I}_C^B} \quad (30)$$

Avec le choix d'un certain niveau pour \hat{S} la valeur donnée par le membre droit de l'inégalité (30) constitue une information importante pour le décideur public.

Le surcoût du combustible fossile par rapport au bois-énergie influence négativement le seuil \tilde{S} . Plus celui-ci est important plus le seuil de compétitivité du bois-énergie est bas. Ainsi toute variation du prix du combustible fossile a, ceteris paribus, un impact sur le seuil \tilde{S} . En particulier, il faut souligner que la hausse du prix du baril de pétrole brut ou la dépréciation de la monnaie nationale par rapport au dollar, en provoquant le renchérissement du combustible fossile, abaisse le seuil de compétitivité du bois-énergie.

Par ailleurs, si l'on fixe un certain niveau pour le seuil de compétitivité du bois-énergie compatible par exemple avec un développement satisfaisant de la technologie bois-énergie, on peut mettre en évidence un prix maximal d'achat de la ressource bois-énergie. Ce prix maximal est déterminé de telle manière que le seuil de capacité choisi préserve l'avantage concurrentiel du bois-énergie. Il peut être très facilement calculé à partir de l'expression (26). Ce prix maximal d'achat de la ressource bois-énergie représente alors une information importante à destination des unités de production de cette ressource particulière concernant, en particulier, leur rentabilité.

7. Conclusion

La modélisation microéconomique présentée dans cet article permet d'étudier les conditions d'existence et les déterminants de l'avantage compétitif de la technologie de chaudière au bois-énergie par rapport à celle utilisant le combustible fossile dans le cadre particulier de l'industrie du séchage des bois. La modélisation des fonctions de coût des technologies alternatives constitue le cœur du travail. Le résultat important concerne l'existence d'un seuil de capacité de séchage à partir duquel la technologie de chaudière fonctionnant au bois-énergie se révèle moins onéreuse que celle fonctionnant au combustible fossile. On montre ainsi que l'adoption de la technologie de chaudière au bois-énergie n'est intéressante que pour les unités industrielles de séchage des bois dont la taille dépasse le seuil en question.

L'intérêt particulier de la modélisation est de mettre en évidence les déterminants de ce seuil en fonction des différentes variables et paramètres pris en compte. Cela permet d'envisager notamment la question de l'intervention publique dans la promotion du développement de l'utilisation du bois-énergie. Cela permet également de fournir un signal de prix aux filières de production de la ressource bois-énergie plus en amont et, par là, d'envisager les possibilités de développement de ces filières.

Le modèle comporte un certain nombre de limites. La plus importante réside dans l'hypothèse (25) consistant à supposer que les technologies de chaudière à bois et à combustible fossile présentent des économies d'échelle de même nature à la fois au niveau de l'achat des équipements neufs que des coûts d'entretien. Cette hypothèse plausible permet la résolution analytique du modèle.

Toutefois, le modèle a l'avantage de proposer un cadre d'analyse dans lequel on peut étudier la problématique du choix entre technologies de chaudière fonctionnant au bois-énergie ou au combustible fossile. En effet, bien que le modèle soit construit dans le cadre particulier de l'industrie du séchage des bois, il peut être étendu au cadre plus large de la problématique des chaufferies collectives et industrielles.

Dans cet article le modèle reste théorique. Dans une étape suivante, les fonctions de coût doivent faire l'objet d'une estimation économétrique. Cela devrait permettre, non seulement, de valider certaines hypothèses théoriques, mais aussi, de conférer un caractère opérationnel aux résultats théoriques en donnant des informations précises tant aux décideurs privés que publics.

Bibliographie

Arthur Andersen (2001), *Chaufferies-bois : état des lieux et perspectives dans les industries de 1^{ère} et 2^{ème} transformation du bois-Rapport de la phase d'analyse stratégique*, ADEME.

Biomasse-Normandie (1998), *Compétition entre combustibles fossiles et bio-combustibles et concurrence entre les différents usages des matières premières ligneuses-Compte rendu final d'exécution*, ADEME.

Haldi J. et Whitcomb D. (1967), "Economies of scale in industrial plants", *Journal of Political Economy*, 75, pp. 373-385.

Lévêque F. et Péguret A. (1988), *Forêts et industries du bois, structures et performances*, Economica, Paris.

Oremus Y. (2001), « Sécher avec du bois : moins cher qu'avec du propane », in *Le Cahier du bois-énergie n° 15, Le Bois International*.

Panzar J. (1989), "Technological Determinants of Firm and Industry Structure", in *Handbook of Industrial Organization*, North Holland.