
**UNE ANALYSE ÉCONOMIQUE ET *EX-POST* DES EFFETS DU PRIX
DU CARBONE SUR LE SECTEUR ÉLECTRIQUE EUROPÉEN**

Soutenance de thèse – Boris Solier
Sous la direction de Christian de Perthuis

Université Paris-Dauphine – 23 Juin 2014

Introduction

- Un contexte de double crise des marchés de l'électricité et du carbone, généralement appréhendés de façon distincte
- Le constat central est qu'il est nécessaire de tenir compte des interactions entre ces marchés afin de poser les bons diagnostics
- Une condition essentielle d'efficacité du paquet énergie-climat 2030
- Une évaluation *ex-post* des interactions entre le système des quotas et le fonctionnement du secteur électrique, basée sur huit années d'observation (2005-2012)
- Réalisée à partir d'instruments économétriques et de la construction d'un modèle de simulation du secteur électrique (ZEPHYR-Elec)

Questions de recherche

- Quelles sont les spécificités du secteur électrique qui conditionnent son organisation et sa réaction au signal prix du carbone (Chapitre I)
- Quels sont les impacts de la tarification du carbone sur la formation des prix de l'électricité à court terme et à long terme ? (*Chapitre II*)
- Comment représenter les choix technico-économiques de production opérés par les installations en réaction au signal-prix du carbone ? (Chapitre III)
- Comment appréhender les effets distributifs d'un prix du carbone sur les opérateurs du système électrique ? (*Chapitre IV*)

I – Le contexte de l'introduction du prix du carbone

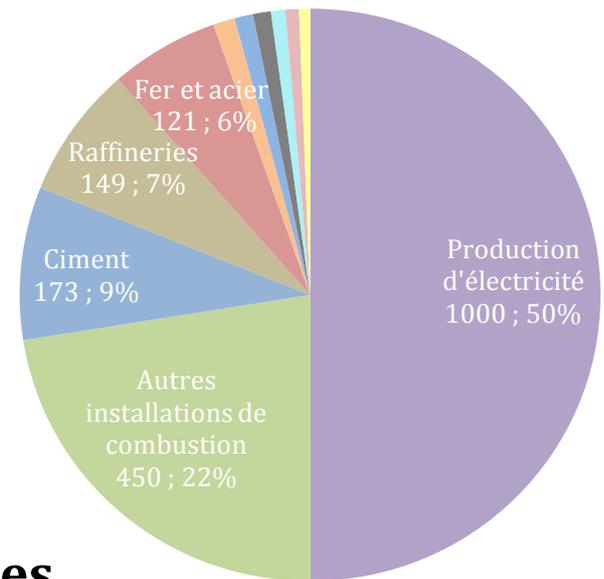
1. Le secteur électrique dans le système des quotas

- Premier secteur obligé du système
- Potentiel d'abattement *a priori* considéré comme élevé
- Généralisation de l'allocation aux enchères des quotas depuis 2013

2. Le fonctionnement des marchés électriques

- Mouvement d'ouverture des marchés et de convergence des prix de gros en Europe
- Dynamique des prix reflète les spécificités nationales ou régionales des systèmes (*cf. Annexe 1*)

Emissions annuelles moyennes par secteur (2005-2011)



Plan de la thèse

- I. L'introduction d'un prix du carbone sur les marchés de l'électricité en Europe
- II. L'influence du prix du carbone sur les prix de l'électricité
- III. L'impact du prix du carbone sur le mix technologique de production et les émissions de CO₂
- IV. Les effets distributifs du prix du carbone sur le secteur électrique : la rente carbone

II – Liaisons prix de l'électricité, prix du carbone

- Principaux enseignements :
 - Relation entre prix du carbone et prix de l'électricité qui n'est pas homogène mais varie selon les périodes et les marchés analysés
 - Taux de répercussion estimés s'écartent significativement des valeurs qui prévaudraient dans un cadre théorique de concurrence parfaite
 - Pas une cause unique mais une combinaison de facteurs intervenant de façon différenciée dans le temps et dans l'espace
- Approche « pass-through » : relation de court terme entre les marges des technologies (« spreads ») et les coûts en carbone
- Approche « cointégration » : relation de long terme entre les prix à terme de l'électricité, des énergies et du carbone

II – Résultats modèles de « pass-through »

- Apports du modèle :
 - Extension des travaux de Sijm *et al.* (2008) à 10 pays européens et à la seconde période de l'EU ETS (2005-2011)
 - Mise en évidence de l'influence des périodes de conformité du marché et de la volatilité des prix en Phase 2
- Résultats :
 - Coefficients plus élevés en pointe qu'en semi-base mais expliquent moins bien les variations des prix de l'électricité au cours de ces périodes
 - L'hypothèse d'une répercussion du coût du carbone est plus fréquemment validée en Phase 1 (60%) qu'en Phase 2 (50%), l'année 2009 est une exception
 - Effet de la crise économique : baisse de la demande et augmentation des capacités excédentaires
 - Ce résultat apparaît être spécifique au marché au comptant de l'électricité, les marchés à terme ayant continué à intégrer le coût du CO₂ en Phase 2

II – Résultats modèles de « cointégration »

Coefficients estimés des relations de cointégration de Phase 2 (2008-2011)

	Charbon	Gaz naturel	Carbone	Constante
Allemagne	0,1280* (1,7044)	0,1728** (2,3479)	0,4036*** (8,1995)	1,7624*** (9,7307)
France	0,2236** (2,2014)	-0,0103 (0,1039)	0,5278*** (7,9187)	1,6047*** (6,5447)
Royaume-Uni été	0,1265** (2,3948)	0,4714*** (10,6919)	0,4170*** (12,1760)	0,3661*** (3,1088)
Royaume-Uni hiver	0,0451 (0,9441)	0,6298*** (13,8959)	0,3584*** (9,5572)	0,2446** (2,2546)

- Les différences de coefficients reflètent les spécificités des systèmes électriques représentés, en particulier la diversité des mix de production
- L'élasticité des prix de l'électricité au prix du carbone est comprise entre 36% et 53%
- Le taux de répercussion du coût du CO₂ est le plus élevé en France, où l'essentiel du parc de production est non émetteur

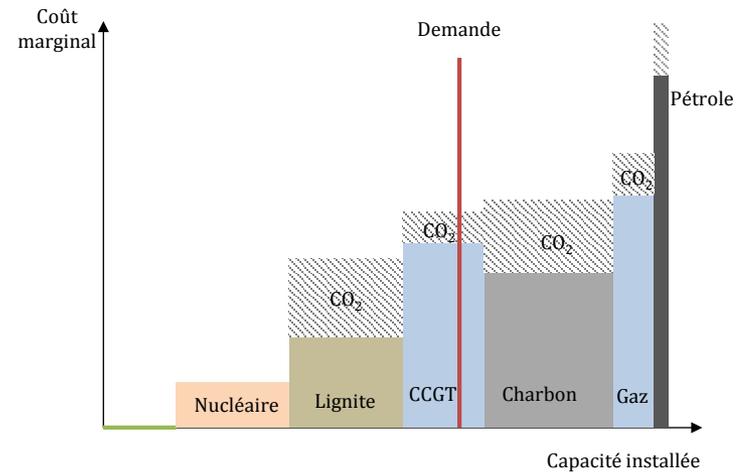
Plan de la thèse

- I. L'introduction d'un prix du carbone sur les marchés de l'électricité en Europe
- II. L'influence du prix du carbone sur les prix de l'électricité
- III. L'impact du prix du carbone sur le mix technologique de production et les émissions de CO₂
- IV. Les effets distributifs du prix du carbone sur le secteur électrique : la rente carbone

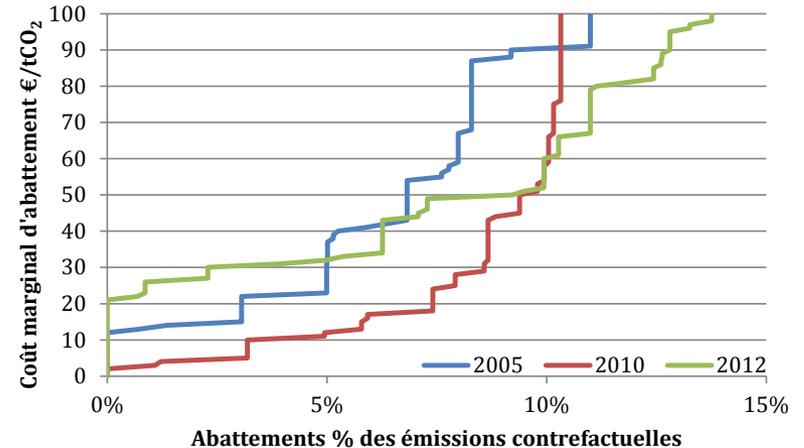
III – Approche et apports du modèle ZEPHYR-Elec

- Modèle de simulation de l'équilibre offre/demande d'électricité
- Intègre la dynamique de court terme du secteur électrique
- Reconstitution des émissions en l'absence de politique climatique
- Coûts marginaux d'abattement varient dans le temps (heures/jours/années) et entre les pays
- Potentiel d'abattement plus faible que dans la littérature

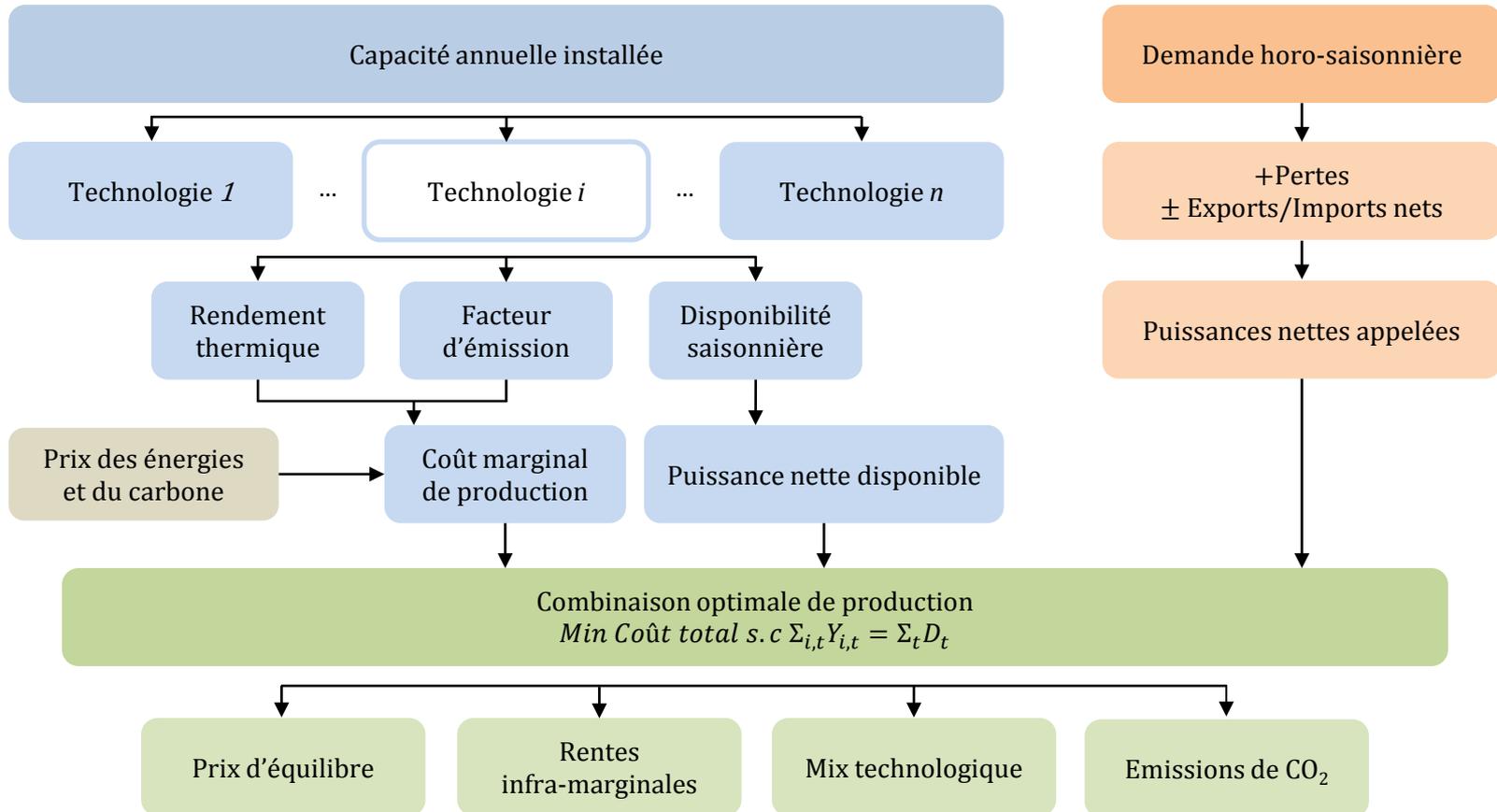
Ordre de mérite du secteur électrique



Courbes de coût marginal d'abattement (UE 4)

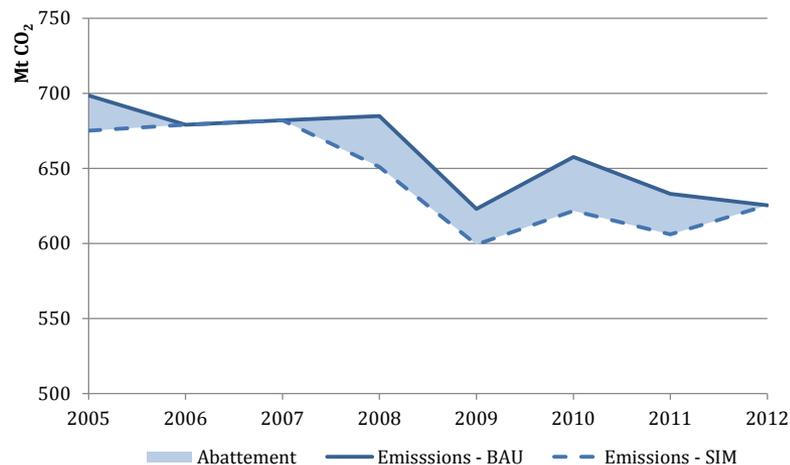


III - Structure du modèle ZEPHYR-Elec

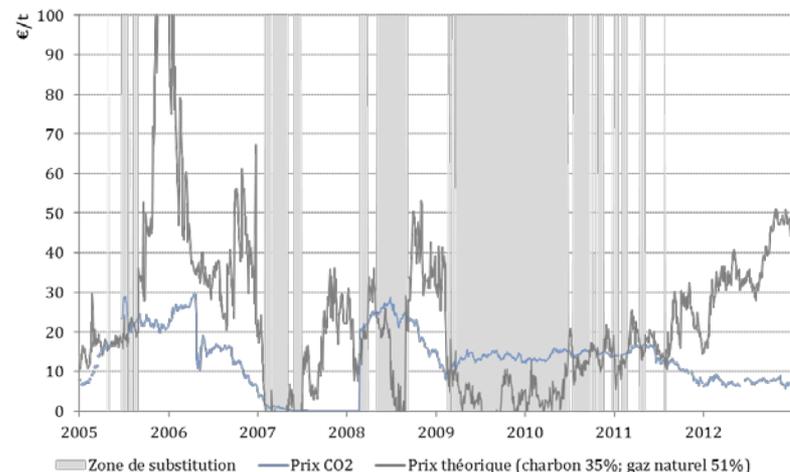


III – Résultats de simulations : Abattements

Abattements absolus (UE 4 - Mt CO₂)



Prix théorique de substitution gaz-charbon



- Abattements représentent au total 1% des émissions contrefactuelles de Phase 1, 4% de celles de Phase 2.
- Essentiellement des substitutions de type CCGT-charbon
- Relativement plus importants au Royaume-Uni et en Allemagne
- Depuis mi-2011, le prix du carbone ne permet plus de compenser le différentiel de prix gaz-charbon : plus d'abattements à court terme

Plan de la thèse

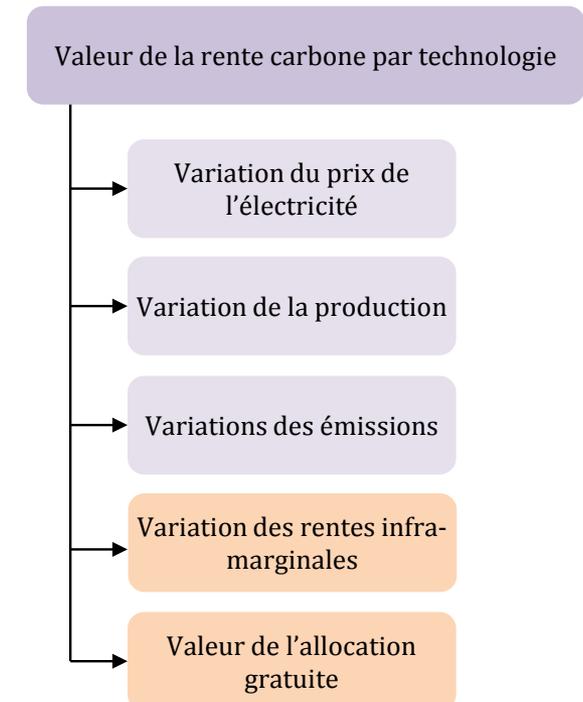
- I. L'introduction d'un prix du carbone sur les marchés de l'électricité en Europe
- II. L'influence du prix du carbone sur les prix de l'électricité
- III. L'impact du prix du carbone sur le mix technologique de production et les émissions de CO₂
- IV. Les effets distributifs du prix du carbone sur le secteur électrique : la rente carbone

IV – Les effets distributifs du prix du carbone

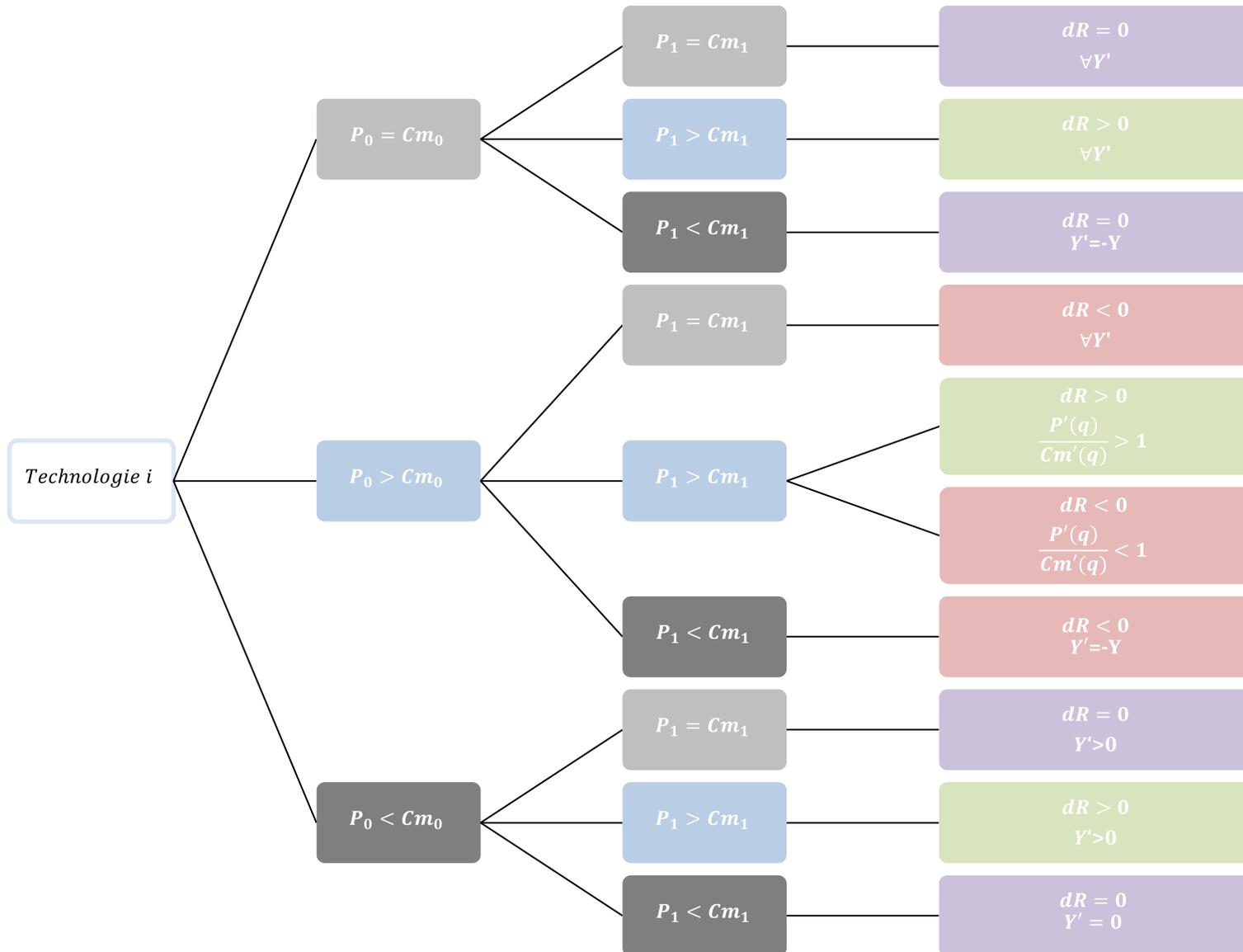
- A l'origine de débats publics importants centrés sur la question des profits d'aubaine du secteur électrique, liés à la répercussion des coûts en CO₂
- La tarification du carbone favorise la rentabilité à court terme et l'investissement dans les technologies relativement moins émettrices
- Potentiellement une source de revenus complémentaires permettant d'assurer le renouvellement des capacités de production

Approche

- Évaluation *ex-post* de la variation des rentes de gros à partir du modèle ZEPHYR-Elec
- Méthodologie de calcul qui vise à appréhender l'ensemble des effets distributifs
- Double décomposition : 1) effet prix/effet revenu ; 2) rente différentielle/rente de rareté



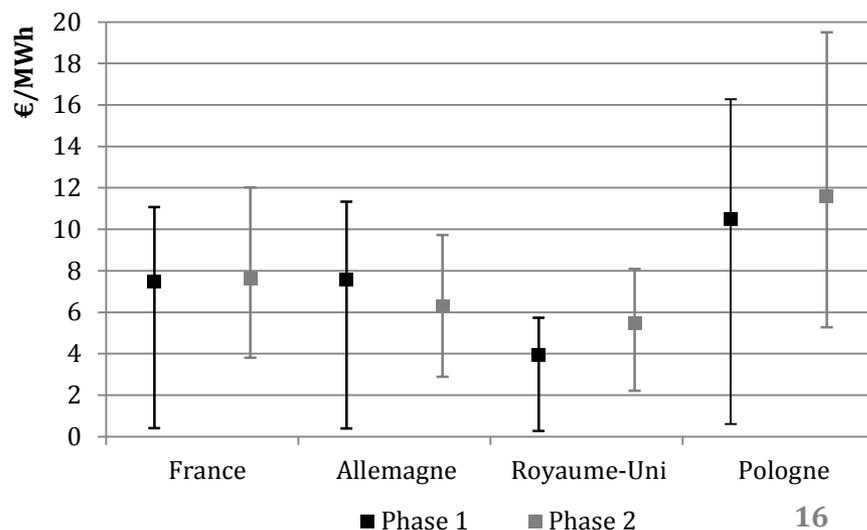
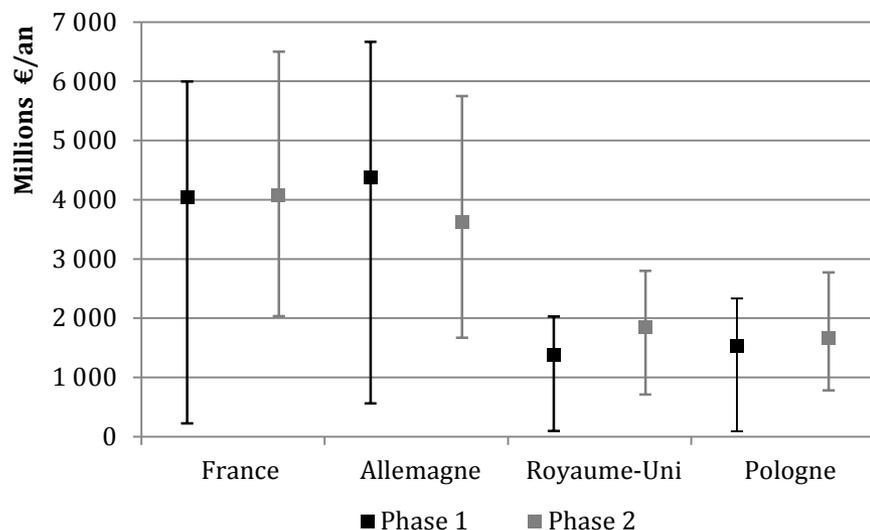
IV – Rentes avec modification de l'ordre de mérite



IV – Résultats de simulations : Rentes carbone

- 11 milliards d'euros en moyenne par an entre 2005 et 2012 (UE 4), plus de 60% provient de l'allocation gratuite des quotas
- Seules les technologies les plus fortement émettrices (lignite, charbon) voient leur rente se réduire, hors allocation gratuite
- Différences en valeurs absolues entre les pays résultent des différences d'allocation, de marginalité des technologies, de taille de marché

Valeurs moyennes, minimales et maximales des rentes carbone par pays



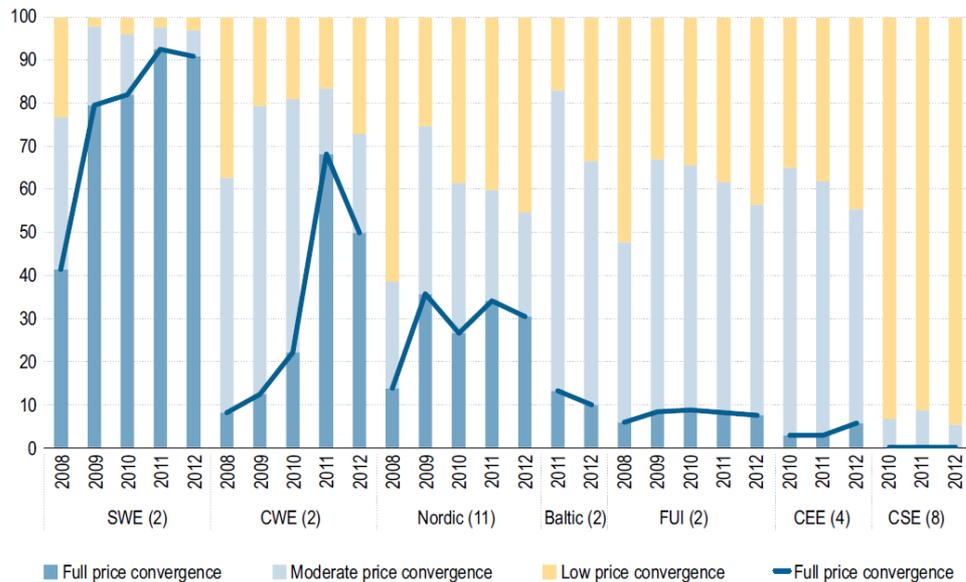
Conclusion

- L'introduction d'un signal-prix du carbone correctement transmis sur les marchés électriques induit des redistributions entre opérateurs
- Ces revenus additionnels constituent une incitation à réduire les émissions à la fois à court terme et à long terme
- Le prix du carbone est actuellement trop faible et ne semble jouer plus qu'un rôle résiduel sur les marchés électriques
- Requiert de traiter conjointement les deux marchés pour garantir des trajectoires d'émissions compatibles avec les objectifs de décarbonation
- Nécessite des travaux additionnels :
 - Lien entre prix de gros et prix de détail, élément déterminant du partage de la rente carbone et d'efficacité des marchés
 - Endogénéisation de l'investissement, les réductions d'émissions à long terme étant conditionnées par les choix d'investissements futurs

Travaux publiés

- « Short-term emissions reductions in the electricity sector ». *Climate economics in progress*, Chapter 2, 2013 edition.
- « An overview of CO₂ cost pass-through to electricity prices in Europe », (avec P-A. Jouvét). *Energy Policy* 61, pp. 1370-1376, October 2013.
- « The European market on the road to Phase 3 », (avec R. Trotignon). in: De Perthuis, C. and Jouvét, P-A. (eds), *Climate economics in progress*, Chapter 2, Economica, 2011 edition.
- « Electricity and carbon pricing in Europe », in: De Perthuis, C. and Jouvét, P-A. (eds), *Climate economics in progress*, Chapter 4, Economica, 2011 edition.
- «Le prix du carbone, catalyseur d'une nouvelle croissance », (avec C. de Perthuis), *Le financement de la croissance verte*. Conseil Economique pour le Développement Durable, Janvier 2011.
- « La réforme du marché de l'électricité français : quels impacts pour la tarification et la concurrence ? » Université Paris-Dauphine, *Programme de recherche en économie du climat*, Cahiers Information et débats 4, Mai 2010.

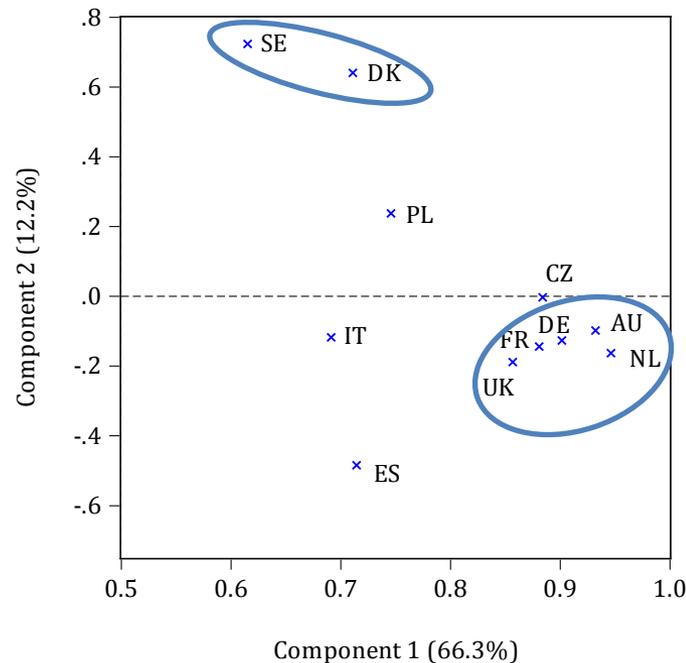
1 - Convergence des prix de l'électricité en Europe



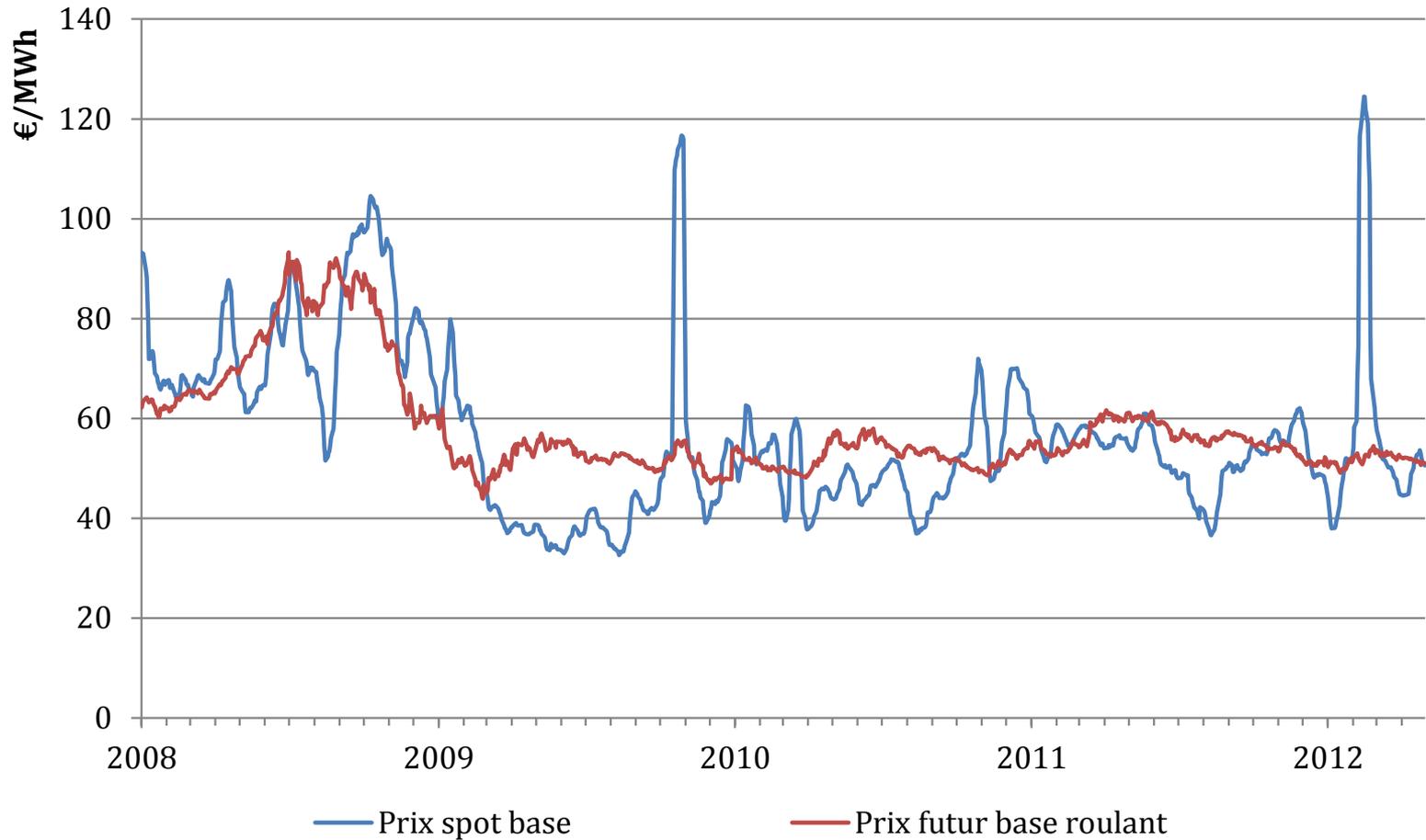
Source : ACER/CEER (2013)

Projections des prix de l'électricité sur les deux premières composantes principales

Taux de convergence des prix de l'électricité (2008-2012)



2 - Relation entre les prix spot et futurs de l'électricité en France en Phase 2

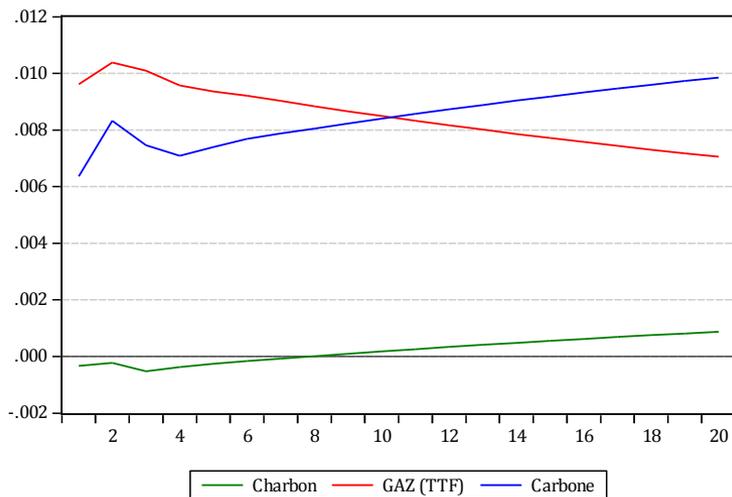


2 – Tests de causalité de Granger (probabilités)

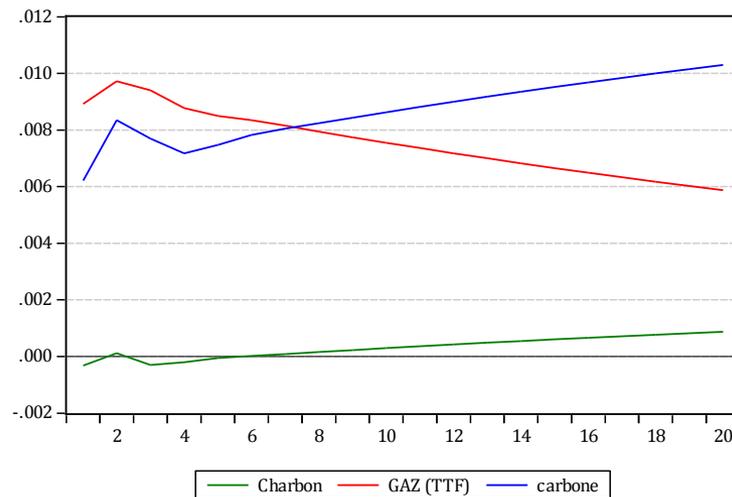
	$\Delta Electricité$	$\Delta Charbon$	ΔGaz	$\Delta Carbone$
Allemagne (2 retards)				
$\Delta Electricité$	—	0,0000***	0,0648*	0,0358**
$\Delta Charbon$	0,3171	—	0,5396	0,794
ΔGaz	0,8528	0,7969	—	0,7912
$\Delta Carbone$	0,0005***	0,0000***	0,2575	—
France (2 retards)				
$\Delta Electricité$	—	0,0000***	0,0098***	0,2262
$\Delta Charbon$	0,0969*	—	0,5373	0,7366
ΔGaz	0,4409	0,0382**	—	0,9357
$\Delta carbone$	0,0005***	0,0000***	0,3097	—
Royaume-Uni Eté (3 retards)				
$\Delta Electricité$	—	0,0000***	0,0000***	0,3123
$\Delta Charbon$	0,0373**	—	0,3057	0,0097***
ΔGaz	0,0571*	0,0006***	—	0,4547
$\Delta Carbone$	0,0022***	0,0000***	0,0003***	—
Royaume-Uni Hiver (2 retards)				
$\Delta Electricité$	—	0,0000***	0,3434	0,0290**
$\Delta Charbon$	0,6368	—	0,8545	0,2936
ΔGaz	0,0828*	0,0000***	—	0,0053***
$\Delta Carbone$	0,0145**	0,0000***	0,6241	—

3 – Fonctions de réponses impulsionnelles

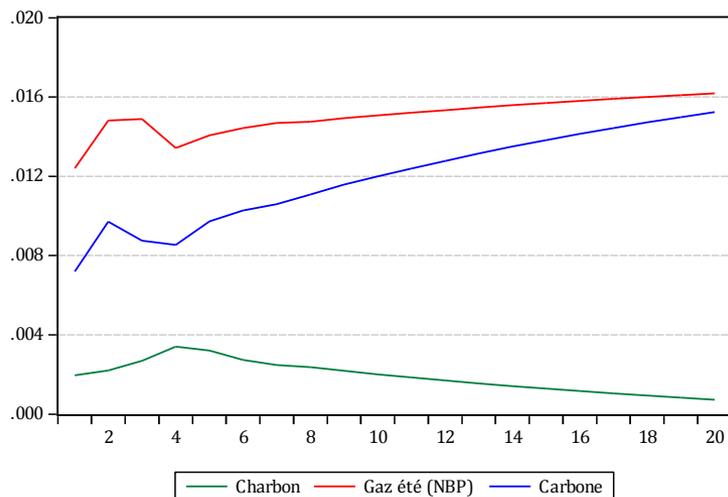
ALLEMAGNE



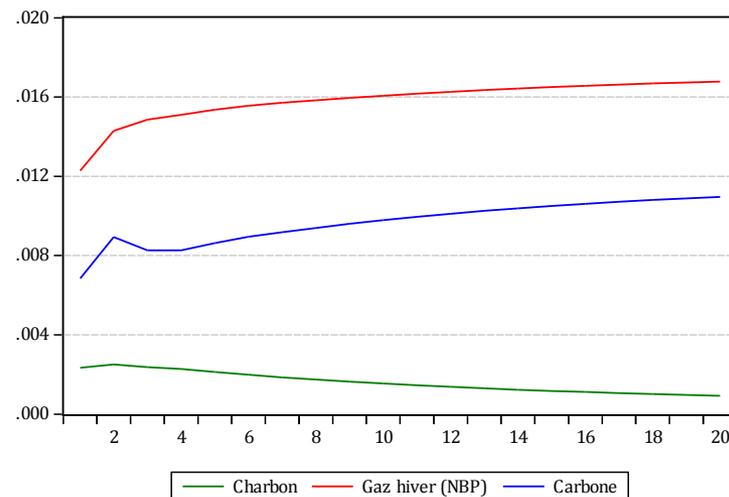
FRANCE



ROYAUME-UNI Eté

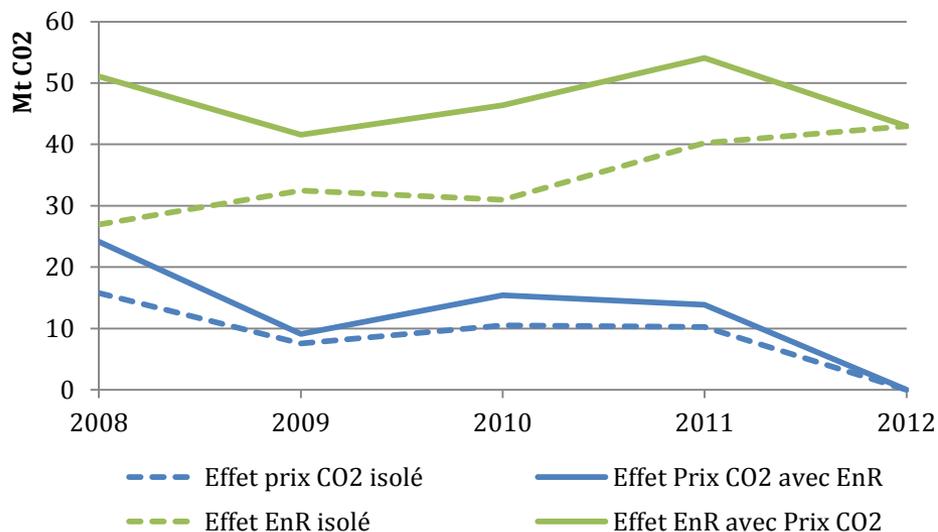


ROYAUME-UNI Hiver



4 - Interactions entre prix du carbone et production renouvelable en Allemagne

Réductions d'émission annuelles



Impacts sur le prix de l'électricité

