

Investment and generation capacity (Richard Green)

Présentation GRJM – Lunch Seminar

Marcelo Saguan

(27 novembre 2007)

Plan de la présentation

2/38

- Introduction
- L'investissement en production : A. Théorique
 - ▣ Marché parfait
 - ▣ Marché réel
 - Irréversibilité & incertitudes
 - Cycles d'investissement
 - Paiement de capacité
- L'investissement en production : A. Empirique
- Conclusions

Plan de la présentation

3/38

- Introduction
- L'investissement en production : A. théorique
 - ▣ Marché parfait
 - ▣ Marché réel
 - Irréversibilité & incertitudes
 - Cycles d'investissement
 - Paiement de capacité
- L'investissement en production : A. empirique
- Conclusions

Introduction (I)

L'électricité

4/38

- Pas (économiquement) stockable
 - ▣ → Production = consommation
- Demande très variable
 - ▣ Dans une année : $D_{\max} - D_{\min} =$ plusieurs dizaines de GW (ex.: en France 86 GW – 31 GW = 55 GW en 2005)
- Technologies de production
 - ▣ Différent ratio coût fixe/coût variable
 - Technologies de BASE: $CF/CV \uparrow \uparrow$ (nucléaire, charbon)
 - Technologies de POINTE: $CF/CV \downarrow \downarrow$ (turbine à gaz/fuel, diesel)
- Autres...

Introduction

Théorie :
Marché Parfait

Théorie :
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

Introduction (II)

Objectifs du papier

5/38

- Comprendre le mécanisme d'investissement en production dans un cadre théorique défini par certaines hypothèses
 - Marché « parfait »
 - Marché « réel »

- Analyser empiriquement l'investissement en production dans certains pays d'Europe et aux États-Unis

Introduction

Théorie :
Marché Parfait

Théorie :
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

Introduction (III)

La méthodologie

6/38

- Analyse théorique
 - ▣ Marché « parfait » (hypothèses de perfection)
 - Modèle d'investissement simple
 - Tout fonctionne bien...
 - ▣ Marché réel (quelques hypothèses de perfection levées)
 - Autres caractéristiques (investissement irrécupérables, incertitudes, demande inélastique, pouvoir de marché, risques, etc.)
 - Autres outils théoriques (théorie des options réelles, etc.)
- Analyse empirique
 - ▣ Analyse des marges & investissements (bruts/nets) par pays

Introduction

Théorie :
Marché Parfait

Théorie :
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

Plan de la présentation

7/38

□ Introduction

□ L'investissement en production : A. théorique

□ Marché parfait

□ Marché réel

- Irréversibilité & incertitudes
- Cycles d'investissement
- Paiement de capacité

□ L'investissement en production : A. empirique

□ Conclusions

Analyse théorique : marché parfait (I)

Modèle (simple) d'investissement

8/38

- Deux questions principales:
 - ▣ Le marché peut-il fournir une capacité totale optimale?
 - ▣ Le marché peut-il fournir un mix technologie optimal?
- Hypothèses
 - ▣ 2 technologies possibles (BASE et POINTE)
 - ▣ Concurrence parfaite (comportement concurrentiel, information, etc.)
 - ▣ Demande élastique : toujours un équilibre de marché à court terme ($O=D$)
 - ▣ Pas d'irréversibilités (sunk cost) ni d'incertitudes
 - ▣ ...
- Solution graphique (voir annexe programme optimisation)
 - ▣ Données : Coûts fixes, coûts variables, monotone de charge, prix de rationnement
 - ▣ Méthodologie: screening curve, monotone de charge, merit order

Introduction

Théorie:
Marché Parfait

Théorie :
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

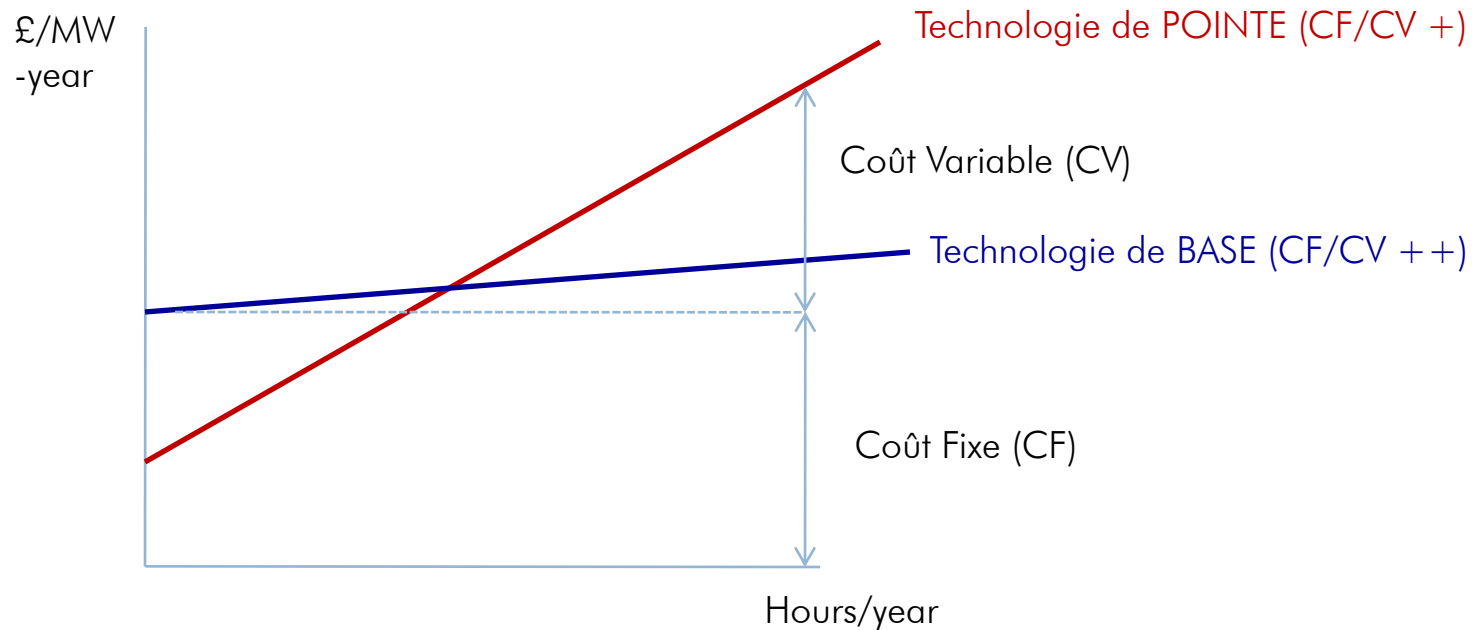
Annexe

Analyse théorique : marché parfait (II)

Screening curves

9/38

Coût total de production (coûts fixes + coûts variables) vs. Nombre d'heures de fonctionnement par an (ou facteur de capacité)



Introduction

Théorie:
Marché Parfait

Théorie :
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

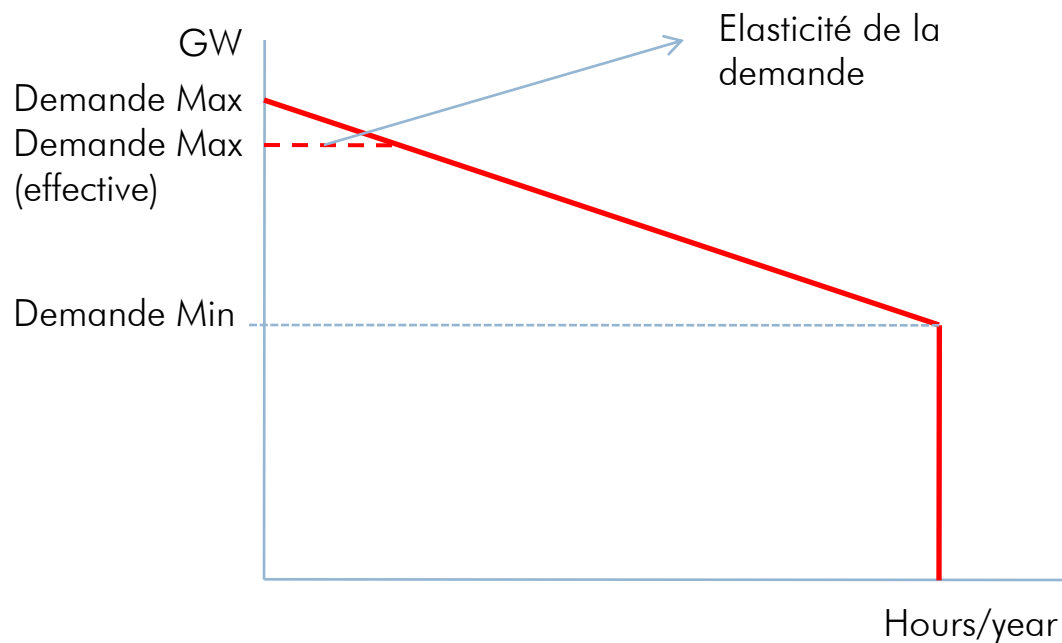
Annexe

Analyse théorique : marché parfait (III)

Monotone de charge (demande)

10/38

Demande pour toutes les heures de l'année classées par ordre décroissant



Introduction

Théorie:
Marché Parfait

Théorie :
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

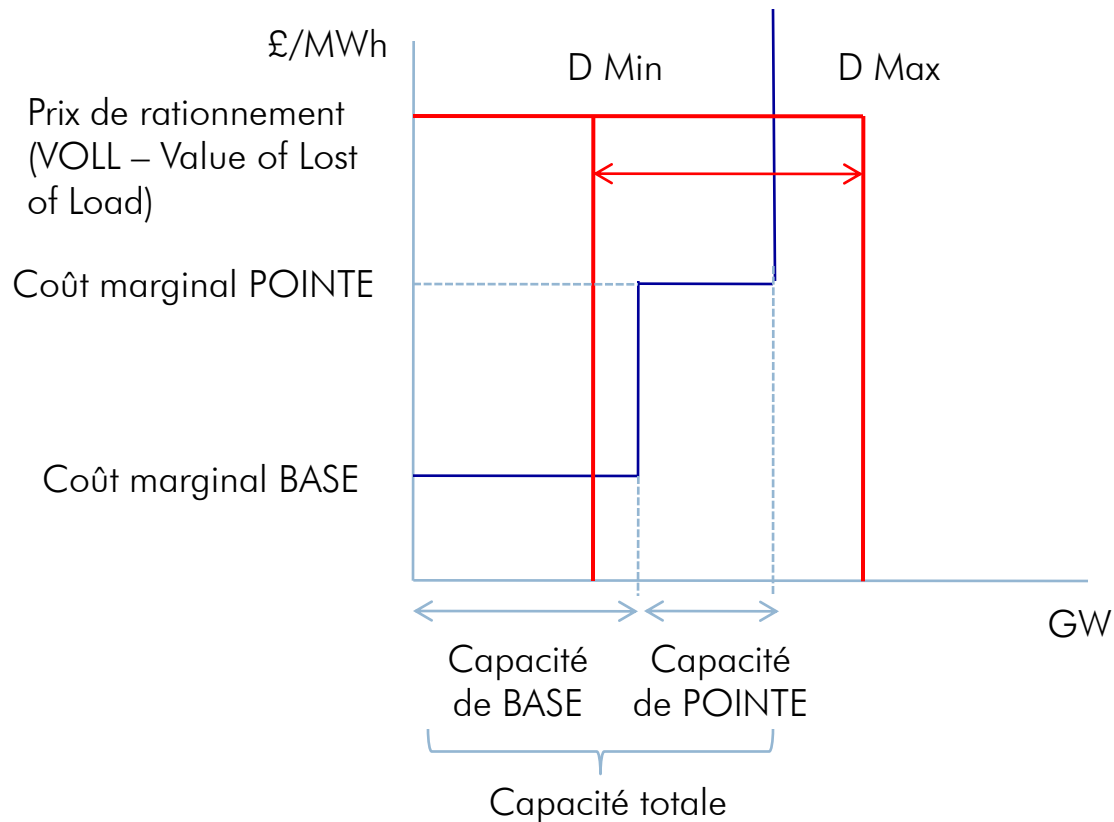
Annexe

Analyse théorique : marché parfait (IV)

Merit order (équilibre à court terme)

11/38

Equilibre du marché à chaque heure



Introduction

Théorie:
Marché Parfait

Théorie :
Marché Réel

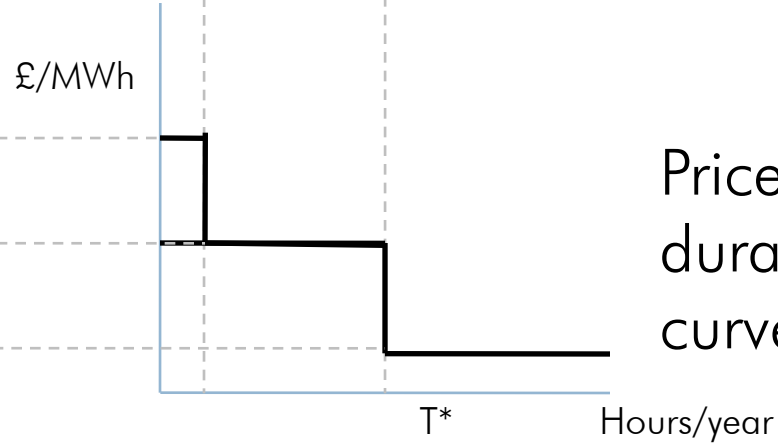
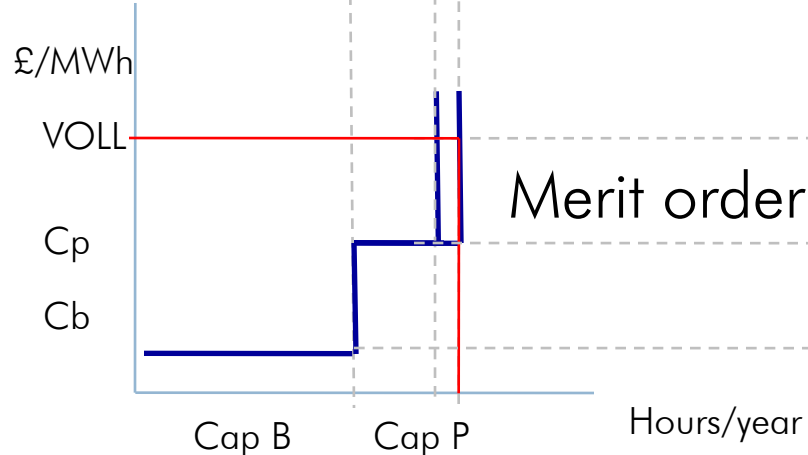
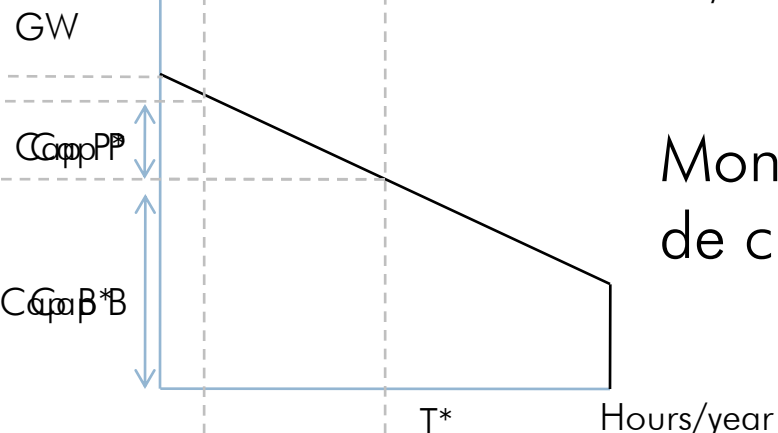
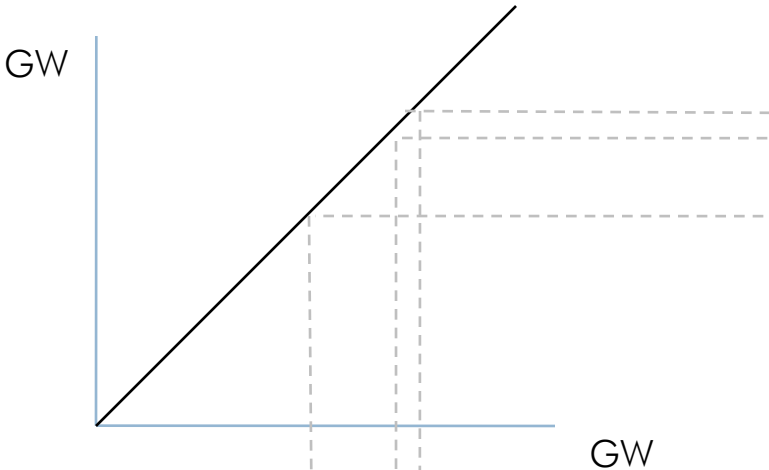
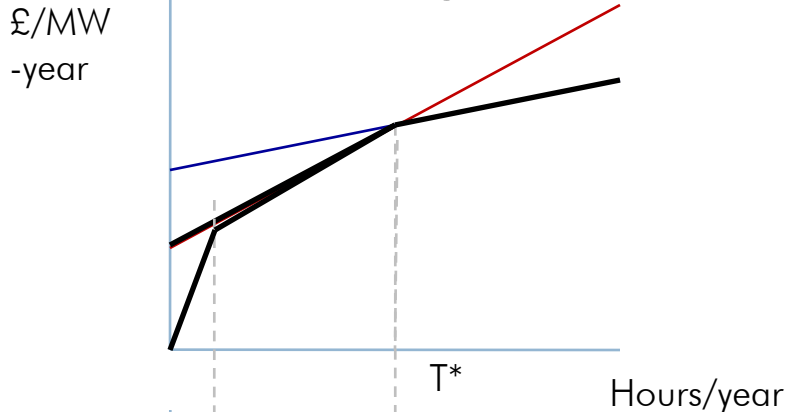
Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

Détermination des capacités optimales (solution graphique)

Screening curve



C_{cap}^P

C_{cap}^B

Analyse théorique : marché parfait (VI)

Résultats : à l'équilibre

13/38

- Marché parfait = planificateur bienveillant (opt. centralisée)
 - ▣ Surplus social (bénéfices moins coûts) maximisé
 - Capacité totale optimale & capacités optimales par technologie
- Avec les capacités optimales
 - ▣ Profits normaux (=Coûts fixes) pour toutes les technologies. Pas de rentes
 - ▣ Coûts fixes de la technologie de POINTE couverts seulement si prix > coût variable (prix=VOLL) pendant une période déterminée
 - Coût fixe POINTE= Temps rationnement * (VOLL – Coût variable POINTE)
- Facteurs qui peuvent modifier l'équilibre
 - ▣ Augmentation de la demande (ou changement de la monotone)
 - ▣ Changement de ratios CF/CV (ex. prix du gaz, charbon, prix du CO2)
 - ▣ Etc.

Analyse théorique : marché parfait (VII)

Résultats : hors de l'équilibre

14/38

- Avec capacités non-optimales, le système donne des signaux pour aller vers l'équilibre (capacités optimales)
 - ▣ Rentes (supernormal profit) \Rightarrow Investissement

- Exemples :
 - ▣ Capacité totale correcte, pas assez de capacité de BASE
 - ▣ Capacité totale correcte, trop de capacité de POINTE
 - ▣ Trop de capacité totale, capacité de BASE correcte
 - ▣ Pas assez de capacité totale, trop de capacité de BASE

- Graphiquement & Tableau Excel

Introduction

Théorie:
Marché Parfait

Théorie :
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

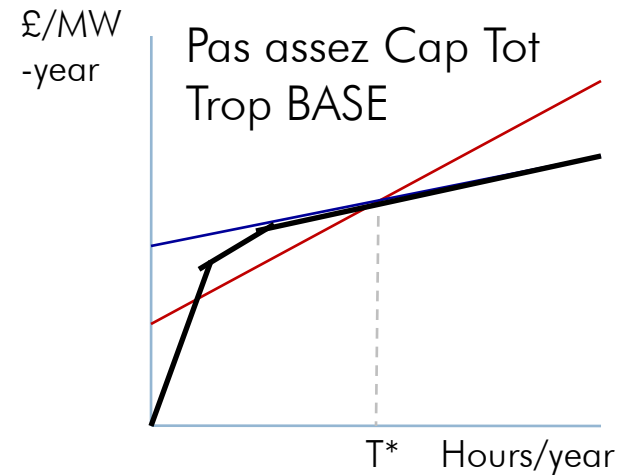
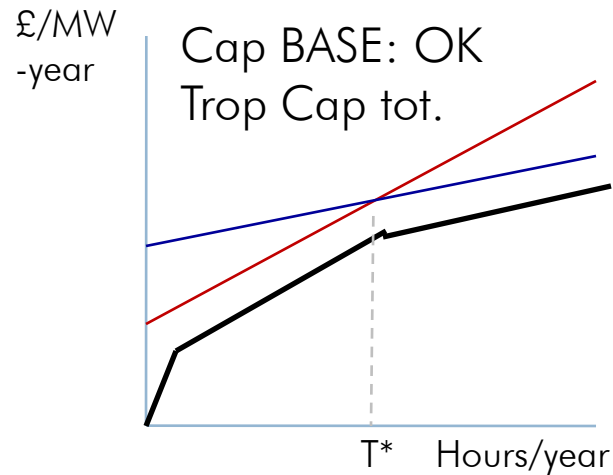
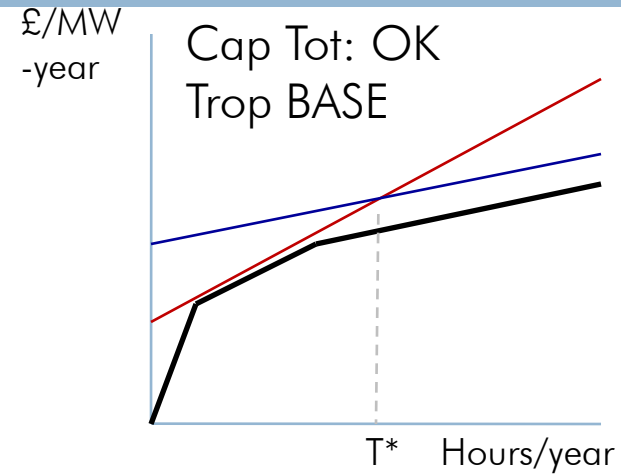
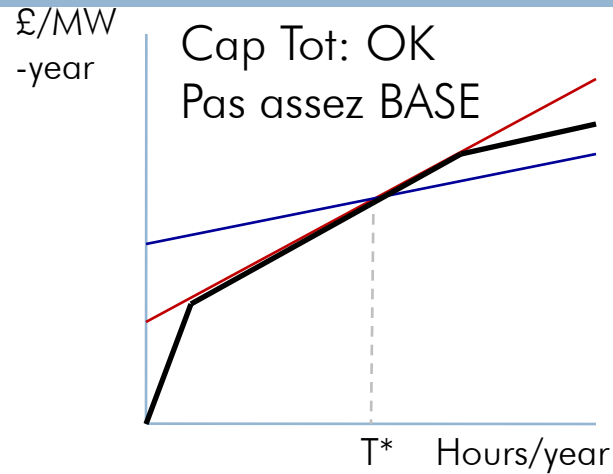
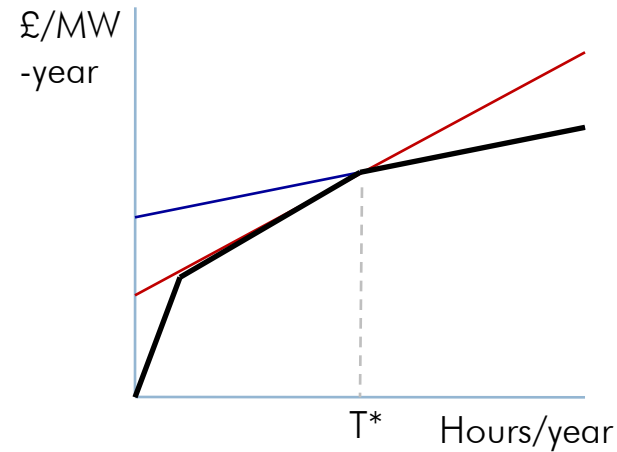
Annexe

Analyse théorique : marché parfait (VIII)

Résultats: hors de l'équilibre

15/38

Capacités optimales



Introduction

**Théorie:
Marché Parfait**

Théorie :
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

Analyse théorique : marché parfait (IX)

Conclusions

16/38

- Sur ce modèle simplifié (marché parfait)
 - ▣ Le marché peut fournir la capacité optimale et le mix optimal
 - ▣ Hors l'équilibre, les incitations dirigent les investissements (ou désinvestissements) qui ramènent le système à l'optimal
- Mais, réalités pas prises en compte dans ce modèle simple
 - ▣ Irréversibilités \Rightarrow retard dans l'investissement
 - ▣ Le phénomène des cycles d'investissement
 - ▣ Le problème de la demande inélastique & autres (price cap, pouvoir de marché, risques, etc.)

Introduction

Théorie:
Marché Parfait

Théorie :
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

Plan de la présentation

17/38

□ Introduction

□ L'investissement en production : A. théorique

▣ Marché parfait

▣ Marché réel

■ Irréversibilité & incertitudes

■ Cycles d'investissement

■ Paiement de capacité

□ L'investissement en production : A. empirique

□ Conclusions

Analyse théorique : marché réel

Irréversibilités & incertitudes

18/38

- Irréversibilités dans l'investissement en production
 - ▣ Coûts irrécupérables (sunk cost) : pas ou /faible utilisation alternative
- Incertitudes
 - ▣ Prix de combustibles → choix du mix technologique
 - ▣ Demande → choix de la capacité totale
 - Incertitudes court terme (alea météo + consommation autres systèmes)
 - Incertitudes sur la tendance (réaction des consommateurs, activité économique, changement technologique)
- Conséquences de l'irréversibilité & incertitudes
 - ▣ → Les investissements ne se déclenchent pas automatiquement quand le prix > coût « complet » ou au premier signe d'augmentation de la demande

Introduction

Théorie :
Marché Parfait

Théorie:
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

Analyse théorique : marché réel

Irréversibilités & incertitudes

19/38

Analyse économique des investissements irréversibles en présence d'incertitudes

- Théorie des options réelles (Dixit-Pindyck [1994])
 - Attendre à avoir plus d'information pour décider (valeur de l'option)
 - Règle d'investissement (investir quand :)
 - Valeur espérée de l'investissement $>$ coûts + valeur de l'option
 - « Trigger price »: le prix auquel l'investissement se déclenche
- Conséquences:
 - Retard d'investissement (le « Trigger price » est plus élevé que sans irréversibilités)
 - Le niveau de retard dépend du niveau d'incertitude (et de flux financier des options)

Introduction

Théorie :
Marché Parfait

Théorie:
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

Analyse théorique : marché réel

Irréversibilités & incertitudes

20/38

- Autres effets des irréversibilités
 - Mise sous cocon de capacité (Mothball capacity)
 - Les prix doivent descendre au delà du coût variable pour déclencher la mise sur cocon de la capacité
 - Irreversibilités & investment lags (ex. le temps de construction)
 - Investement lags diminuent le « trigger price »
- La théorie des options réelles fournit des éléments importants pour comprendre l'investissement dans la production d'électricité.
 - Ces effets augmentent les effets de cycle (voir après)

Introduction

Théorie :
Marché Parfait

Théorie:
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

Plan de la présentation

21/38

□ Introduction

□ L'investissement en production : A. théorique

▣ Marché parfait

▣ Marché réel

■ Irréversibilité & incertitudes

■ Cycles d'investissement

■ Paiement de capacité

□ L'investissement en production : A. empirique

□ Conclusions

Analyse théorique : marché réel

Cycles d'investissement (I)

22/38

- Phénomène des industries capital-intensive
 - ▣ Périodes de prix élevés → investissement massif, périodes de prix faible
 - ▣ Problème de coordination
 - Les acteurs ne prennent pas en compte les réactions des autres acteurs au moment d'investir
- Deux facteurs qui réduisent les effets de cycles
 - ▣ Capacités mises sous cocon (Mothballing)
 - ▣ Long-term contracts

Introduction

Théorie :
Marché Parfait

Théorie:
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

Analyse théorique : marché réel

Cycles d'investissement (II)

23/38

Deux facteurs qui réduisent les effets de cycles

- Capacités mises sous cocon (Mothballing)
 - Option à augmenter la capacité disponible sans nouveaux investissements
- Long-term contracts
 - Diminue les incertitudes
 - ↓ les prix qui déclenchent les investissements
 - ↓ les coûts de capital
 - Mécanisme de coordination à long terme
 - Investissement commandé par la demande (retailers)
 - Problème : les retailers peuvent ne pas vouloir signer des contrats de long terme
 - Long term commitment can increase risk (Newbery 2002, Green 2003)

Introduction

Théorie :
Marché Parfait

Théorie:
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

Plan de la présentation

24/38

□ Introduction

□ L'investissement en production : A. théorique

▣ Marché parfait

▣ Marché réel

■ Irréversibilité & incertitudes

■ Cycles d'investissement

■ Paiement de capacité

□ L'investissement en production : A. empirique

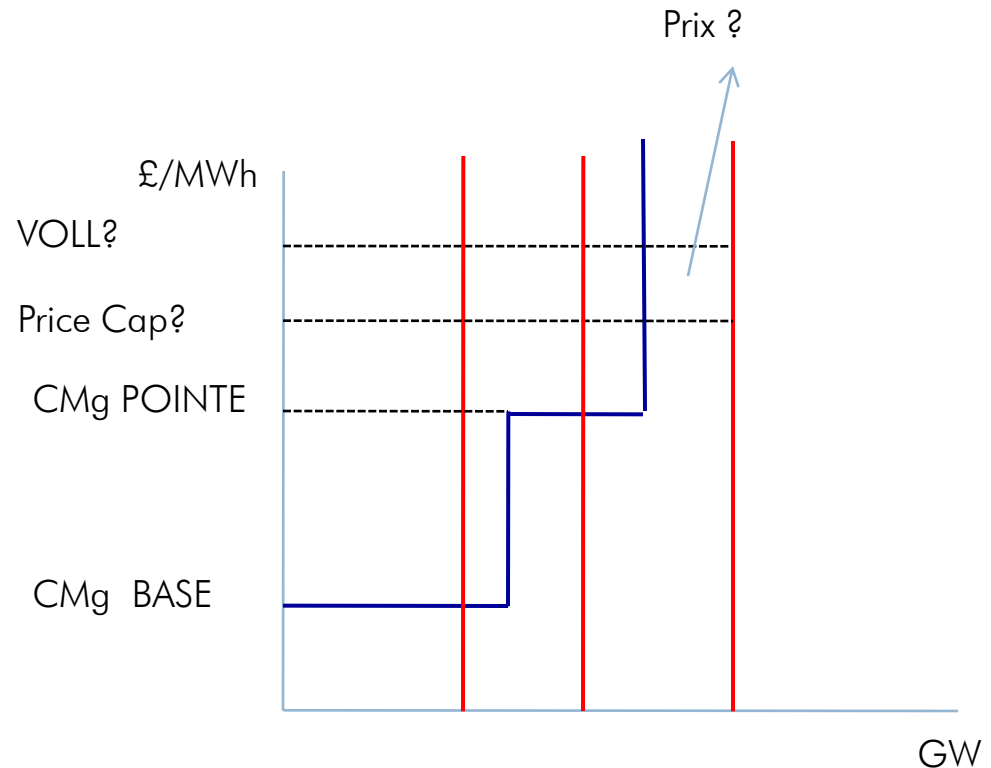
□ Conclusions

Analyse théorique : marché réel

Paiement de capacité (I)

25/38

- Energy-only market
 - ▣ Paiement au producteur seulement pour l'énergie
- Inélasticité de la demande
 - ▣ VOLL très élevé (Australia 10000 A\$/MWh)
 - ▣ Price cap
- Problèmes
 - ▣ Valeur de la VOLL?
 - ▣ Price cap \neq VOLL



Introduction

Théorie :
Marché Parfait

Théorie:
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

Analyse théorique : marché réel

Paiement de capacité (II)

26/38

- Le niveau du « price cap » (dans le energy-only design)
 - ▣ En théorie, si le price cap = VOLL (Value of lost of load), le design « energy-only » peut fonctionner...
 - ▣ mais
 - Difficulté du calcul de VOLL
 - VOLL peut être très grand => risques & pouvoir de marché
 - ▣ Si le « price cap » trop bas
 - Les producteurs ne couvrent pas leur coût fixe
 - Au moins que les délestages soient très fréquents...
 - ▣ Si le « price cap » trop haut
 - Problème de pouvoir de marché & risques (Stoft 2002)

Introduction

Théorie :
Marché Parfait

Théorie:
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

Analyse théorique : marché réel

Paiement de capacité (II)

27/38

- Design alternatif au « energy-only »: marché de capacité
 - ▣ Deux marchés :
 - Un marché pour l'énergie (& price cap relativement bas)
 - Un marché pour la capacité
 - ▣ Marché de capacité:
 - Le SO ou le régulateur fixe le niveau de capacité objectif du système (peak demand + % reserves)
 - Les retailers ont l'obligation d'avoir des crédits de capacité (si non pénalité)
 - Le prix de la capacité varie entre:
 - Le coût de maintenir les centrales disponibles
 - Le coût d'investissement (si la pénalité est bien fixée = coût d'investissement)

Introduction

Théorie :
Marché Parfait

Théorie:
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

Analyse théorique : marché réel

Conclusions

28/38

- Le modèle simple (marché parfait) permet de comprendre les bases du mécanisme d'investissement et les facteurs déterminants
 - ▣ Demande (monotone de charge, VOLL), CF/CV, etc.
- Il faut compléter le modèle simple pour appréhender les caractéristiques réelles de l'électricité.
 - ▣ Irréversibilités & incertitudes => retard des investissements
 - ▣ Cycles d'investissements
 - ▣ Market design => energy-only ou marché de capacité?

Introduction

Théorie :
Marché Parfait

Théorie:
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

Plan de la présentation

29/38

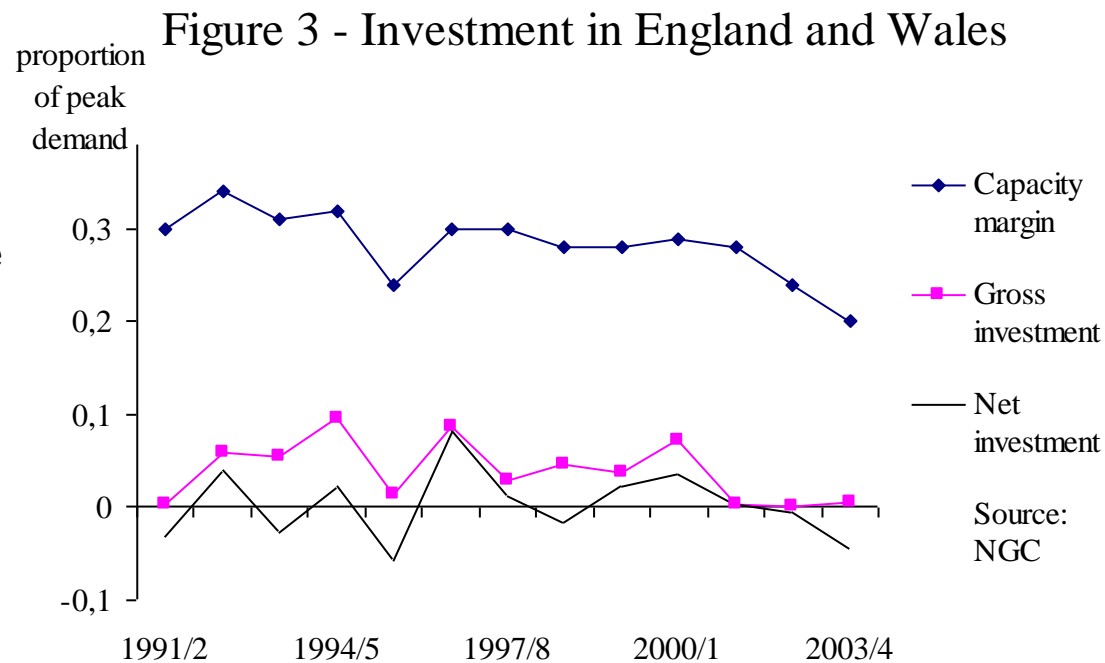
- Introduction
- L'investissement en production : A. théorique
 - ▣ Marché parfait
 - ▣ Marché réel
 - Irréversibilité & incertitudes
 - Cycles d'investissement
 - Paiement de capacité
- L'investissement en production : A. empirique
- Conclusions

Analyse empirique (I)

Le cas de UK

30/38

- 1991-1995: Investissement très important malgré niveau de marge assez élevé
 - CCGT (émissions, efficacité)
 - Pouvoir de marché (REC)
 - Investissement net = ~ 0 (bcp de clôture)
- 1995-2000: investissement net = \sim augmentation demande
 - \Rightarrow marge constante
- 2000: pas d'investissement et forte diminution de la marge



Introduction

Théorie :
Marché Parfait

Théorie :
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

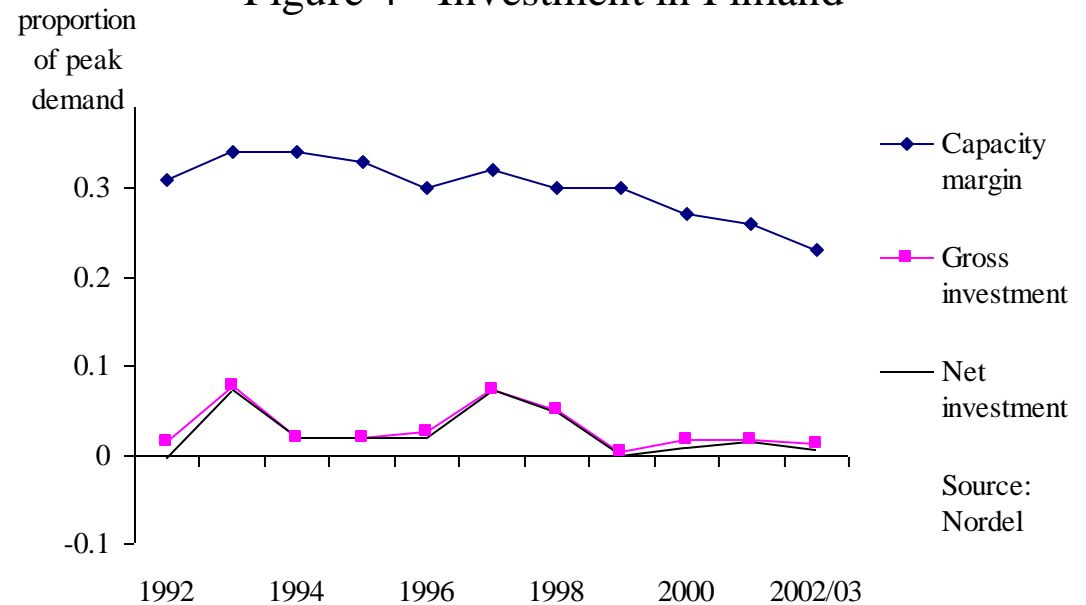
Analyse empirique (II)

Le cas du Finlande

31/38

- 1996 libéralisation de l'industrie
 - Fort investissement
- Très peu de clôtures (investissement net \approx investissement brut)
- 1998: la marge commence à descendre
- Centrales nucléaires (1 600 MW) programmées
 - Bientôt en fonctionnement

Figure 4 - Investment in Finland



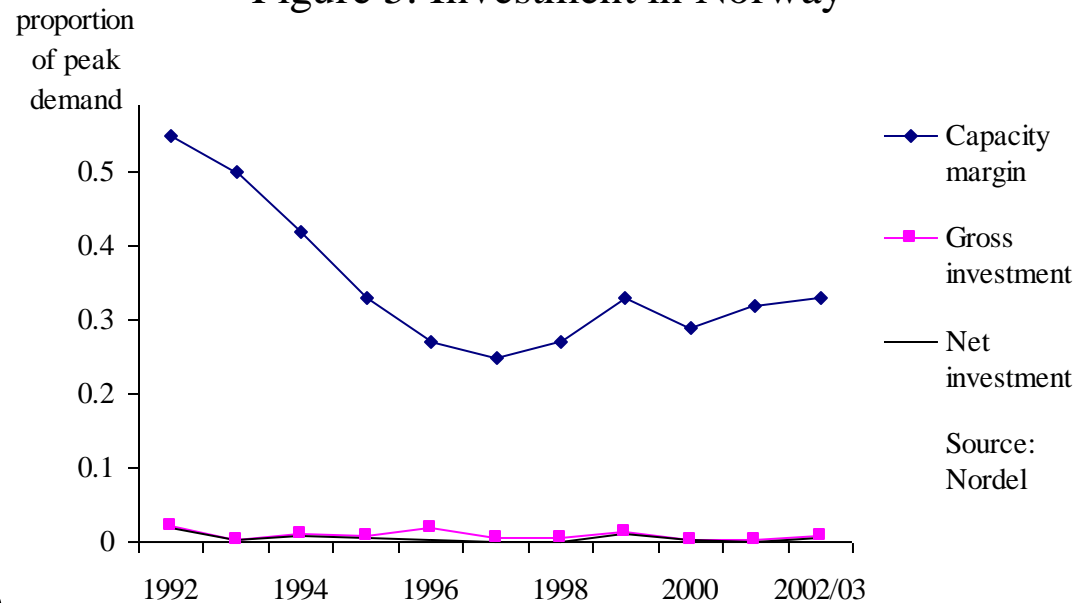
Analyse empirique (III)

Le cas de la Norvège

32/38

- Faibles investissements
- Système hydraulique : marges nécessaires plus importantes
- Marges diminuent bcp et après augmentent faiblement
 - ▣ Diminution de la demande de pointe
 - ▣ Importations (années sèches)

Figure 5: Investment in Norway



Introduction

Théorie :
Marché Parfait

Théorie :
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

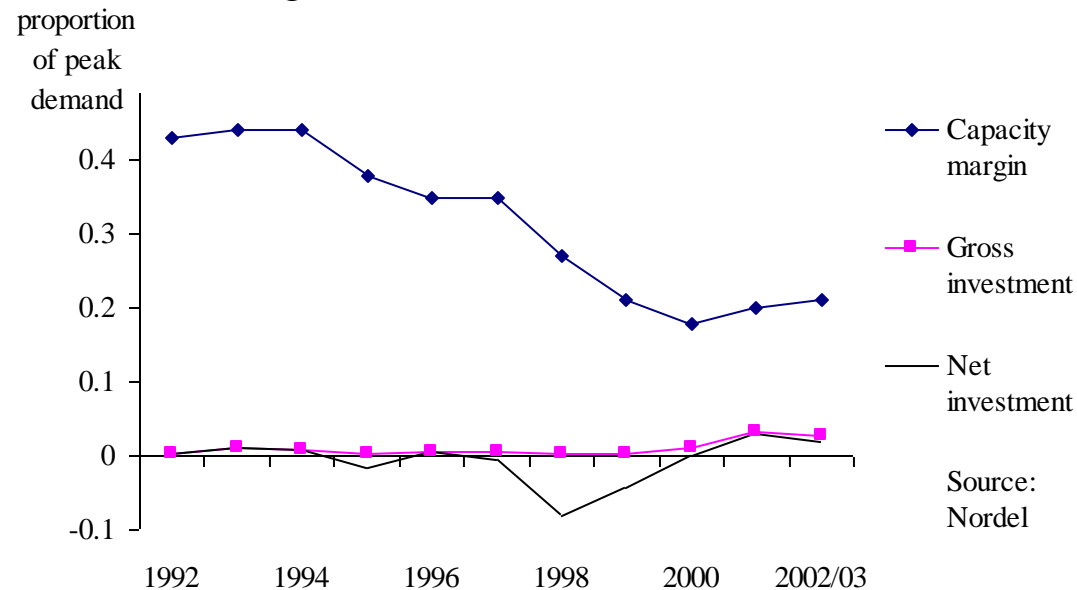
Analyse empirique (IV)

Le cas de la Suède

33/38

- Peu d'investissement
- 1996 libéralisation
 - ▣ Clôture et mothballing importante
- Marge élevée (hydraulique+thermique)
- Action du TSO
 - ▣ Paiement par capacité
 - ▣ $\frac{3}{4}$ des investissements viennent de plants mises sous cocon (clôture 1998)

Figure 6 - Investment in Sweden



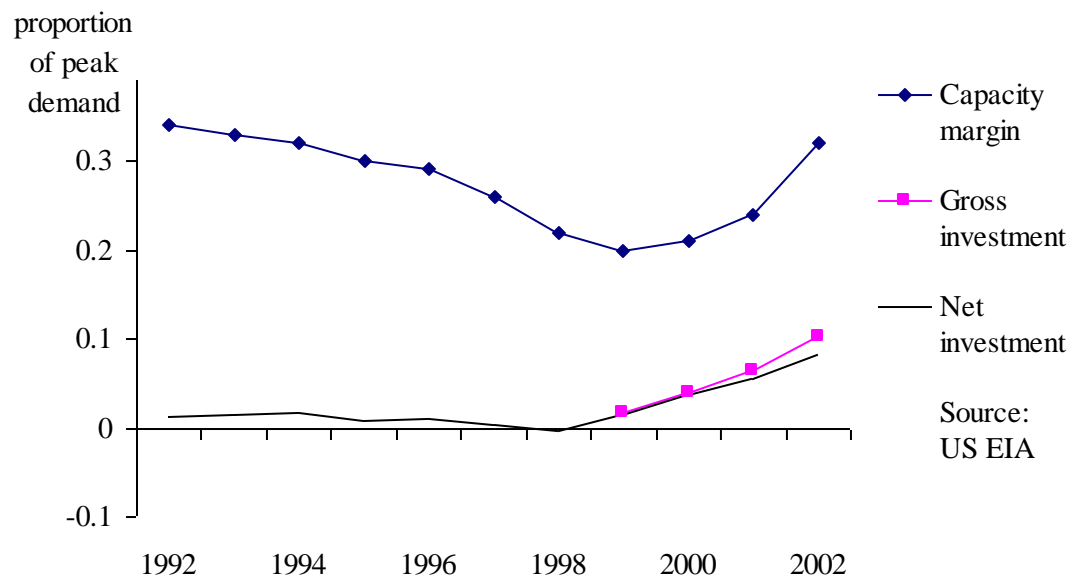
Analyse empirique (V)

Le cas des États-Unis

34/38

- 1992-1998 : Faible investissement
 - Incertitude sur la régulation
 - Marché ou pas?
- Après 1998
 - Faible marge et opportunité pour CCGT
 - Fort investissement : 3/5 CCGT + 2/5 GT
- Après 2002
 - Trop d'investissements
 - Augmentation du prix du gaz
 - Problèmes financiers

Figure 7 - Investment in the United States



Introduction

Théorie :
Marché Parfait

Théorie :
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

Analyse empirique (VI)

Conclusions

35/38

- Difficile d'extraire des généralités de l'analyse empirique
 - ▣ Chaque système/pays a ses particularités
- Mais...
 - ▣ Libéralisation => réduction des marges mais dans les limites tolérables
 - ▣ Une marge très faible provoque des investissements
 - ▣ Une marge élevées & faible investissement est logique
 - ▣ Il faut plus d'expérience pour évaluer empiriquement les investissements en actifs de production (biens de longue durée)

Introduction

Théorie :
Marché Parfait

Théorie :
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

Plan de la présentation

36/38

- Introduction
- L'investissement en production : A. théorique
 - ▣ Marché parfait
 - ▣ Marché réel
 - Irréversibilité & incertitudes
 - Cycles d'investissement
 - Paiement de capacité
- L'investissement en production : A. empirique
- Conclusions

Conclusions (I)

37/38

- Analyse théorique de l'investissement en production
 - ▣ Marché parfait
 - Profit normal si la capacité totale et le mix sont optimaux
 - Si capacité optimale (par tech) est $\gg \Rightarrow$ signal pour désinvestissement
 - Si capacité optimale (par tech) est $\ll \Rightarrow$ signal pour investissement
 - Le marché (parfait) serait capable d'envoyer les signaux nécessaires pour l'investissement socialement optimal
 - ▣ Marché réel
 - Théorie des options réelles (incertitudes + sunk costs)
 - Les investissements (et désinvestissements) sont retardés

Introduction

Théorie :
Marché Parfait

Théorie :
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

Conclusions (II)

38/38

- Analyse théorique...
 - ▣ Marché réel (suite)
 - Cycles d'investissement
 - Design de marchés (paiement de capacités)
- Analyse empirique
 - ▣ Difficile généralisation
 - ▣ Libéralisation \Rightarrow réduction de la marge
 - ▣ Une marge faible \Rightarrow investissement
 - ▣ Besoin de plus d'expérience (renouvellement massif des centrales)

Introduction

Théorie :
Marché Parfait

Théorie :
Marché Réel

Analyse
Empirique

Conclusions

Annexe

Investment and generation capacity (Richard Green)

Présentation GRJM – Lunch Seminar

Marcelo Saguan

(27 novembre 2007)

Annexe I

Programme d'optimisation

$$\begin{aligned} \underset{q_{it}, k_i}{\text{Max}} W &= \sum_t B_t \left(\sum_i q_{it} \right) - \sum_i \sum_t c_i q_{it} - \sum_i d_i k_i \\ \text{s.t. } q_{it} &\leq k_i \quad \forall i, t \end{aligned}$$

$$\underset{q_{it}, k_i}{\text{Max}} L = \sum_t B_t \left(\sum_i q_{it} \right) - \sum_i \sum_t c_i q_{it} - \sum_i d_i k_i - \sum_i \sum_t \lambda_{it} (q_{it} - k_i)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial q_{it}} &= B'_t \left(\sum_i q_{it} \right) - c_i - \lambda_{it} & \longrightarrow & 0 \leq q_{it} \perp B'_t \left(\sum_i q_{it} \right) - c_i - \lambda_{it} \leq 0 \\ \frac{\partial L}{\partial k_{it}} &= \lambda_{it} - d_i & \longrightarrow & \sum_t \lambda_{it} = d_i \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda_{it}} &= q_{it} - k_i & \longrightarrow & 0 \leq \lambda_{it} \perp k_{it} - q_{it} \geq 0 \end{aligned}$$

Annexe II

- Lectures complémentaires
 - ▣ Joskow 2006 « Competitive electricity markets and investment in new generating capacity »
 - ▣ Cramton-Stoft 2006 « The convergence of market designs for adequate Generating Capacity »
 - ▣ Joskow-Tirole 2006 « Reliability and competitive electricity markets »