

Incitation à l'investissement et incertitude Prix versus quantités

1. introduction

En théorie, les marchés de gros de l'électricité suffisent à la coordination efficace des différents acteurs connectés au réseau. Cependant, certaines caractéristiques de l'électricité empêchent l'application directe du cadre théorique standard de la concurrence pure et parfaite. Notamment, le problème de la sécurité du système de court terme et son lien avec l'adéquation de capacité sont au centre de nombreuses discussions sur l'efficacité des marchés. Ces débats posent la question du besoin d'une politique correctrice d'un déficit d'investissement et de sa forme. Les politiques mises en place pour inciter à l'investissement en capacités de production peuvent se résumer simplement (dans un premier temps) à des instruments prix ou quantité. Soit le régulateur rémunère les capacités de production, ce qui constitue donc une subvention de l'investissement, soit il fixe une quantité à atteindre qu'il peut implémenter de plusieurs manières (organisation d'enchères, contrôle de firmes publiques, ...). Ces deux instruments sont équivalents dans une situation sans incertitude, par contre, comme établit par Weitzman (1974) l'existence d'incertitude ou d'asymétrie d'information, modifie ce résultat. Nous proposons ici d'appliquer une approche à la Weitzman pour comprendre comment l'incertitude influence le choix des instruments dans le cas du choix de capacités de production. Tout d'abord il s'agit de comprendre l'origine du déficit d'investissement sur un marché 'energy only' puis la façon dont peut s'appliquer une approche à la Weitzman.

Le problème de la sécurité du système provient de la nécessité d'un équilibre permanent entre injection et soutirage sur les réseaux électriques. Cet équilibre physique instantané nécessite une coordination que les marchés ne permettent pas d'obtenir (cf Wilson 2002). Ainsi, en temps réel, le gestionnaire du réseau organise de façon autoritaire la production et la consommation d'électricité. Lorsque les capacités de production sont saturées, le gestionnaire de réseau doit délester certains consommateurs, qui ne se rationnent pas spontanément en réagissant au prix. Dans ces situations, les courbes d'offre et de demande sont des droites verticales qui ne se croisent pas, le prix doit alors être fixé par le régulateur. C'est ce prix qui devrait permettre aux producteurs d'amortir leurs investissements en capacités de pointe et qui sert donc de signal à l'investissement. Ainsi, si ce prix n'est pas suffisamment élevé, les producteurs n'investissent pas dans suffisamment de capacités et les consommateurs sont délestés trop fréquemment. Plusieurs auteurs ont relevé que les capacités de production disponibles avaient des aspects de bien public pour les consommateurs (Jaffe et Felder 1996, de Vries 2007, Finon et Pignon 2006). En effet, si un consommateur investit dans des capacités de production (directement ou indirectement avec un contrat de long terme), cet investissement bénéficie à l'ensemble des consommateurs connectés en abaissant leur fréquence de délestage. Un déficit d'investissement ne peut donc pas être corrigé de façon décentralisée par des contrats de long terme entre consommateurs et producteurs et nécessite une politique correctrice. Etant donné les nombreuses incertitudes caractéristiques des systèmes électriques il semble pertinent de considérer le rôle de ces incertitudes sur le choix d'instruments. L'approche adoptée ici consiste à adapter l'analyse de Weitzman (1974) à un système électrique afin de mieux comprendre les implications du choix d'un instrument particulier.

Weitzman (1974) analyse le choix d'instruments prix ou quantité dans un contexte d'incertitude ou plus exactement d'asymétrie d'information. Alors que dans une situation d'information complète, les deux instruments sont équivalents car le régulateur sait quelle quantité correspond à quel prix : il anticipe parfaitement la quantité choisie par les producteurs pour chaque prix. Weitzman considère que le régulateur ne connaît pas le coût de production du bien et ignore donc la réaction des producteurs. Si le régulateur impose un prix il est incertain sur la quantité produite alors que s'il impose une quantité c'est sur le coût de production de cette quantité que porte l'incertitude. Weitzman établit que la comparaison des instruments se résume à une comparaison des pentes des coûts et bénéfices marginaux. Comme les erreurs commises concernent soit les bénéfices dans le cas d'une taxe, soit les coûts dans le cas d'une quantité ce résultat est assez naturel. Une taxe permet de contrôler le coût marginal de la politique et s'il est très sensible à une modification de la quantité (si la pente des coûts marginaux est très élevée) l'erreur aura un coût important, et de façon similaire si les dommages sont très sensibles, alors une erreur a des conséquences importantes. Comme une taxe permet de contrôler les coûts marginaux et qu'une quantité permet de contrôler les dommages, une taxe est préférable à un quota si la pente des coûts marginaux est supérieure à celle des dommages marginaux. Depuis cet article fondateur, de nombreux auteurs ont étudiés le choix d'instruments pour réguler la production d'un bien public dans des contextes d'incertitudes.

Le cadre très stylisé de Weitzman (1974) et de la plupart des analyses qui ont suivi, ne permet pas une application directe de ces résultats au problème de l'investissement en capacité de production sans 'ouvrir' les boîtes de Weitzman. Nous proposons ici une représentation du secteur électrique permettant l'application des résultats de Weitzman. La partie suivante (2) présente un modèle du secteur électrique permettant d'obtenir des fonctions de coûts et bénéfices en fonction de la quantité de capacité, ensuite (partie 3) une incertitude sur le coût des capacités est introduite et l'analyse de Weitzman est présentée dans ce cadre, enfin, (partie 4) nous revenons sur les problèmes posés par les simplifications réalisées et les extensions qui nous semblent pertinentes.

2. Le cadre d'analyse

Nous commençons par introduire le cadre d'analyse sans incertitude. La demande des consommateurs est variable elle est notée x , nous supposons qu'elle est répartie de façon uniforme sur le segment $[\underline{x}, \bar{x}]$. L'utilité retirée de la consommation d'un kwh est notée v elle est supposée indépendante du niveau de la demande.

Les producteurs sont supposés concurrentiels, il existe une technologie disponible pour produire de l'électricité caractérisée par un coût variable constant normalisé à zéro et un coût de capacité convexe. Ce coût représente le coût de l'ensemble des producteurs. La capacité totale installée est notée k et le coût est $C(k)$. Nous supposons que C est une fonction quadratique d'expression :

$$C(k) = c_1 k + c_2 \frac{k^2}{2} \quad (1)$$

Etant donné une capacité k le surplus des consommateurs est la somme des surplus pour chaque réalisation de la demande. Pour une demande $x \in [\underline{x}, \bar{x}]$ si cette demande est

inférieure à la capacité installée le surplus est $v\bar{x}$, par contre lorsque les capacités sont insuffisantes pour servir l'intégralité de la demande certains consommateurs sont délestés ce délestage à un coût, en plus de la désutilité à ne pas consommer, que l'on suppose linéaire : il existe un réel positif α tel que le surplus des consommateurs en situation de délestage est $v\bar{k} - \alpha(\bar{x} - k)$ et le surplus brut des consommateurs pour l'ensemble des niveaux de la demande est :

$$B(k) = \frac{1}{\bar{x} - \underline{x}} \left[\int_{\underline{x}}^k v x dx + \int_k^{\bar{x}} v k - \alpha(x - k) dx \right] = v \frac{\bar{x} + \underline{x}}{2} - \frac{v + \alpha}{2} \frac{(\bar{x} - k)^2}{\bar{x} - \underline{x}} \quad (2)$$

Le bien être peut être une fonction des capacités : $W(k) = B(k) - C(k)$.

Le choix de capacités est décentralisé par un marché de gros. Le prix sur ce marché, supposé concurrentiel, s'établit au niveau du coût marginal (normalisé à zéro) lorsque les capacités sont excédentaires, et au niveau d'un price cap p lorsque les capacités sont saturées. De plus, l'investissement en capacités de production est subventionné, le montant de la subvention par unité de capacité est noté s . Les producteurs choisissent un niveau de capacité qui égalise le coût marginal et le montant marginal perçu sur le marché de l'énergie et les subventions. Le revenu obtenu sur le marché de l'énergie est égal au prix régulé multiplié par la durée de saturation des capacités : $(\bar{x} - k)$. La capacité choisie par les producteurs satisfait donc l'équation suivante :

$$\frac{\partial C}{\partial k} = s + (\bar{x} - k)p \quad (3)$$

L'optimum social peut être décentralisé en fixant $p = v + \alpha$ et $s = 0$ c'est-à-dire qu'en fixant le prix de gros égal à la voll, les producteurs choisissent un montant de capacités optimal quelle que soit leur fonction de coût. Ainsi, si la voll est connue, même si les producteurs ont une information sur leurs coûts de production que le régulateur n'a pas, il est possible de décentraliser l'optimum en fixant le prix en situation de délestage égal à la voll. Dans ce cas, il est possible de décentraliser par un instrument prix, contrairement au modèle de Weitzman car le revenu marginal des producteurs est toujours égal au surplus marginal des consommateurs. Ce résultat est lié à l'hypothèse de linéarité du surplus des consommateurs, ou plus exactement d'indépendance de la voll en le niveau de consommation.

Concernant la dimension de bien public des capacités de production, elle peut être mise en évidence si l'on considère que la demande est composée de plusieurs groupes de consommateurs. Pour simplifier l'exposition de ce point, supposons que les consommateurs sont tous identiques et répartis en deux groupes : un groupe composé d'une fraction u et l'autre d'une fraction $1-u$ (ce qui peut représenter les parts de marché de deux fournisseurs). Le bénéfice retiré de la consommation d'électricité du premier groupe est $uB(k)$ qui dépend de l'ensemble des capacités de production. Ainsi, si les investissements en capacités de pointes étaient réalisés par les groupes de consommateurs, ou décentralisés sur un marché de capacités, c'est le plus gros groupe de consommateurs (ou le fournisseur avec la part de marché la plus importante) qui réaliserait l'ensemble des investissements en capacités de production, et la quantité obtenue serait inférieure à l'optimum social. Ce raisonnement suppose que le prix sur le marché de l'énergie est inférieur à la voll en situation de délestage.

Nous commençons par tirer quelques enseignements de ce modèle en reproduisant l'analyse de Weitzman (1974) avant d'explorer les pistes d'enrichissement envisageables.

3. Incertitude

Nous considérons à présent qu'il existe une asymétrie d'information sur les coûts des capacités : $C(k, \theta)$ où θ est une variable aléatoire d'espérance nulle et de variance σ . Les producteurs connaissent θ . Nous supposons que le price cap est fixé au coût marginal de la technologie de pointe (ici nul) et qu'il faut donc corriger un déficit d'investissement en capacités de production. Le surplus, du point de vue du régulateur est incertain : $W(k, \theta) = B(k) - C(k, \theta)$. Nous supposons que les coûts ont une expression quadratique¹ :

$$C(k, \theta) = (c_1 + \theta)k + c_2 \frac{k^2}{2} \quad (4)$$

Nous considérons les deux options suivantes pour le régulateur :

Option 1 : choisir la quantité de capacité k^* telle que $B'(k^*) = EC'(k^*, \theta)$ qui maximise $E[W(k, \theta)]$ on note W_1 l'espérance de bien être dans ce cas.

Option 2 : choisir un niveau de subvention des capacités s positif. La réponse des producteurs à un niveau de subvention s est notée $g(s, \theta)$. Le régulateur choisit le montant de subvention de façon à maximiser $E[W(g(s, \theta), \theta)]$. on note W_2 l'espérance de bien être dans ce cas.

Dans le cas du choix d'un instrument quantité le régulateur choisit k^* tel que $B'(k^*) = EC'(k^*, \theta)$, c'est-à-dire : $(v + \alpha)(\bar{x} - k^*) = c_1 + c_2 k^*$. L'espérance de surplus obtenue est $W_1 = W(k^*, 0)$.

La deuxième option consiste à subventionner l'investissement en capacité de production. Pour une subvention s les producteurs investissent de façon à égaliser revenu et coût marginaux. Ainsi, en utilisant l'expression de C , leur réponse est :

$$g(s, \theta) = \frac{s - c_1}{c_2} - \frac{\theta}{c_2} \quad (5)$$

Ainsi, le choix d'un niveau de subvention induit une réponse des producteurs composée d'un élément certain et d'un élément incertain qui reflète l'asymétrie d'information. La structure linéaire du modèle permet d'isoler cette incertitude, ainsi on a l'espérance de bien être

$EW(g, \theta) = W(Eg, 0) + \frac{\sigma^2}{2c_2^2} \left(c_2 - \frac{v + \alpha}{x - \underline{x}} \right)$ et dans ce cas s^* est choisi de telle sorte que

$Eg = k^*$ et la comparaison des deux instruments est :

$$W_2 = W_1 + \frac{\sigma^2}{2c_2^2} \left(c_2 - \frac{v + \alpha}{x - \underline{x}} \right) \quad (6)$$

On retrouve le résultat de Weitzman, la différence entre les deux politiques dépend de la comparaison entre les pentes des bénéfices marginaux et de coûts marginaux. Avec notre modèle la pente des bénéfices marginaux est $v + \alpha$ c'est-à-dire la voll nette du coût variable

¹ Weitzman (1974) considère des fonctions de coûts et de bénéfices générales et réalise un développement limité qui lui permet d'obtenir une approximation de la différence de surplus entre les deux instruments. La plupart des articles qui ont suivi ont simplement posé des fonctions quadratiques, ce qui permet d'obtenir des résultats exacts, sans se restreindre à de 'petites' incertitudes.

(que nous avons normalisé à zéro) divisée par l'ampleur des variations de la demande. Plus cette valeur est élevée plus l'instrument quantité sera préféré à l'instrument prix. Une des extensions possibles de l'analyse serait l'introduction de l'incertitude sur cette valeur, la partie suivante revient sur ce point.

4. Extensions

4.1. Evaluation de la voll

L'évaluation de la valorisation de l'électricité en période de pointe et le coût d'une coupure de courant est problématique. Cette valeur est cruciale et très incertaine, incertitude qui n'a pas été introduite dans l'analyse. En fait, si cette incertitude est indépendante de l'incertitude sur les coûts des capacités, elle n'intervient pas dans la comparaison des instruments comme l'avait remarqué Laffont (1977). Seule compte l'asymétrie d'information pour l'évaluation des instruments. Si l'incertitude sur la voll est corrélée à celle sur les coûts alors l'analyse est modifiée. Weitzman (1974) avait relevé ce point et Stavins (1996) l'a analysé en détail : une corrélation positive augmente l'attractivité de l'instrument quantité alors qu'une corrélation négative augmente l'attractivité de l'instrument prix.

Ici, comme nous avons introduit une incertitude sur les coûts des capacités et non sur les coûts variables il semble peu réaliste de considérer que l'incertitude sur la voll et l'incertitude sur les coûts d'investissement soient corrélées. Par contre si l'on considère une incertitude sur le coût variable et une incertitude sur la voll il semble envisageable que celles-ci soient corrélées et que les producteurs est une information plus précise que le régulateur sur leurs valeurs. Il faut souligner que c'est l'asymétrie d'information qui introduit une distinction entre les instruments : s'il existe une incertitude sur la voll et sur le coût variable qui est commune au régulateur et aux producteurs, au moment du choix de capacités, la comparaison des instruments n'est pas modifiée.

4.2. Efficacité d'un marché 'energy only'

Dans la première partie de l'analyse, nous rappelons le résultat de décentralisation de l'optimum. Si le régulateur fixe le prix de l'électricité au niveau de la voll dans les situations de délestage, alors aucune intervention supplémentaire n'est nécessaire. Le problème du sous investissement est donc du à la « missing money », ce qui correspond à la position de plusieurs économistes (ref...). Le raisonnement est le suivant : le régulateur impose un 'price cap' en raison du pouvoir de marché ou de problèmes d'acceptabilité des pics de prix, ce 'price cap' ne permet pas de dégager les rentes suffisantes pour un investissement optimal, et c'est pourquoi certains régulateurs introduisent divers mécanismes pour inciter à l'investissement en dehors du marché de l'énergie.

En fait, plusieurs extensions du modèle permettraient de justifier une intervention du régulateur pour inciter à l'investissement en raison de l'incertitude. C'est-à-dire que, même si le marché est concurrentiel et les pics de prix acceptés il pourrait être optimal de subventionner l'investissement en capacités de production. La première explication est liée à la sécurité de court terme du système et aux réserves stratégiques, ce problème n'est pas pris en compte ici, nous revenons sur ce point dans la suite. Cependant, sans introduire la sécurité de court terme, d'autres extensions peuvent justifier l'intervention du régulateur.

Ici, l'optimalité d'un marché de l'énergie avec $p=v$ est liée au fait que sur le marché de l'énergie l'utilité marginale est constante, comme elle ne dépend pas de la quantité de capacité il suffit de fixer le prix de l'énergie égal à cette valeur pour décentraliser le choix de capacités. Si on modifie le modèle en supposant que le surplus est proportionnel au carré de la consommation (c'est le cas avec une demande linéaire) on aurait la valeur pour le surplus des

consommateurs :
$$B(k) = \frac{1}{x - \bar{x}} \left(\int_0^k vx^2 dx + \int_k^{\bar{x}} vkx dx \right) = v \frac{k}{x - \bar{x}} \left(\frac{\bar{x}^2}{2} - \frac{k^2}{6} \right)$$
 si le délestage est aléatoire.

Afin de décentraliser par le marché de l'énergie il faudrait introduire un prix p moyenne des vols dans les différents états de délestage, c'est-à-dire tel que $(\bar{x} - k)p = v \int_k^{\bar{x}} x dx$. Dans ce cas,

l'incertitude sur la durée de délestage $\bar{x} - k$ empêche de fixer le prix sans prendre en compte les coûts d'investissement. Dans ce cas, on a $p = 0,5v(\bar{x} + k)$ et un prix optimal dépend donc des coûts de production contrairement à précédemment. Il n'est donc plus possible de décentraliser l'optimum en fixant p sans connaître θ . La poursuite des calculs permet d'obtenir qu'avec l'incertitude sur les coûts le prix optimal p est supérieur à la moyenne mentionnée au dessus. De plus, il n'est pas évident de déterminer quel est l'instrument optimal, et il semble possible que puissent être combinés un price cap positif et une subvention positive des capacités.

4.3. La sécurité du système

L'une des difficultés liées au choix d'investissement repose sur la sécurité de court terme et les réserves. Joskow et Tirole (2004) ont formulé le problème en représentant le risque d'effondrement du système. Ce risque existe, bien que le gestionnaire de réseau puisse délester des consommateurs, car le niveau de disponibilité des capacités de production est incertain sur le court terme. Les auteurs établissent que les réserves opérationnelles sont un bien public pour l'ensemble des utilisateurs du système. Les investissements en capacités de réserves doivent donc être régulés. Dans leur analyse, c'est une régulation en quantité puisque la quantité de réserves est fixée à chaque instant selon le niveau de la demande, et chaque consommateur doit contracter ce montant de réserves, éventuellement sur un marché avec un prix pouvant être extrêmement volatile (car indéterminé entre 0 et la voll). Les producteurs sont rémunérés pour l'électricité vendue et les capacités disponibles sur le court terme. Cette double rémunération leur donne les bons signaux d'investissement. Un marché 'energy only' ne peut permettre de décentraliser l'optimum même si le prix de l'énergie est fixé au niveau de la voll en situation de délestage.

4.4. Influence de la répartition de la demande

Dans l'analyse ci-dessus, afin d'obtenir des expressions quadratiques permettant de se passer de développements limités, nous avons supposés que les états étaient répartis de façon homogène. En fait, si l'on considère une répartition générale des états de la demande, le surplus n'a plus une forme quadratique mais il est néanmoins possible de déterminer la pente du bénéfice marginal et de se contenter d'une comparaison approximative.

Si l'on considère que les états sont répartis selon une fonction de répartition F de densité f . Le bénéfice est :

$$B(k) = \int_x^k vxf(x)dx + \int_k^{\bar{x}} vkf(x)dx \quad (7)$$

Donc, le bénéfice marginal est $v(F(\bar{x}) - F(k))$ et finalement la dérivée seconde est $-vf(k)$ et la répartition des états joue donc un rôle dans la comparaison des instruments. La valeur de la capacité marginale dépend de la fréquence de délestage $F(\bar{x}) - F(k)$, et la comparaison des instruments dépend donc de la façon dont cette fréquence est modifiée par un changement de capacité.

5. Conclusion

Nous avons construit un modèle du secteur électrique permettant d'appliquer l'analyse de Weitzman (1974) au problème de l'adéquation de capacité. Cela nous a permis d'établir, qu'un instrument quantité est préférable à un instrument prix si la voll (nette du coût variable de la capacité de pointe) divisée par l'ampleur des variations de la demande est supérieure à la pente des coûts marginaux. Les caractéristiques permettant de décider du meilleur instrument dépendent des systèmes : de la courbe de charge et des techniques de production disponibles pour la pointe. Par exemple, l'instrument quantité sera préférable lorsque la demande varie peu ou que les coûts marginaux des capacités sont suffisamment plats, par contre, dans un système qui utilise des centrales hydrauliques comme technologie de pointe, les coûts marginaux d'investissement peuvent être pentus (en raison de la disponibilité de nouveaux sites) et justifier l'utilisation d'un instrument prix.

Le modèle développé, permet une application directe de l'analyse de Weitzman grâce à de nombreuses hypothèses simplificatrices permettant d'obtenir des expressions quadratiques. Dans un tel cadre, un marché 'energy only' avec un prix fixé au niveau de la voll en situation de délestage permet de décentraliser l'optimum social même si les coûts d'investissement sont incertains. Il semble pourtant assez raisonnable de ne pas se reposer sur un tel marché pour déterminer la fréquence de délestage. Plusieurs extensions du modèle permettent d'expliquer qu'un marché 'energy only' puisse être insuffisant et qu'il faille en plus réguler le choix de capacités de production. En plus de l'argument sur les réserves opérationnelles et le risque d'effondrement, il est possible de recourir à des arguments à la Weitzman dans un modèle plus sophistiqué pour justifier qu'un régulateur préfère contrôler les investissements en capacités de pointe plutôt que de se reposer sur un marché 'energy only'.

Cette première analyse devrait permettre de mieux comprendre les implications des incertitudes, ou asymétries d'information, sur l'efficacité des marchés de l'électricité et les choix d'instruments pour réguler ces marchés. Ces incertitudes étant au centre des difficultés à faire fonctionner un système électrique il nous semble fructueux de procéder à de telles analyses et de poursuivre la présente étude dans plusieurs directions. Notamment, il conviendrait d'introduire d'autres formes d'incertitudes (sur la voll, sur les coûts variables, sur le nombre de producteurs) et d'étudier l'effet des corrélations entre ces incertitudes.

Références

Finon D., Pignon V., 2006, « Electricité et fourniture de long terme; La recherche d'instruments réglementaires respectueux du marché électrique », *Economies et Sociétés*, (série Economie de l'Energie), Vol.10, novembre (Working Paper LARSEN 02-2006)

de Vries L., 2007, Generation adequacy: Helping the market do its job, *Utilities Policy*, under press

Jaffe, A.B. and F.A. Felder (1996), Should Electricity Markets Have a Capacity Requirement? If So, How Should It Be Priced?, *The Electricity Journal*, 9(10), pp. 52-60.

Joskow P., Tirole J., 2004, Reliability and Competitive Electricity Markets, CEEPR working paper 04-008

Laffont, J.-J., 1977, More on Prices vs. Quantities, *The Review of Economic Studies*, 44 (1), pp. 177-182.

Stavins, R. N., 1996, Correlated Uncertainty and Policy Instrument Choice, *Journal of Environmental Economics and Management*, 30, pp. 218-232

Weitzman, M., 1974. Prices vs. quantities. *Review of Economic Studies* 41 (4), 447-491.

Wilson, R. , 2002, Architecture of Power Markets, *Econometrica*, 70, pp. 1299-1340.