

TSE FORUM ÉNERGIE ET CLIMAT

Paris

28 septembre 2018



@TSEinfo

Quelle est la source d'énergie du futur ?

hydrogene solaire eolien hydroge
hydrogène
nuclear fusion eau fusion nucleaire
eau de toutes sortes électricité
fusion nucléaire

Vivre avec une énergie intermittente

Stefan Ambec

Toulouse School of Economics - INRA

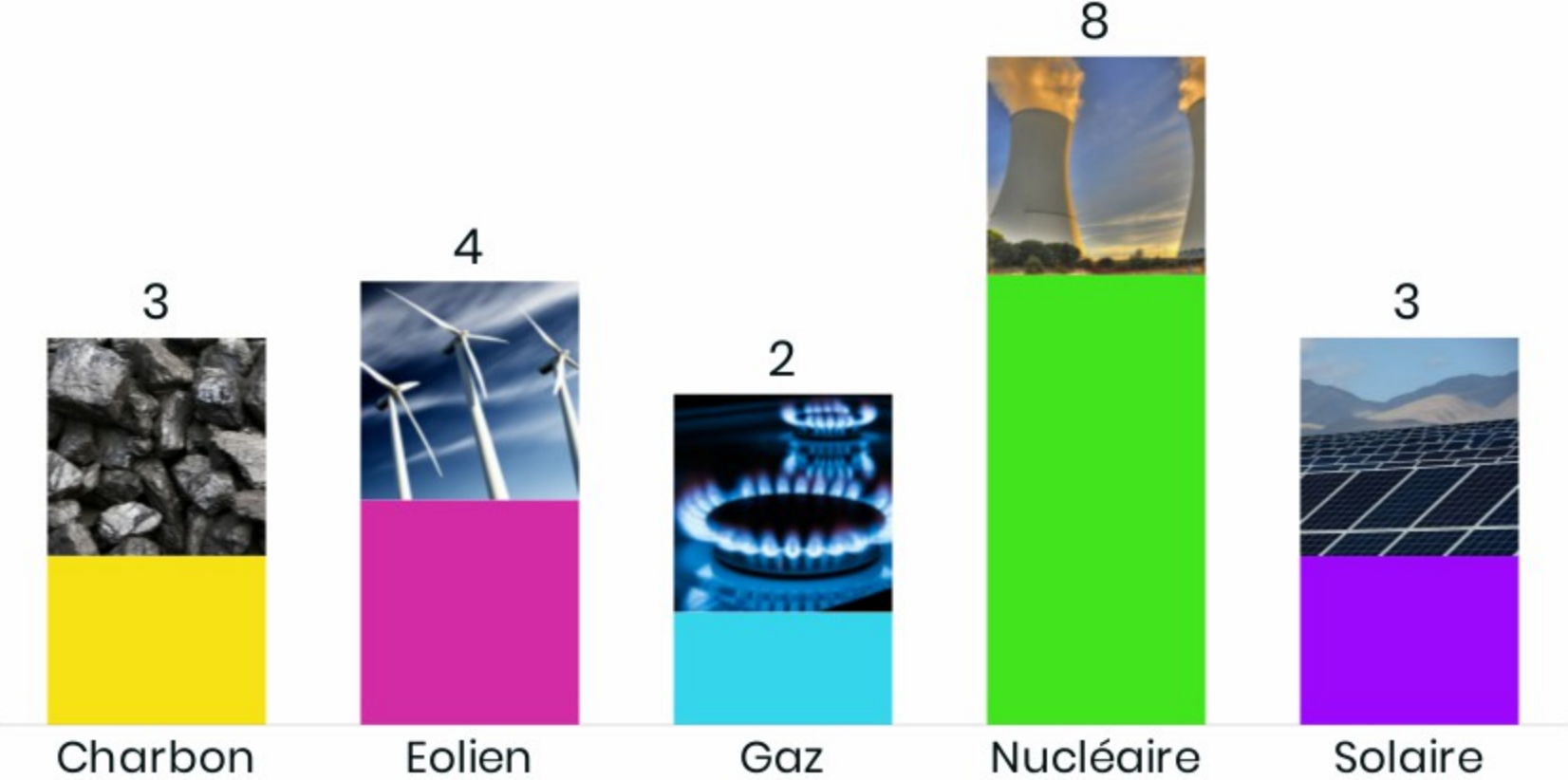
Paris
28 septembre 2018



Toulouse
School
of Economics

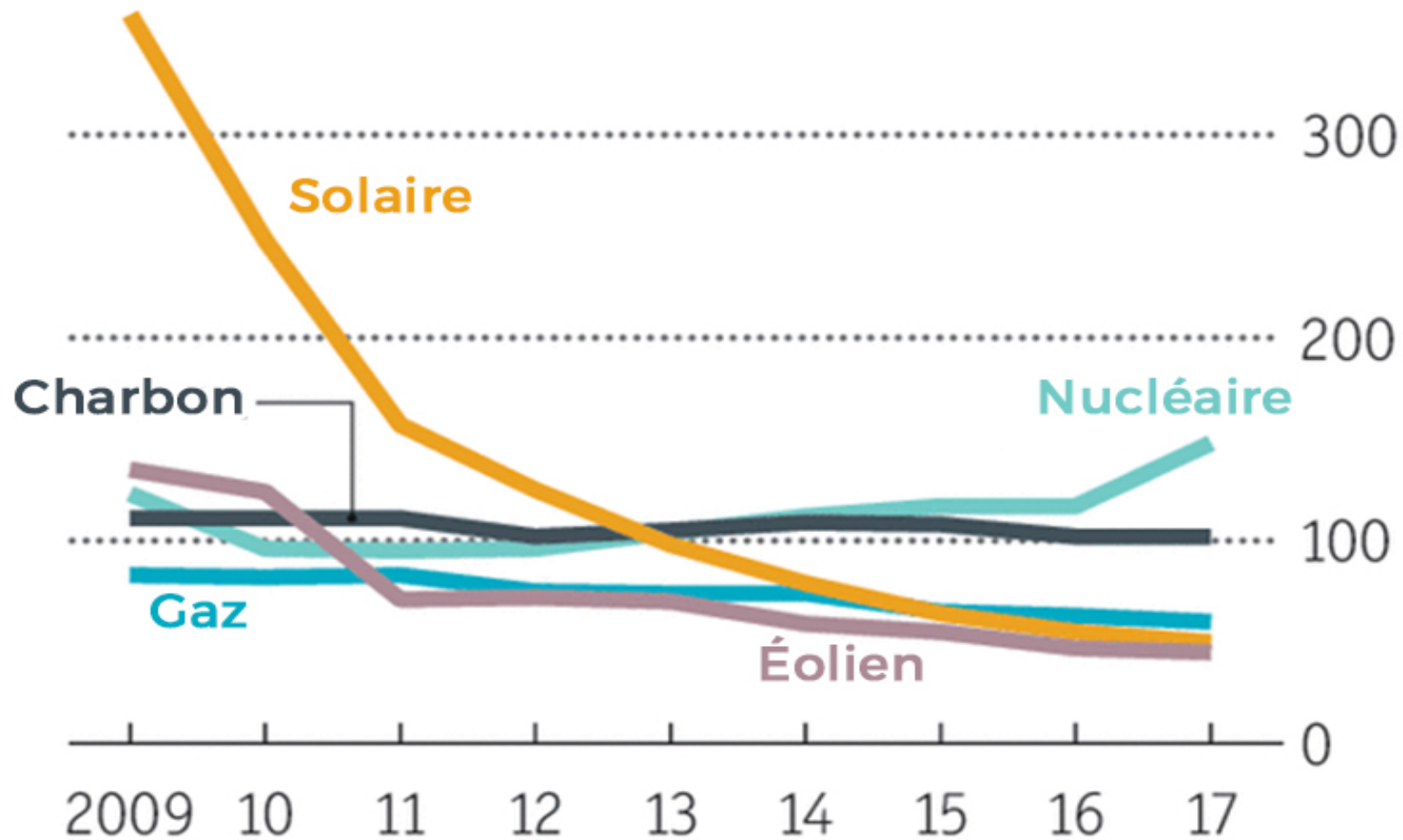
Energy &
Climate Center

Quelle source d'énergie est la plus coûteuse aujourd'hui ?



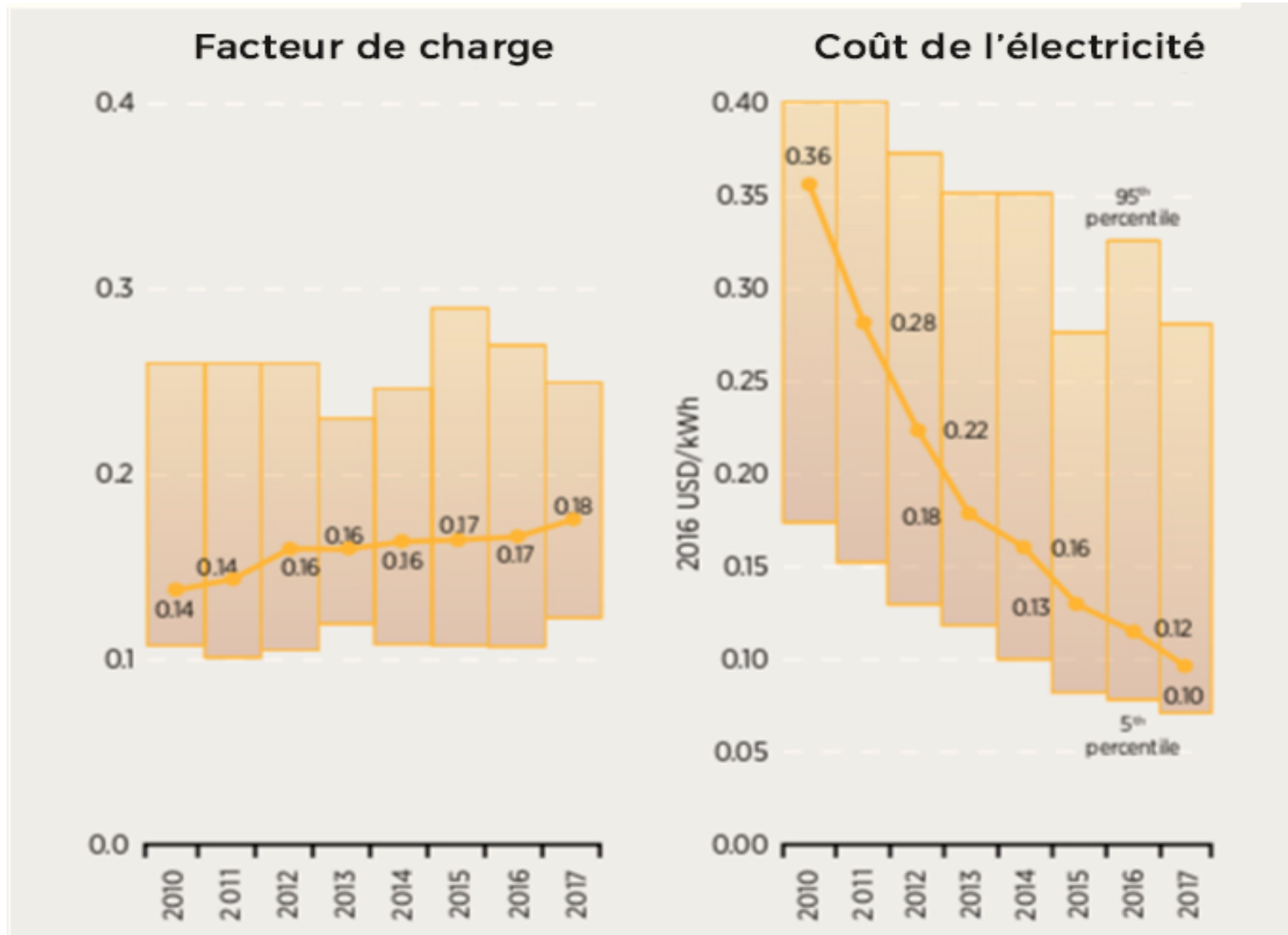
Solaire et éolien : des sources d'énergie de plus en plus compétitives

Coût moyen du MWh en \$ en Amérique du Nord selon la source d'énergie

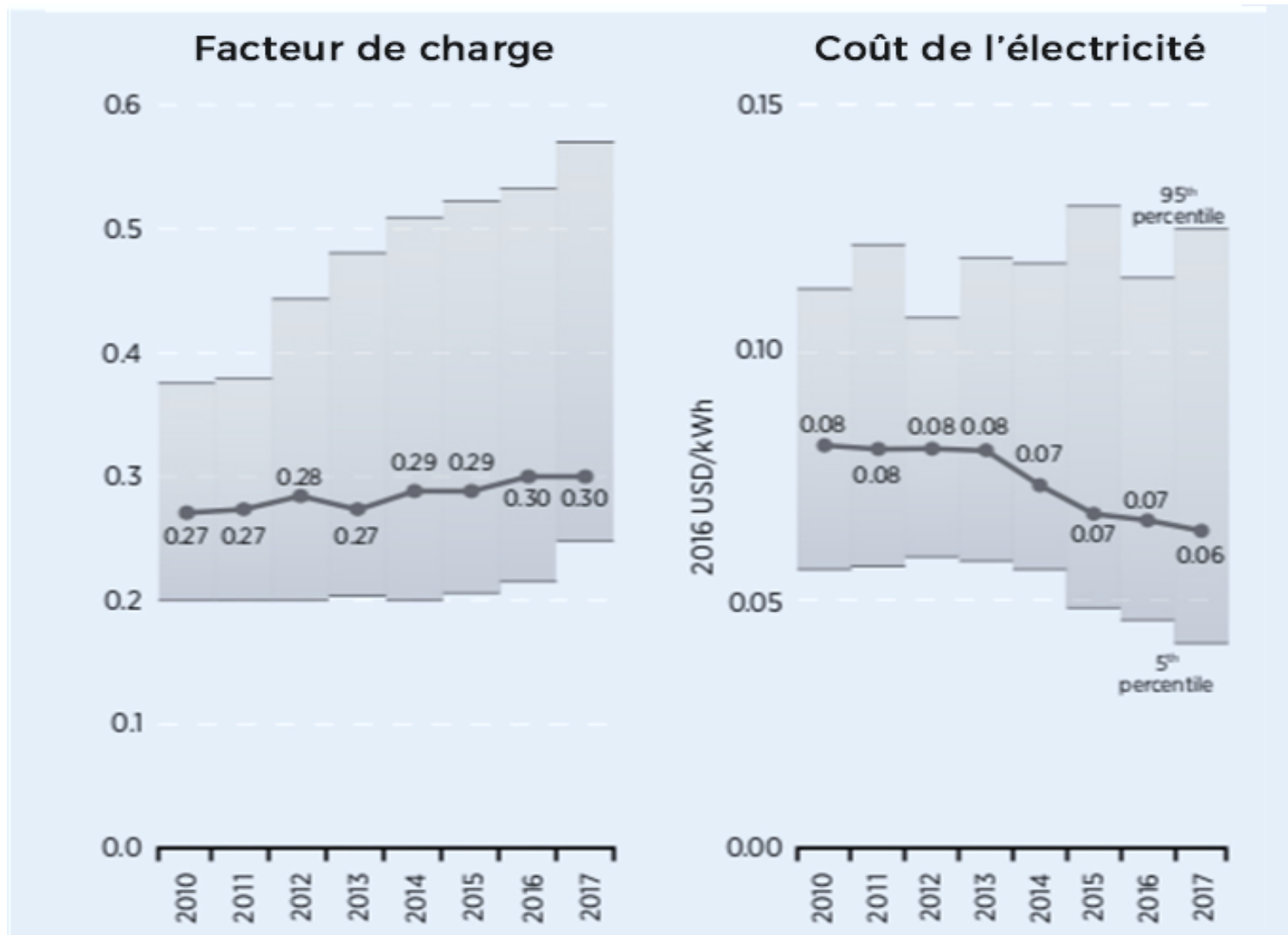


Source: Lazard, levelised cost of energy analysis

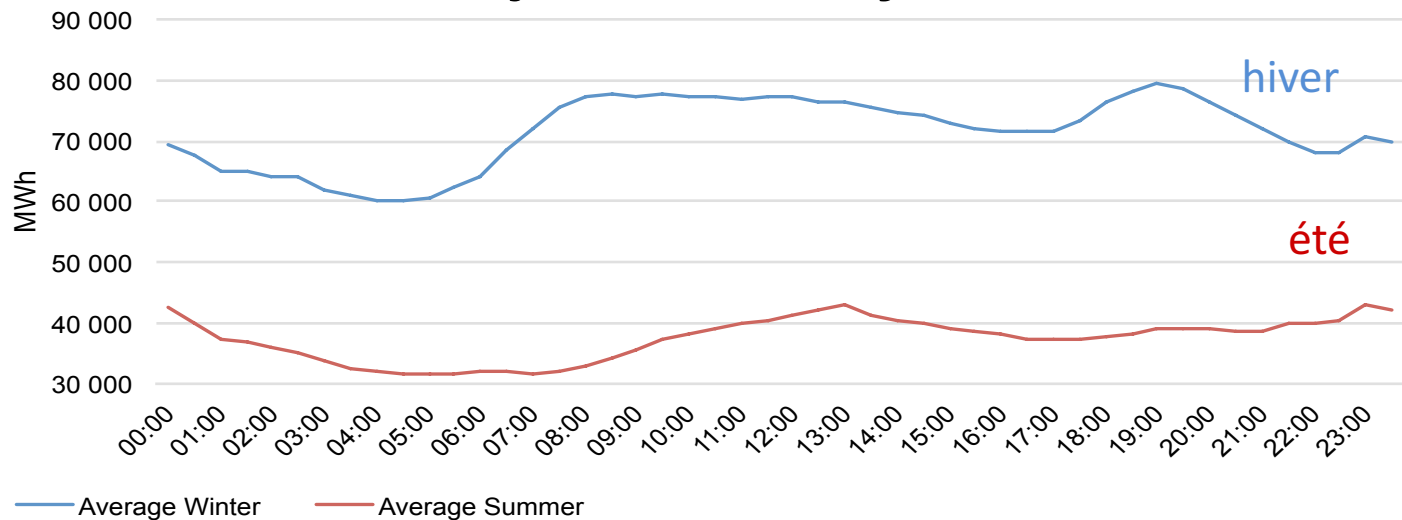
Solaire : facteur de charge et coût par kWh (source IRENA)



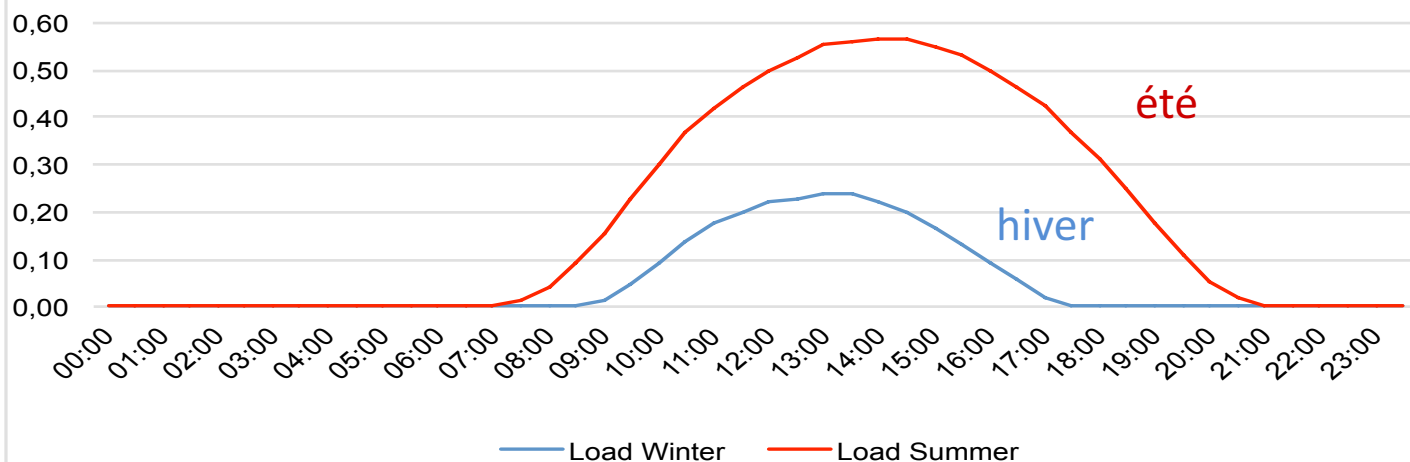
Eolien terrestre : facteur de charge et coût par kWh (source IRENA)



Consommation journalière moyenne en France

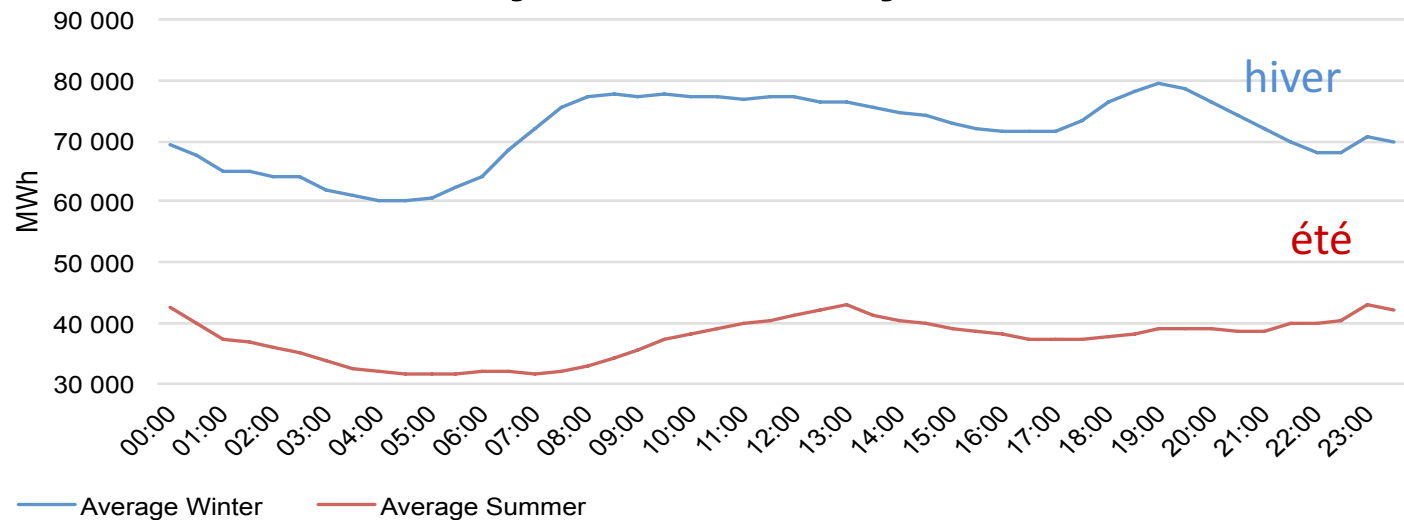


Facteur de charge solaire

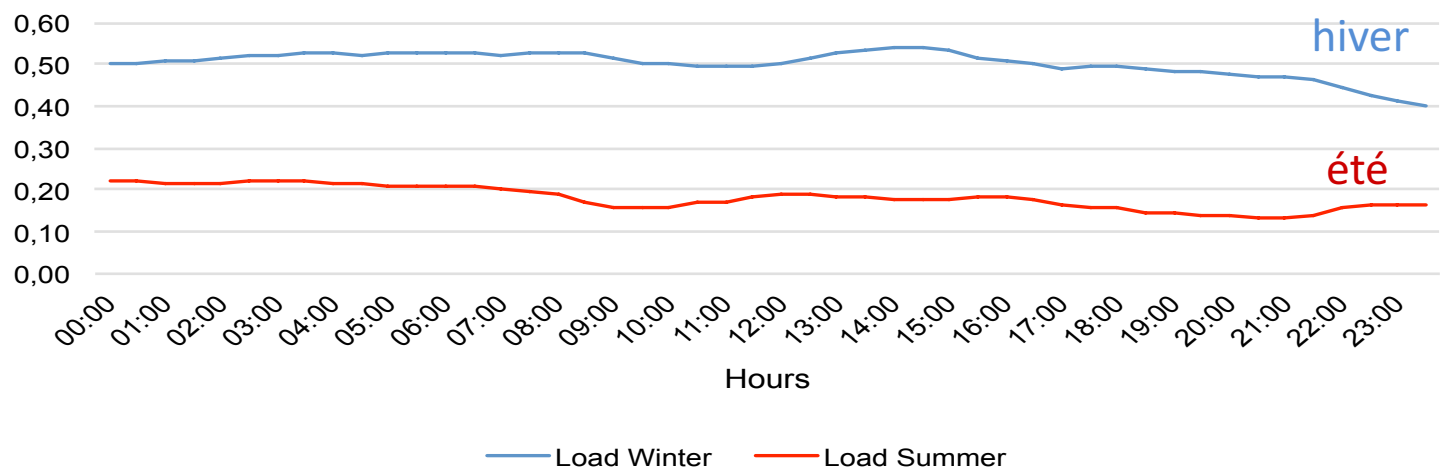


Source: données RTE (Eco2mix) et ENTSO-E 2015-2017

Consommation journalière moyenne en France



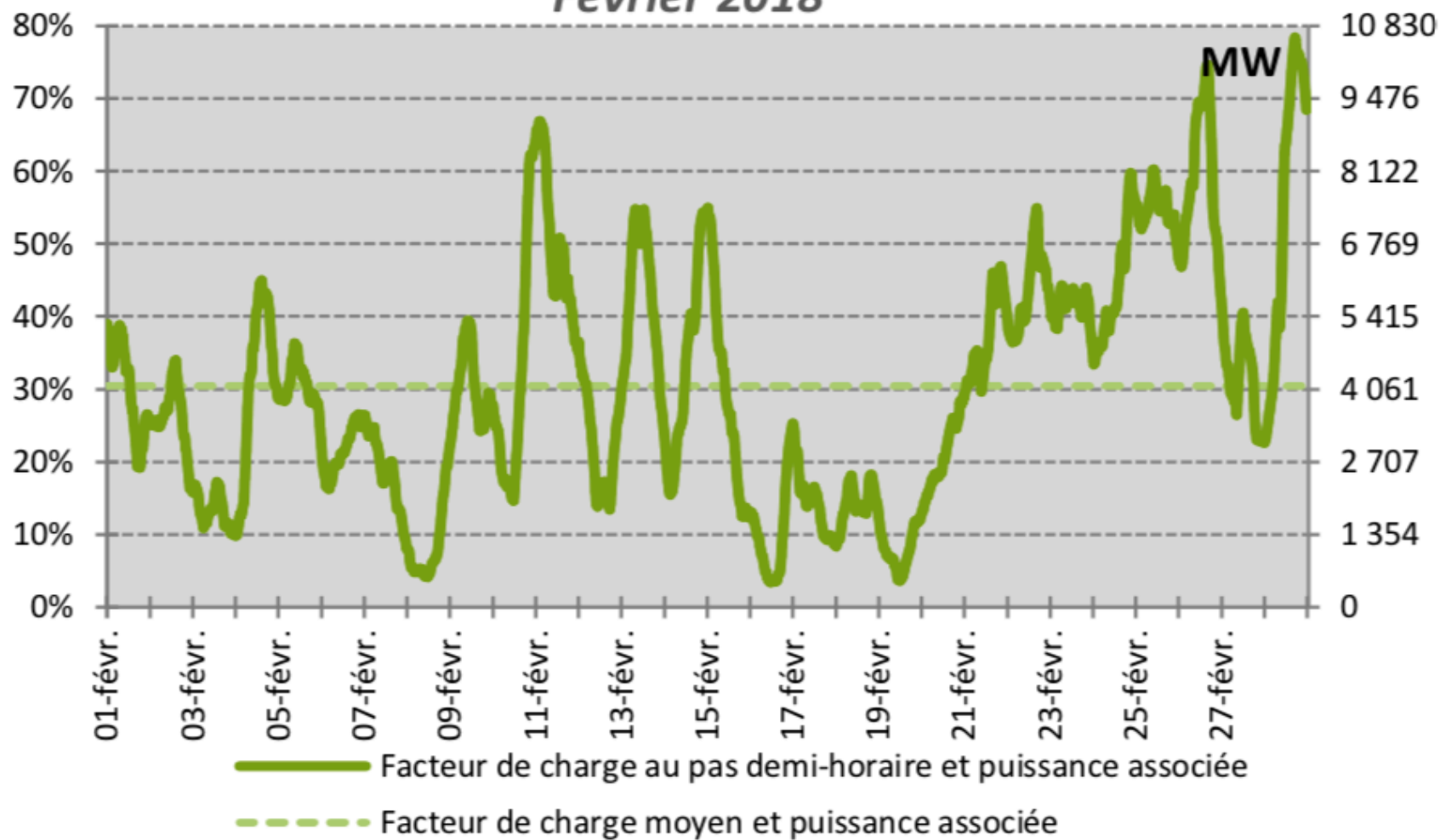
Facteur de charge éolien



Source: données RTE (Eco2mix) et ENTSO-E 2015-2017

Facteur de charge de la production éolienne

Février 2018



Source: données RTE (Eco2mix)



En résumé ..

- Le coût moyen par MWh ne reflète pas entièrement la compétitivité des énergies éoliennes et solaires
- Le facteur de charge est très variable
- Élément clé : disponibilité de l'énergie éolienne et solaire par rapport à la demande
- La pénétration des énergies renouvelables intermittentes nous oblige à repenser l'organisation de la production et de la fourniture d'électricité

Impact de l'intermittence des renouvelables sur :

- ✓ Le mix énergétique optimal (back-up, stockage)
- ✓ La conception des politiques énergétiques et environnementales
- ✓ Les marchés de l'électricité
- ✓ La gestion de la demande
- ✓ La concurrence

Un cadre analytique avec énergie intermittente 1/2

Côté offre

Energie	Capacité	Production	Coût énergie	Coût capacité	Coût social du carbone
Thermique	K_f	$q_f \leq K_f$	c	r_f	δ
Renouvelable	K_i	K_i si <i>vent</i> 0 si <i>pétrole</i>	0	$\frac{r_i}{v}$	0
Stockage	K_s	Transfert d'électricité de <i>vent</i> à <i>pétrole</i>	λ	r_s	0

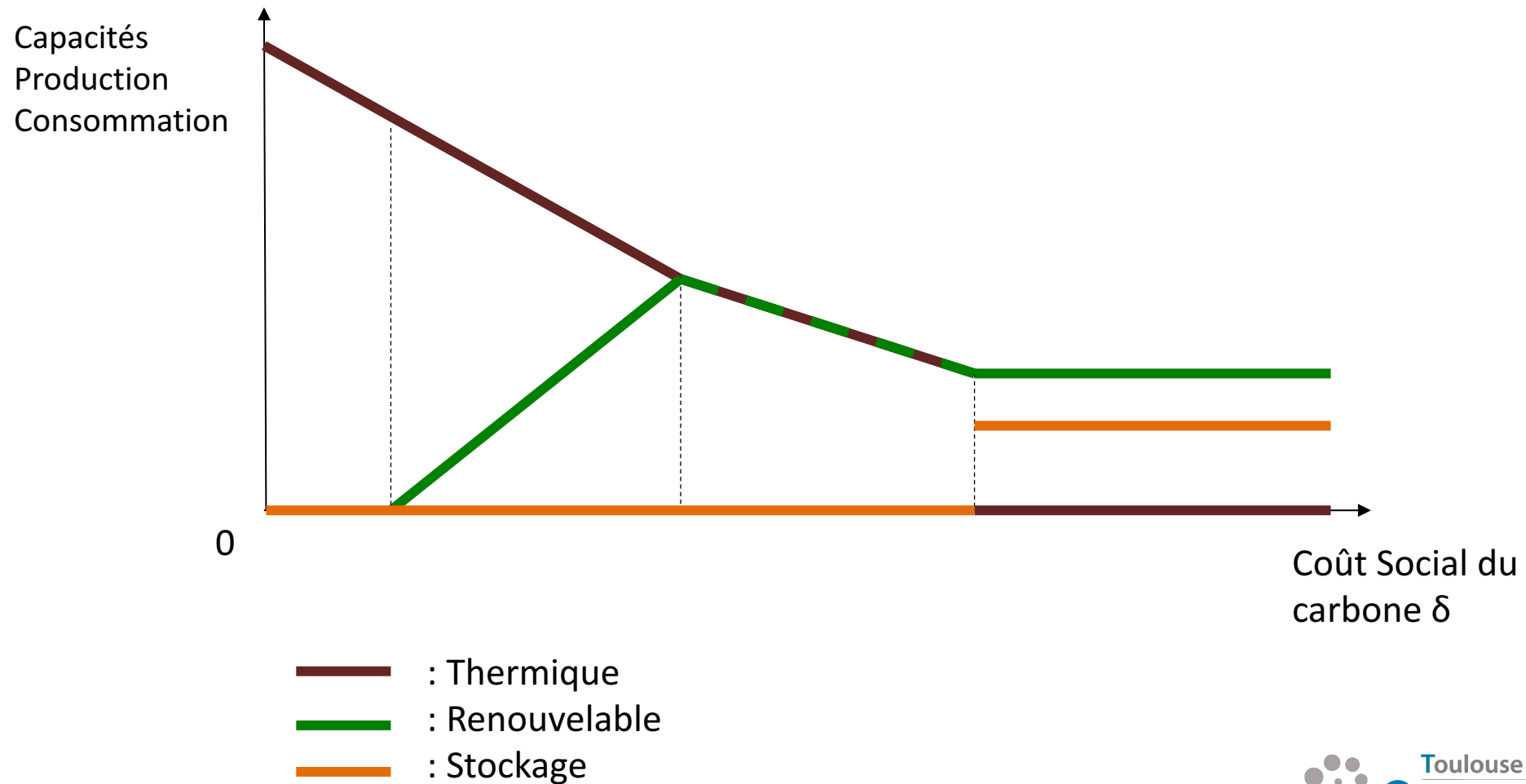
v : probabilité de *vent*,

$1-v$: probabilité de *pétrole*

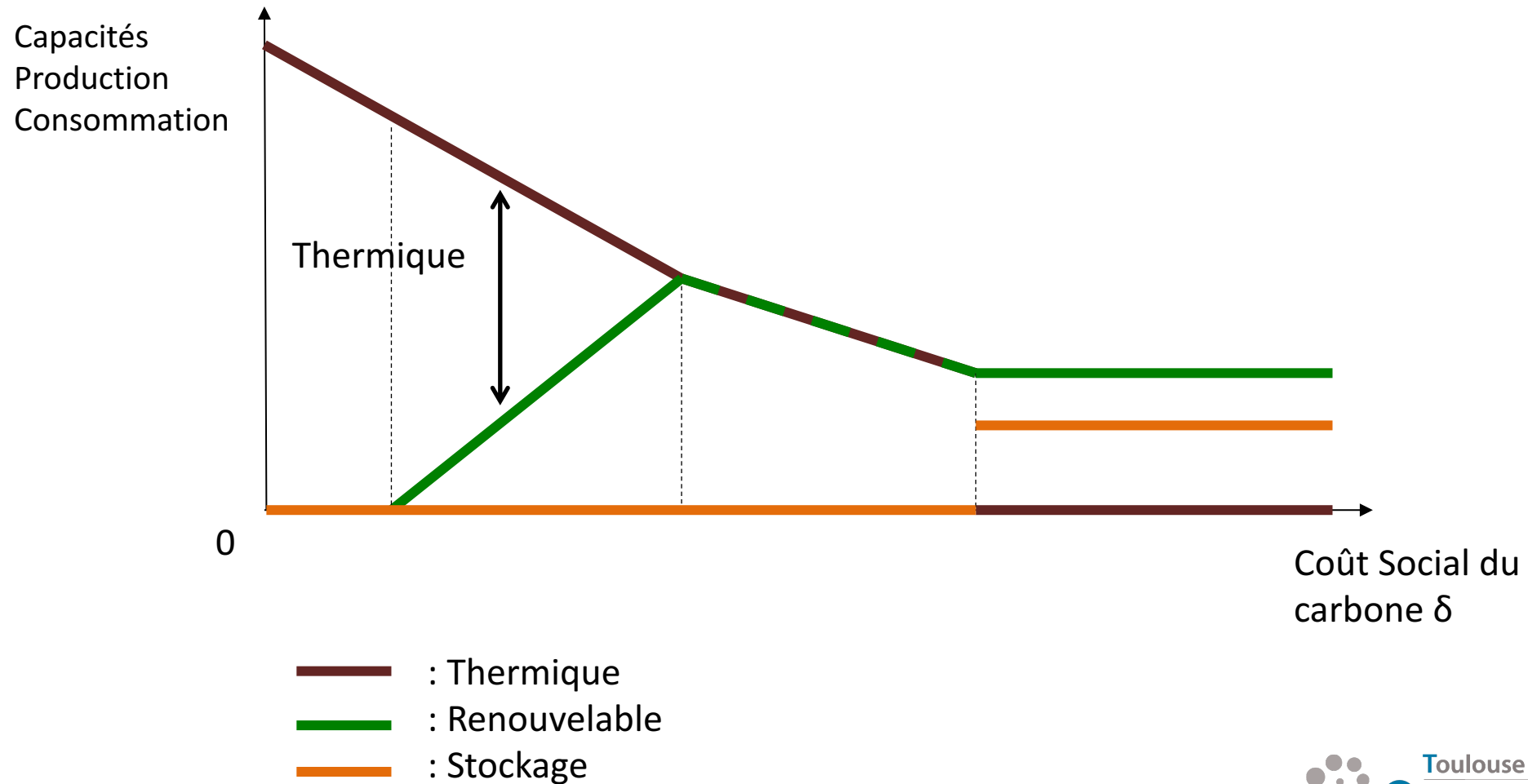
Côté demande

- Prix sur les marchés de l'électricité fluctuent selon si *vent* ou *pétrole*
- Prix de détail invariant
- Même consommation si *vent* et *pétrole* (pas de coupure)
 - ➔ Besoin de back up ou stockage

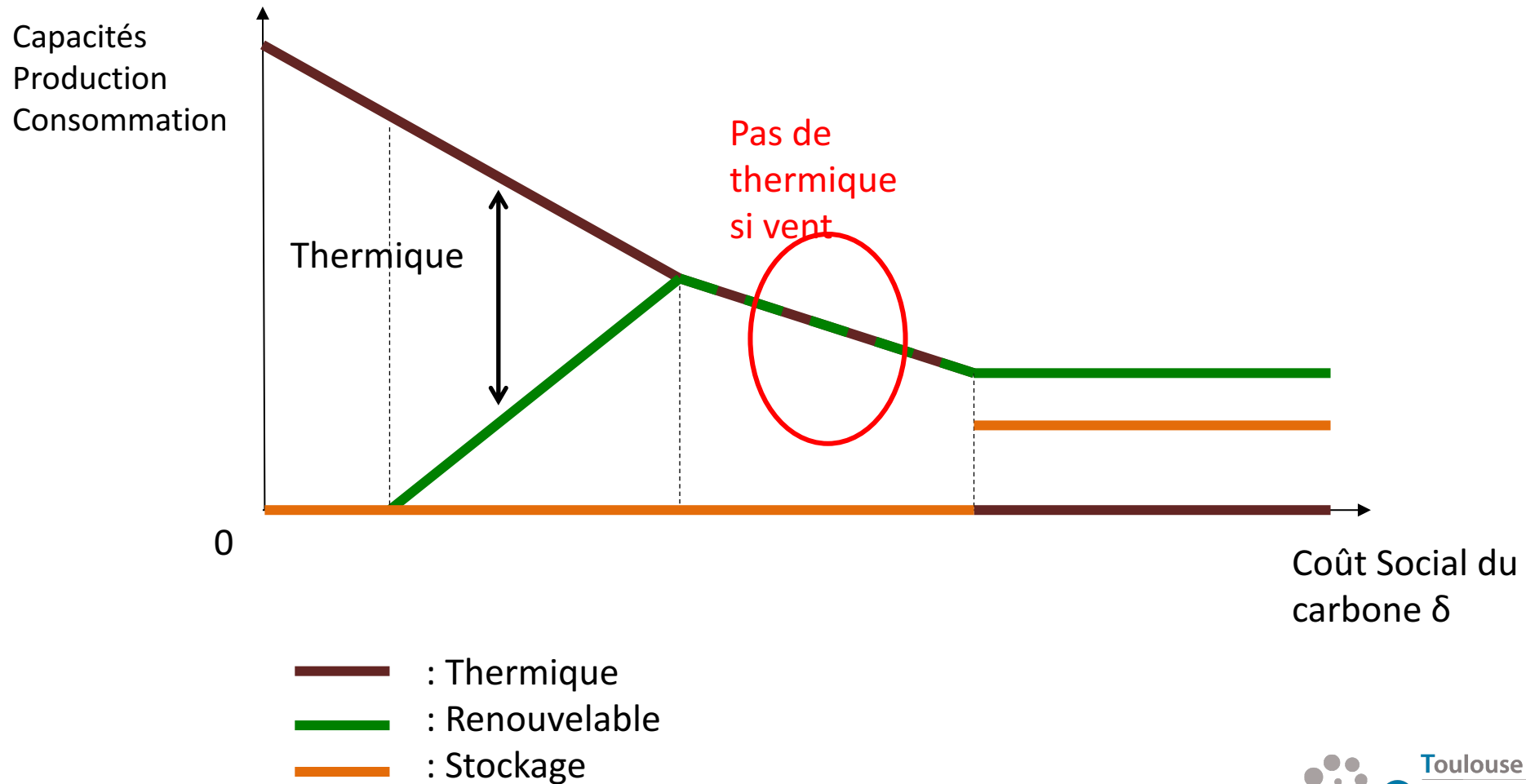
Mix énergétique optimal



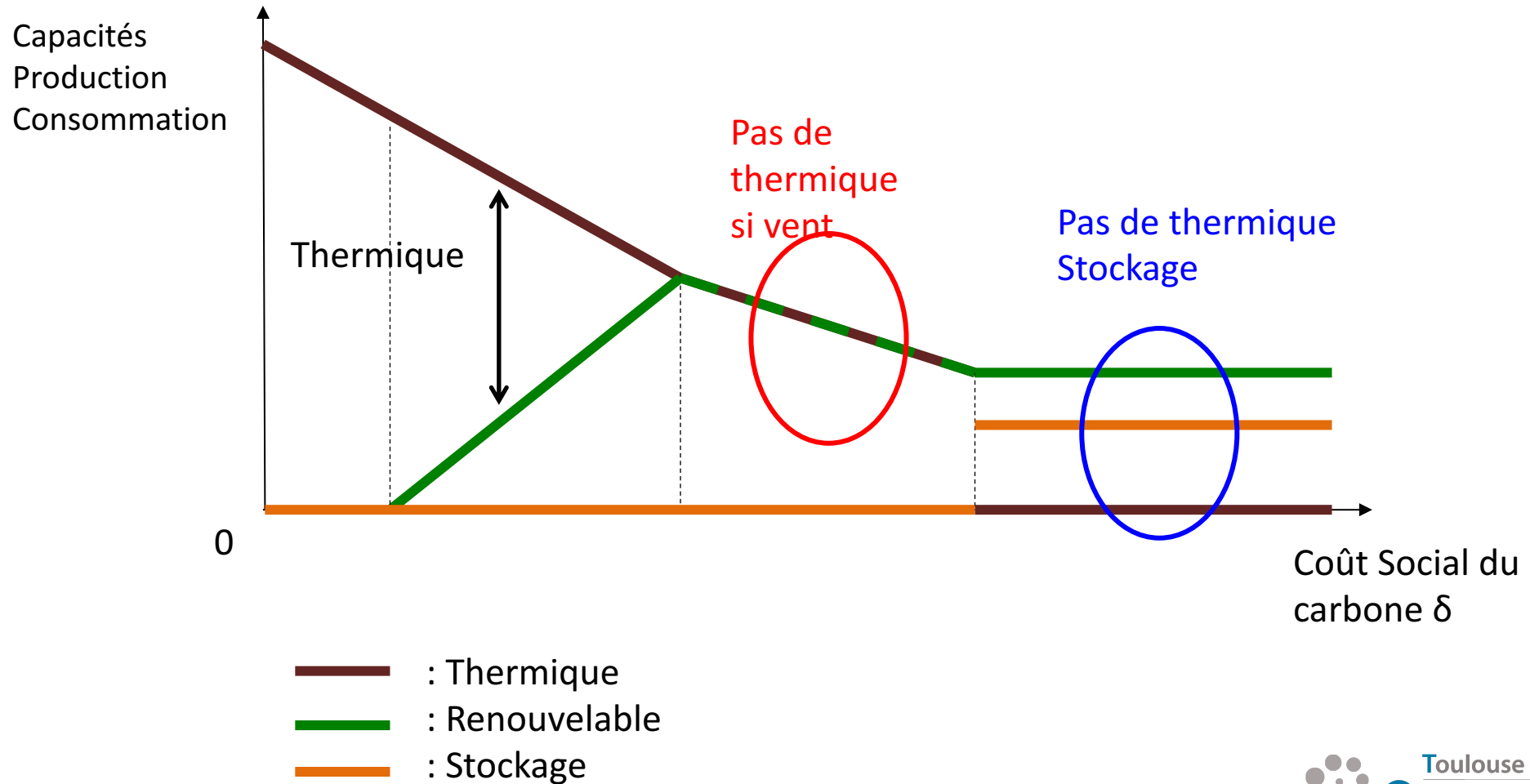
Mix énergétique optimal



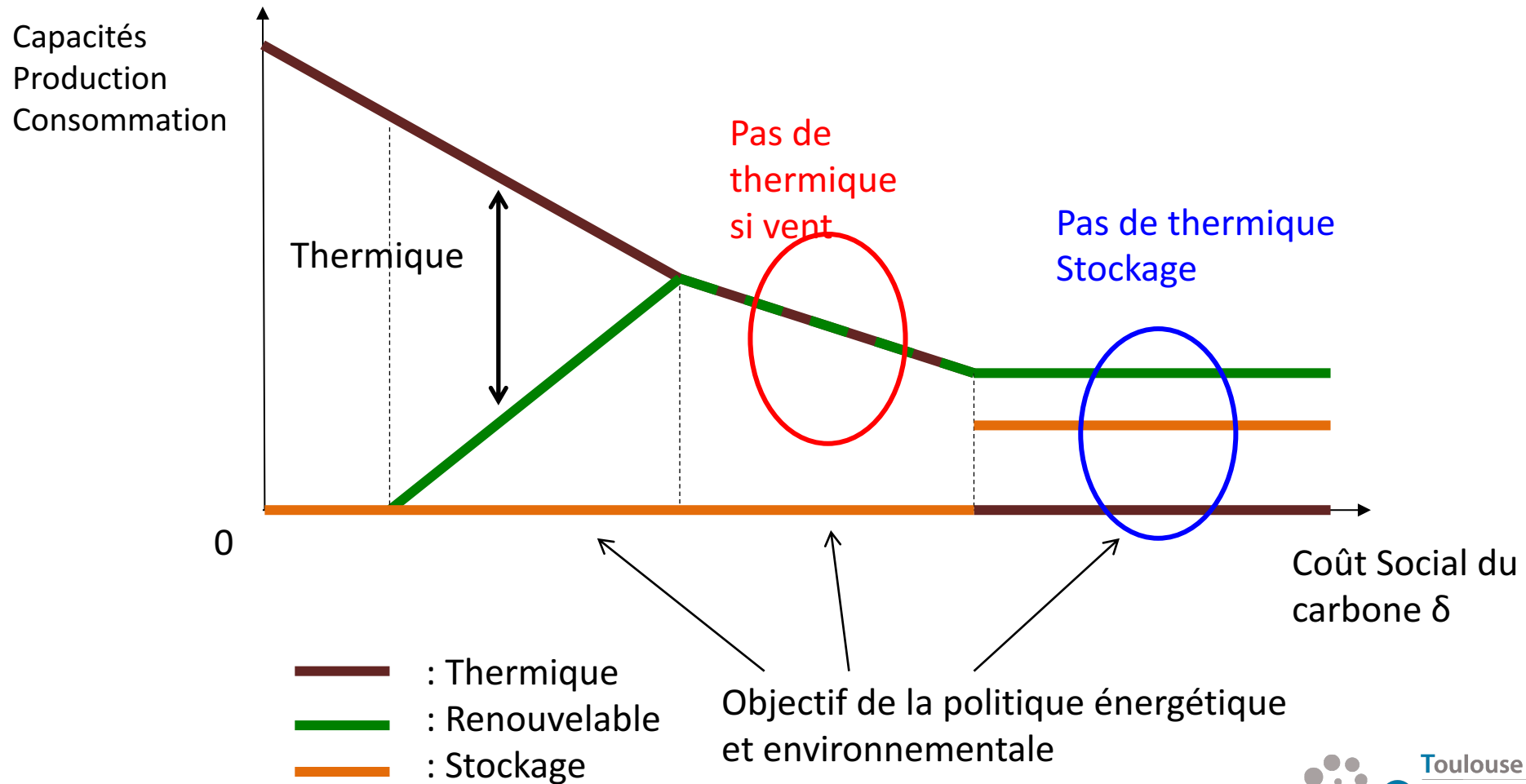
Mix énergétique optimal



Mix énergétique optimal



Mix énergétique optimal





Quelques résultats

- Les investissements dans les énergies thermiques et renouvelables peuvent être substitués ou compléments selon la valeur sociale du carbone
- Subventionner les énergies renouvelables ne suffit pas : génération excessive d'énergie thermique par rapport à l'optimum
- Subvention du stockage de l'énergie



Demande réactive

- Augmentation de la volatilité des prix de gros de l'électricité:
prix si **vent** < prix si **pétrole**
- Effets d'une tarification au prix de marché plutôt que prix fixe sur le bien-être des consommateurs:
 - 1) Aversion à la volatilité des quantités consommées: -
 - 2) Réduction du thermique : +
 - 3) Davantage de renouvelable : -
- Effet net positif quelle que soit l'aversion à la volatilité !

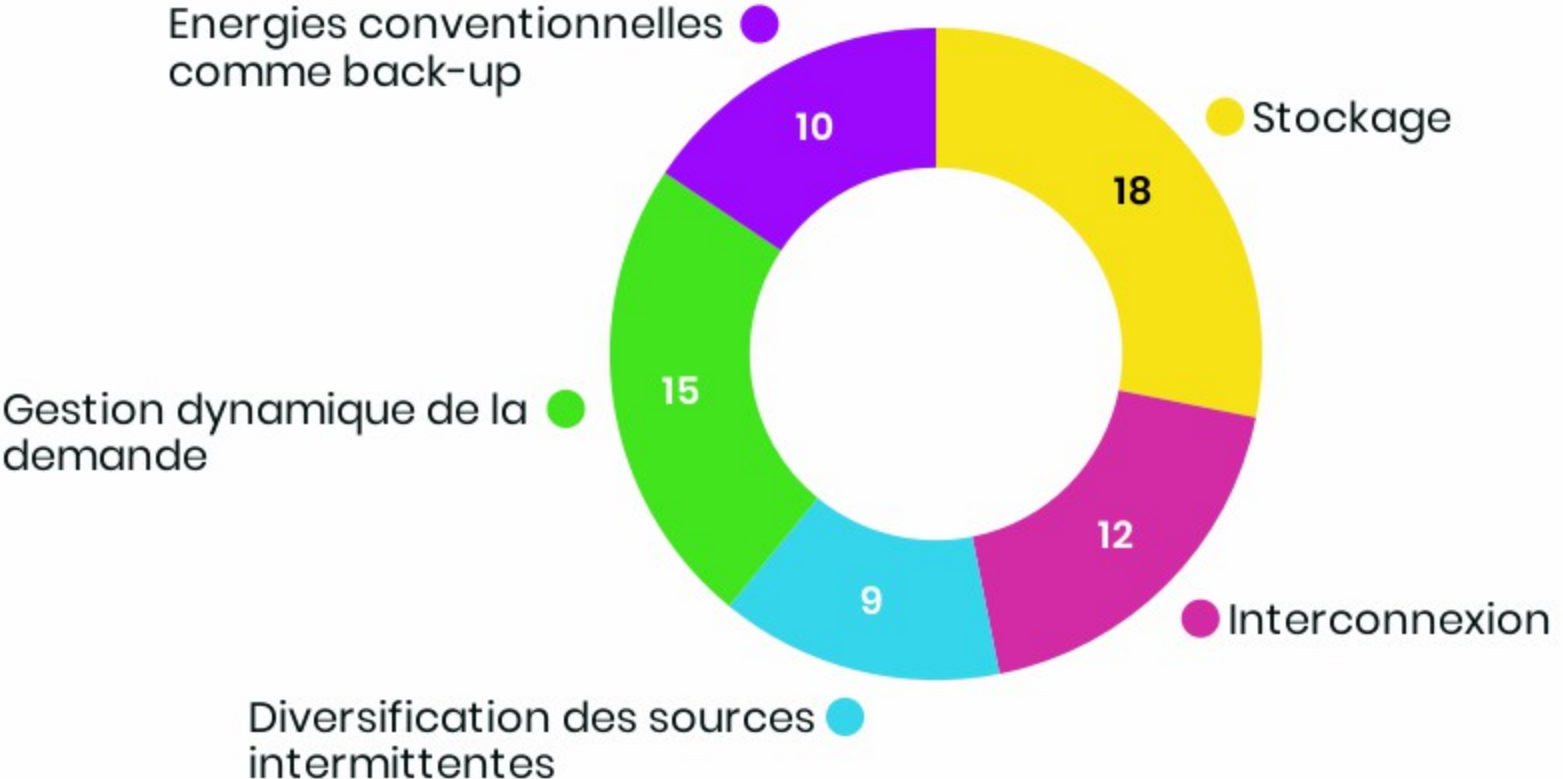
Conclusion

- Nouveaux défis liés à l'intermittence des énergies renouvelables
- Analyse économique permet d'apporter des éclairages sur :
 - l'investissements dans les diverses sources d'énergie, le stockage, le réseau de transport,...
 - le design des politiques publiques énergétiques et environnementales
 - le design des marchés de l'électricité
 - les gains d'une gestion dynamique de la demande

Référence: Ambec et Crampes «Decarbonizing electricity generation with intermittent sources of energy» TSE working paper

<https://www.tse-fr.eu/fr/publications/decarbonizing-electricity-generation-intermittent-sources-energy-0>

Quelles sont les solutions pour s'adapter à l'intermittence des renouvelables ?





Merci pour votre attention

Stefan Ambec

Toulouse School of Economics - INRA

Paris
28 septembre 2018



Energy &
Climate Center

TSE FORUM ÉNERGIE ET CLIMAT

Paris

28 septembre 2018



@TSEinfo

Quel impact des renouvelables sur la compétitivité de l'industrie

Stefan Lamp

Toulouse School of Economics

Paris
28 septembre 2018

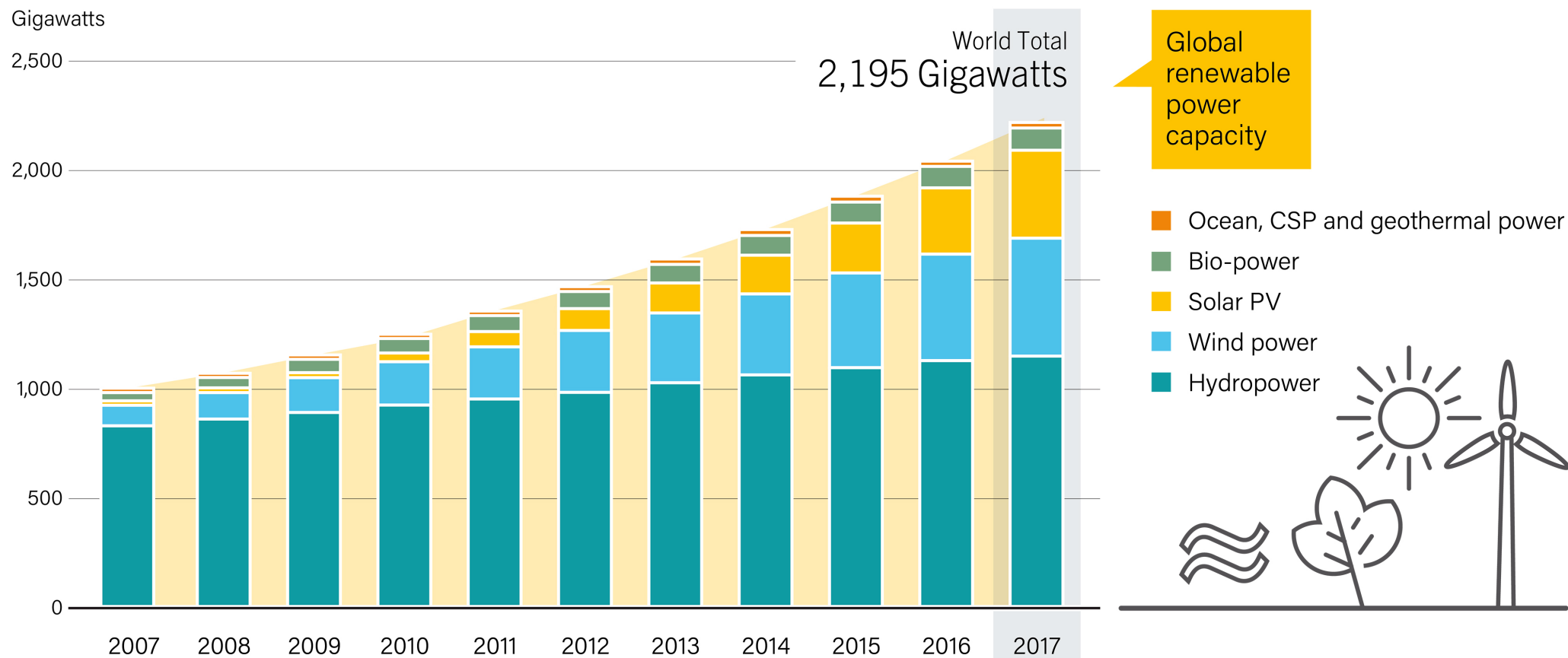


Toulouse
School
of Economics

Energy &
Climate Center

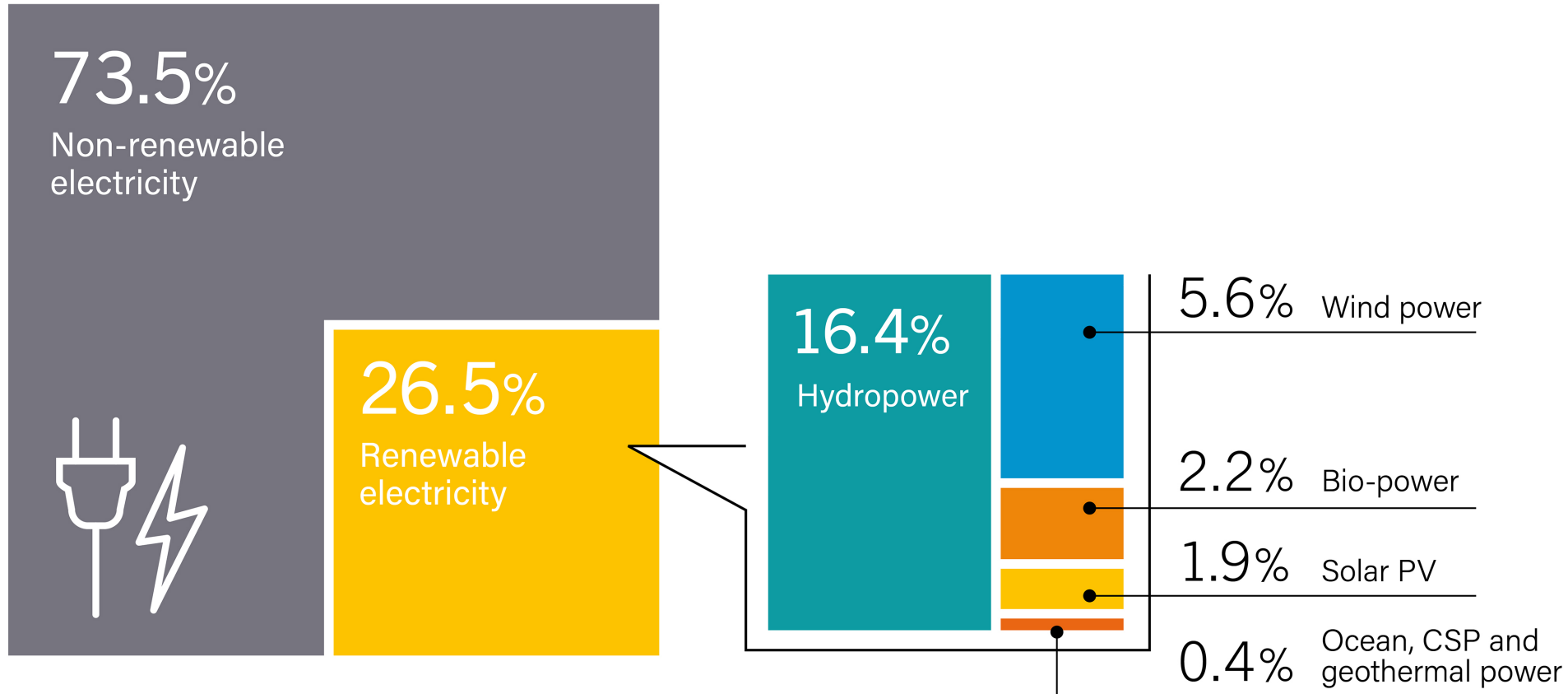
Capacité mondiale de production des renouvelables

En Gigawatts, 2007-2017

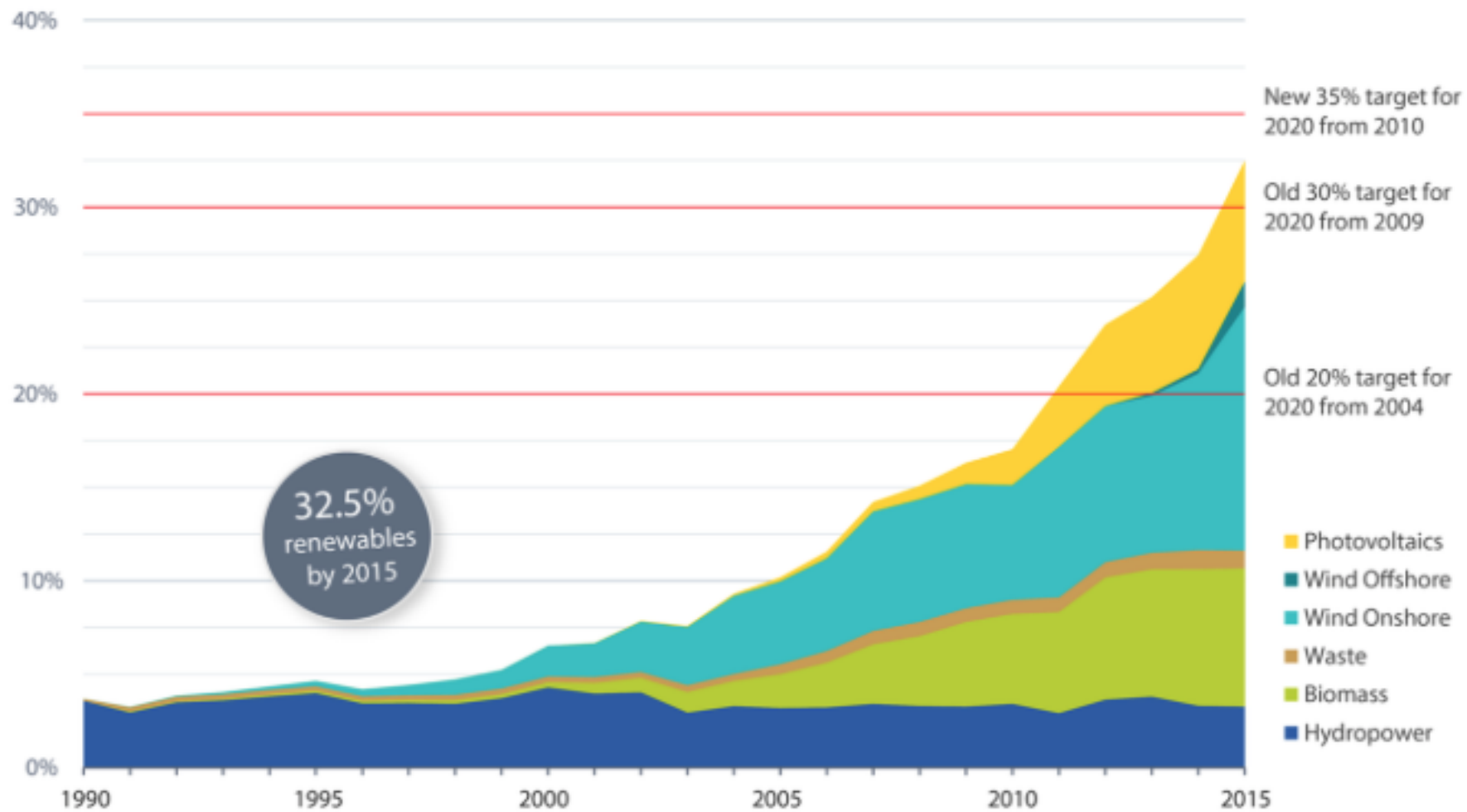


Part des énergies renouvelables dans la production électrique

Part des renouvelables dans la production électrique mondiale, fin 2017



Part des renouvelables dans la consommation électrique en Allemagne

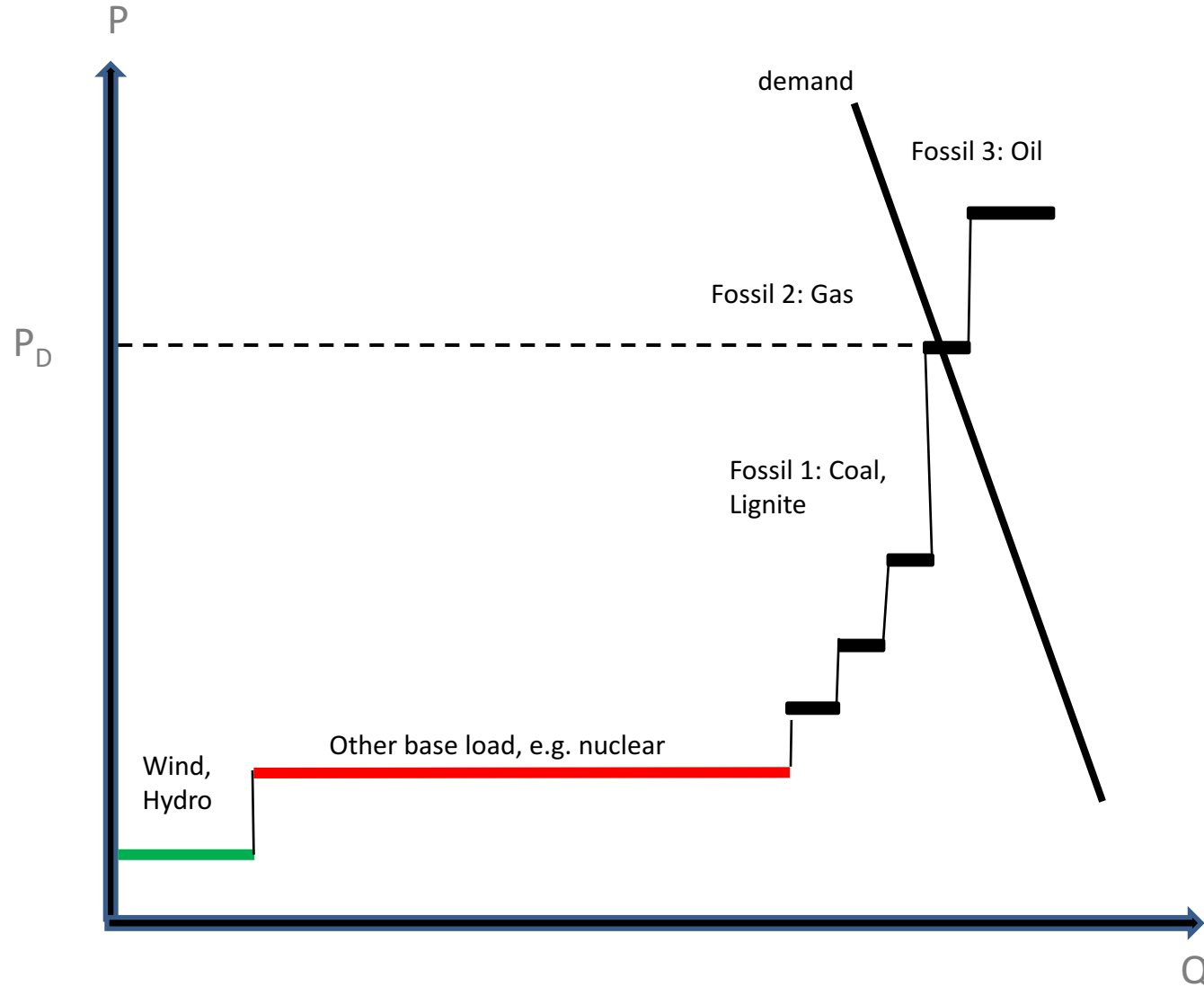




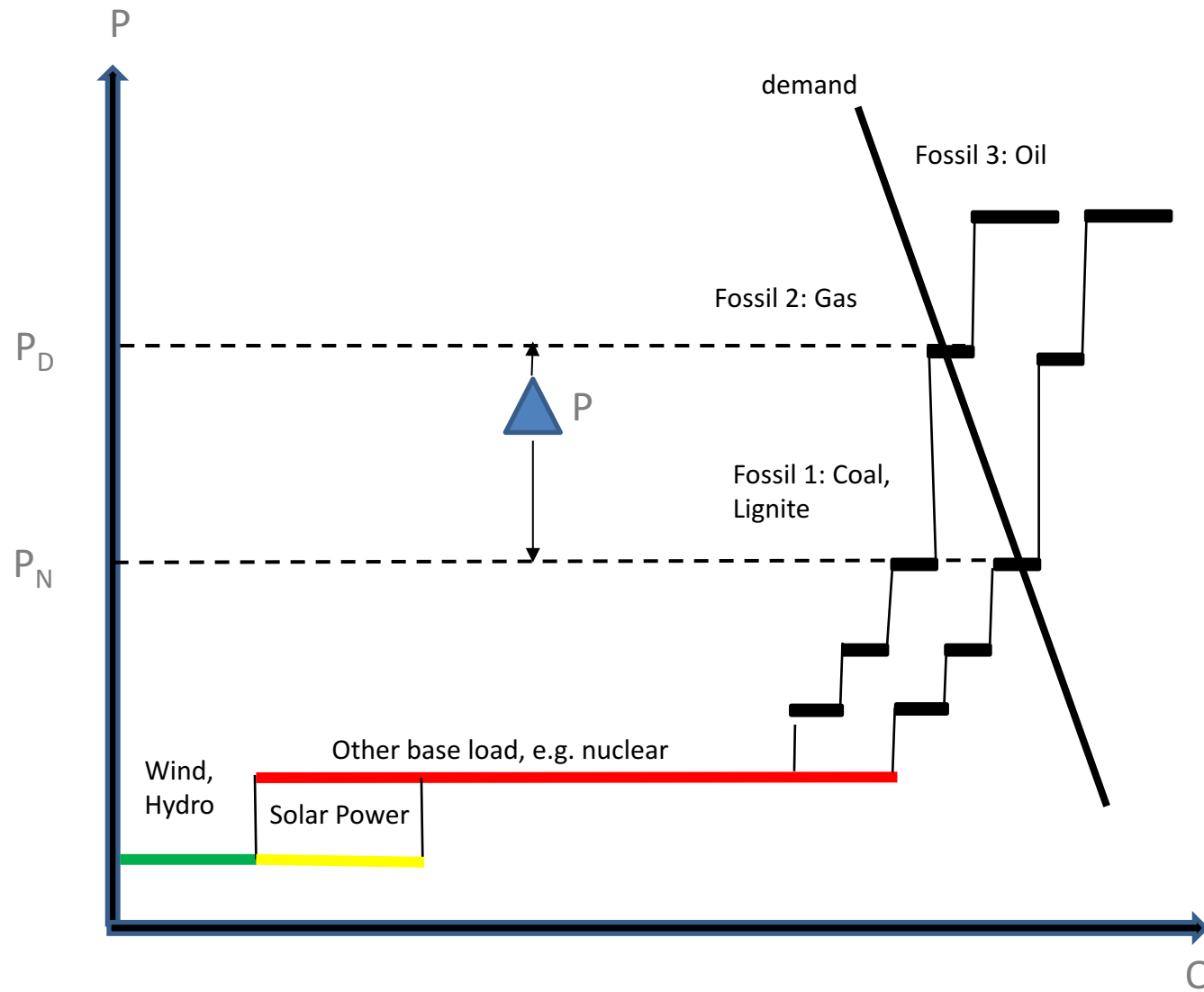
L'augmentation de la part des renouvelables a des effets directs

1. Les prix de gros de l'électricité
2. Les coûts d'équilibrage du système
3. Coût des subventions

Effet sur l'ordre de préséance (Merit-Order Effect)

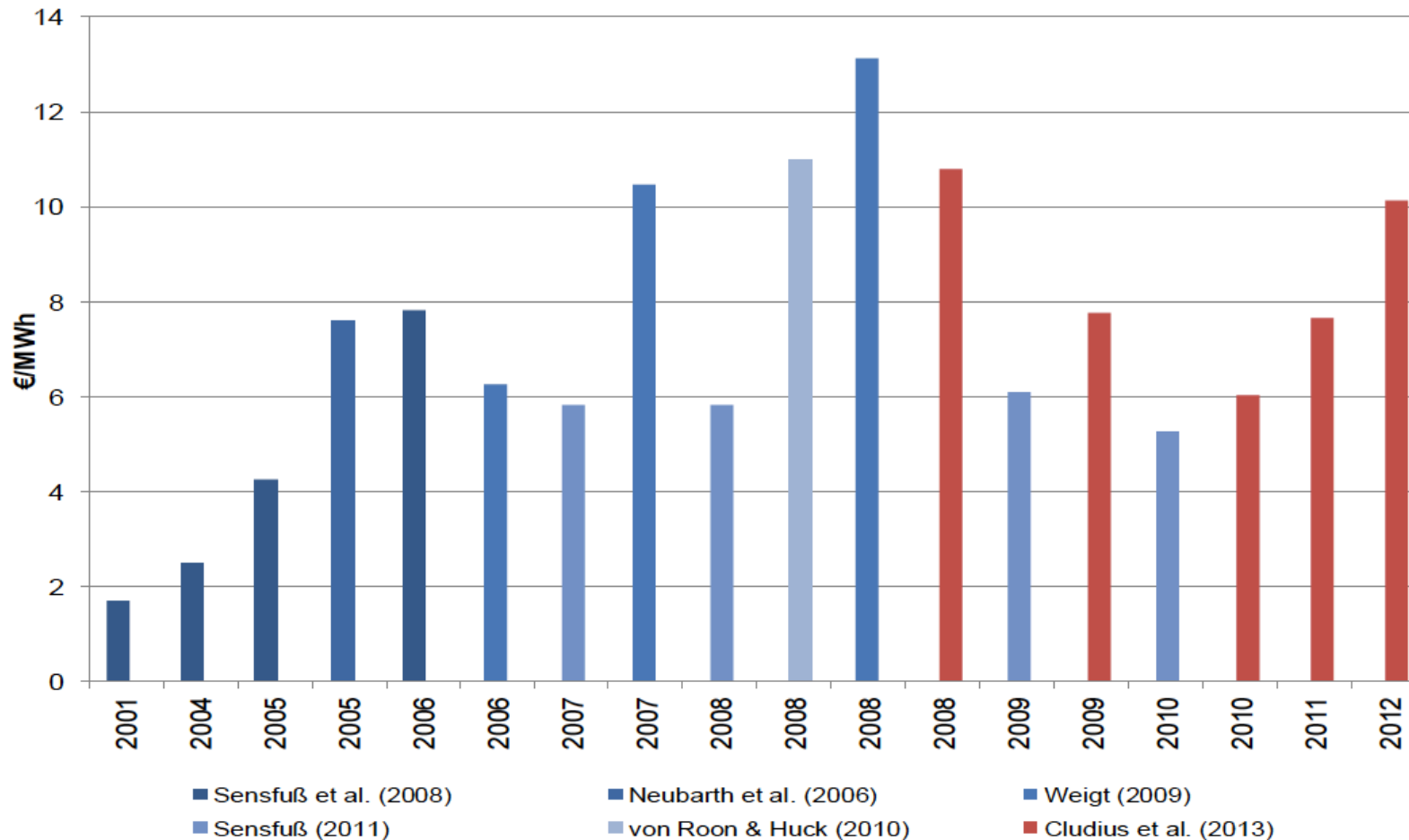


Effet sur l'ordre de préséance (Merit-Order Effect)



Effet sur l'ordre de préséance (Merit-Order Effect) en Allemagne

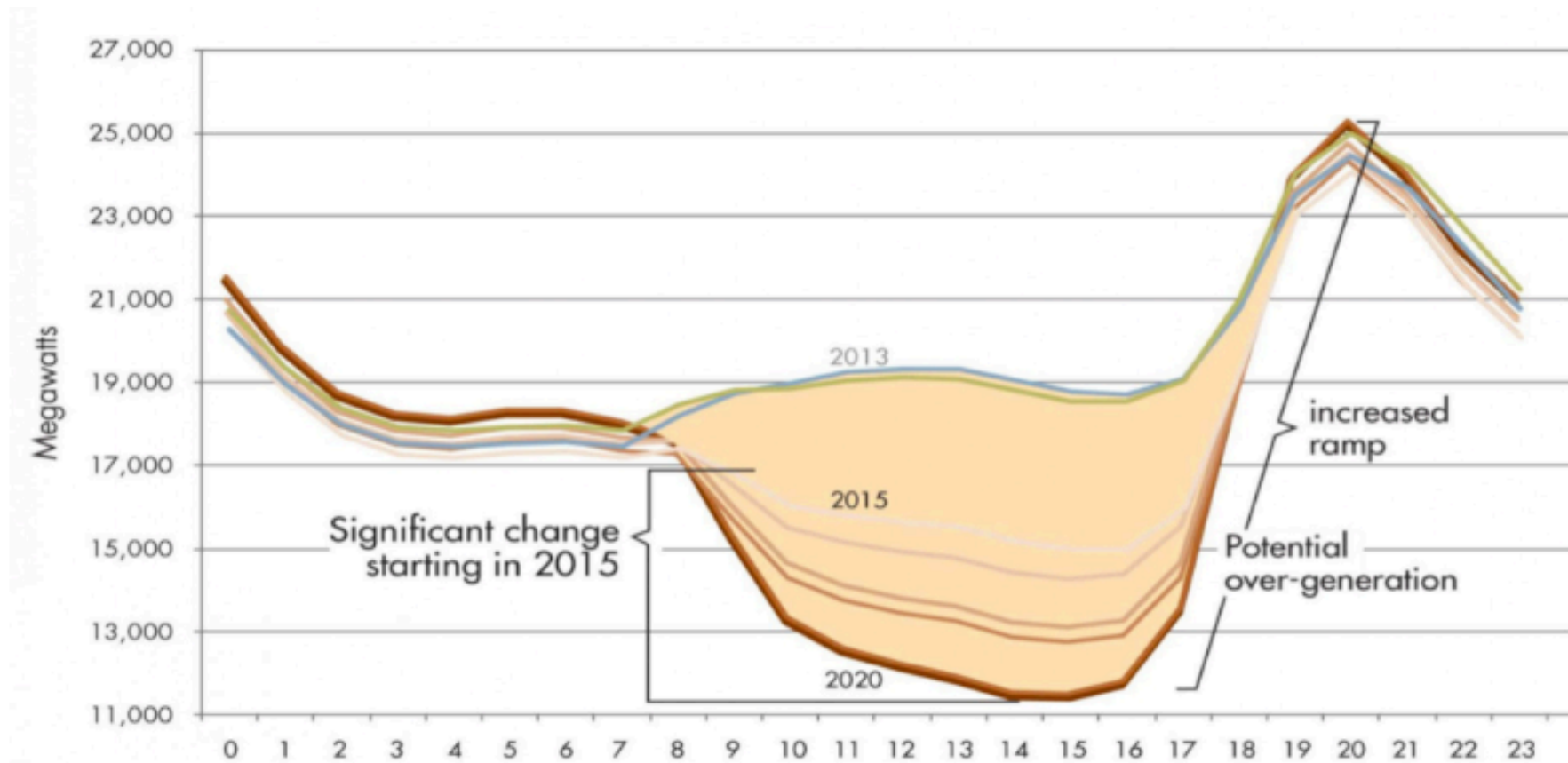
Réduction estimée des prix de l'électricité due à l'effet « Merit Order »



- Plus fortes réductions lorsque le pétrole ou le carbone sont chers
- En 2012 l'effet sur l'ordre de préséance a approx. réduit le prix de l'électricité de 10€ par MWh

Impact des renouvelables sur l'équilibrage du système

Graphique du « Canard » pour les panneaux photovoltaïques



Impact des renouvelables sur l'équilibrage du système

- Effet de corrélation et courbe “canard” :
 - Risque de surproduction
 - Besoins supplémentaires d'énergie de secours
 - Besoins supplémentaires de puissance disponible
- Investissements dans des solutions de stockage et dans le développement du réseau
- Le coût augmente avec la pénétration des renouvelables
- **La magnitude de ces effets est incertaine**

Politiques publiques en faveur des renouvelables

Types d'instruments réglementaires principaux:

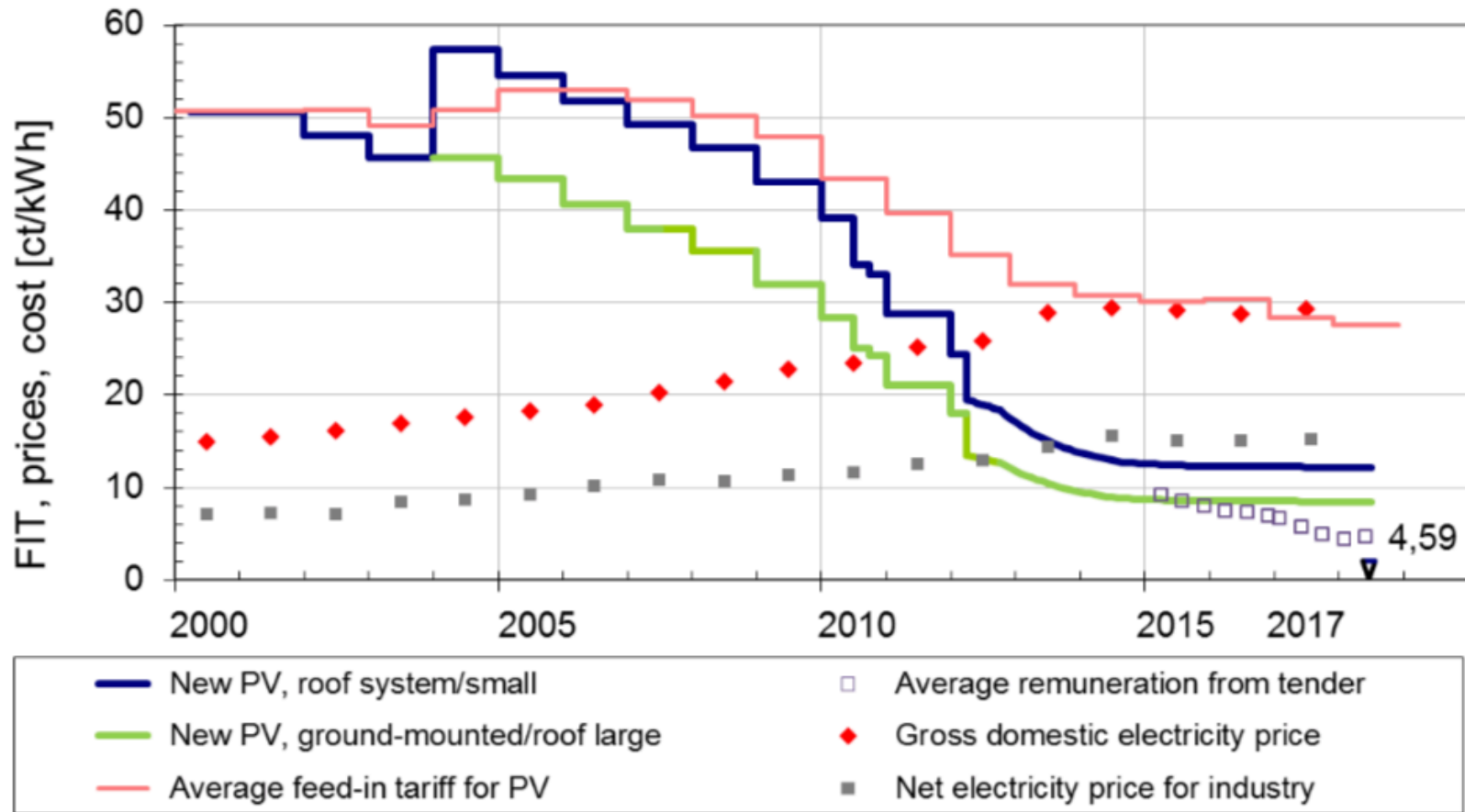
	Prix	Quantité
Investissement	Subventions à l'investissement	Appels d'offre pour des investissements
	Crédits d'impôt	
	Prêt à taux bas	
Production	Tarifs d'achat (fixes)	Appels d'offre pour des contrats de long terme
	Système de primes fixes	Système de certificats verts échangeables

Politiques publiques en faveur des renouvelables

Types d'instruments réglementaires principaux:

	Prix	Quantité
Investissement	Subventions à l'investissement	Appels d'offre pour des investissements
	Crédits d'impôt	
	Prêt à taux bas	
Production	Tarifs d'achat (fixes)	Appels d'offre pour des contrats de long terme
	Système de primes fixes	Système de certificats verts échangeables

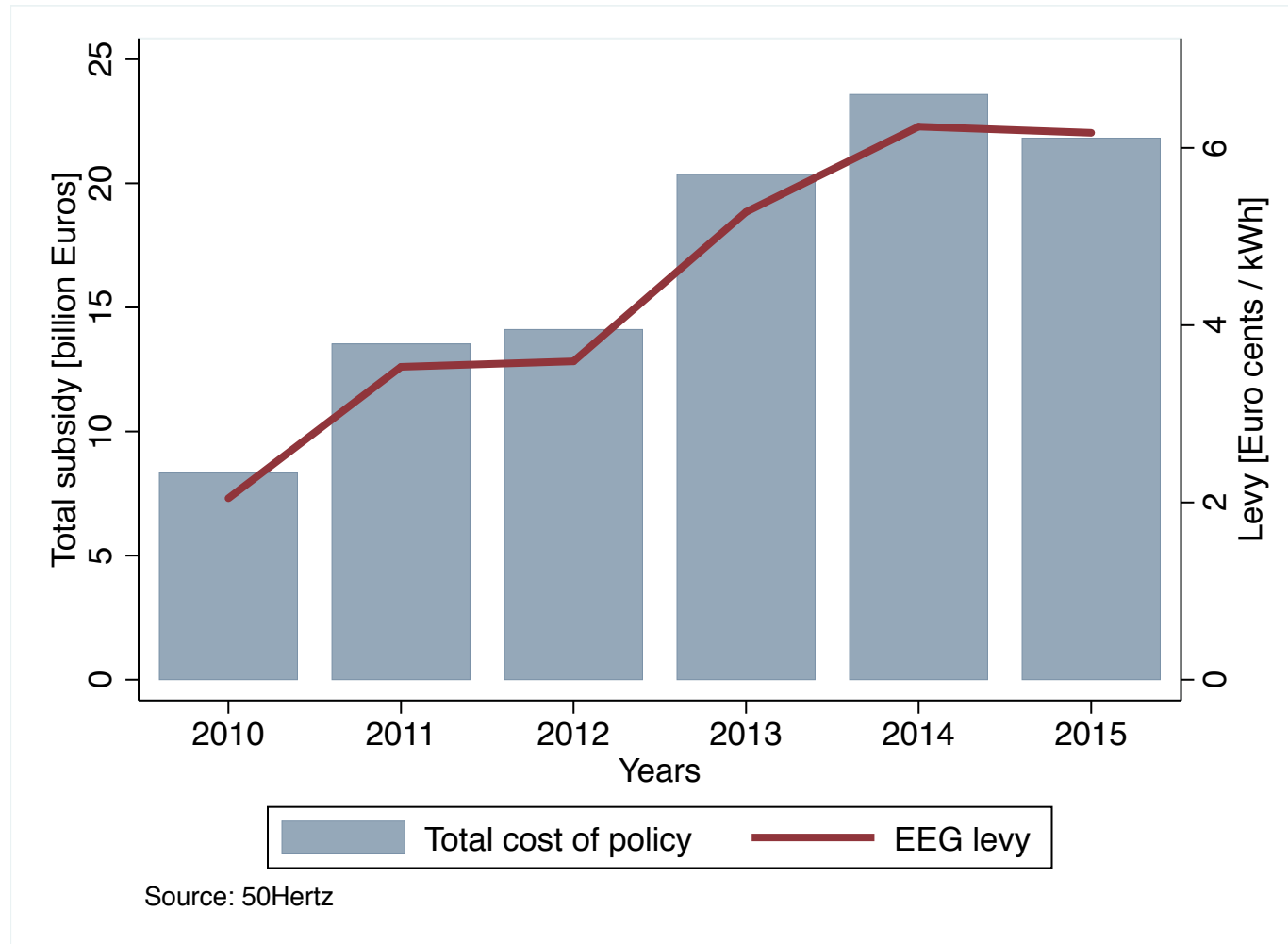
Tarifs d'achat (Feed-in-tariffs) pour l'énergie solaire en Allemagne



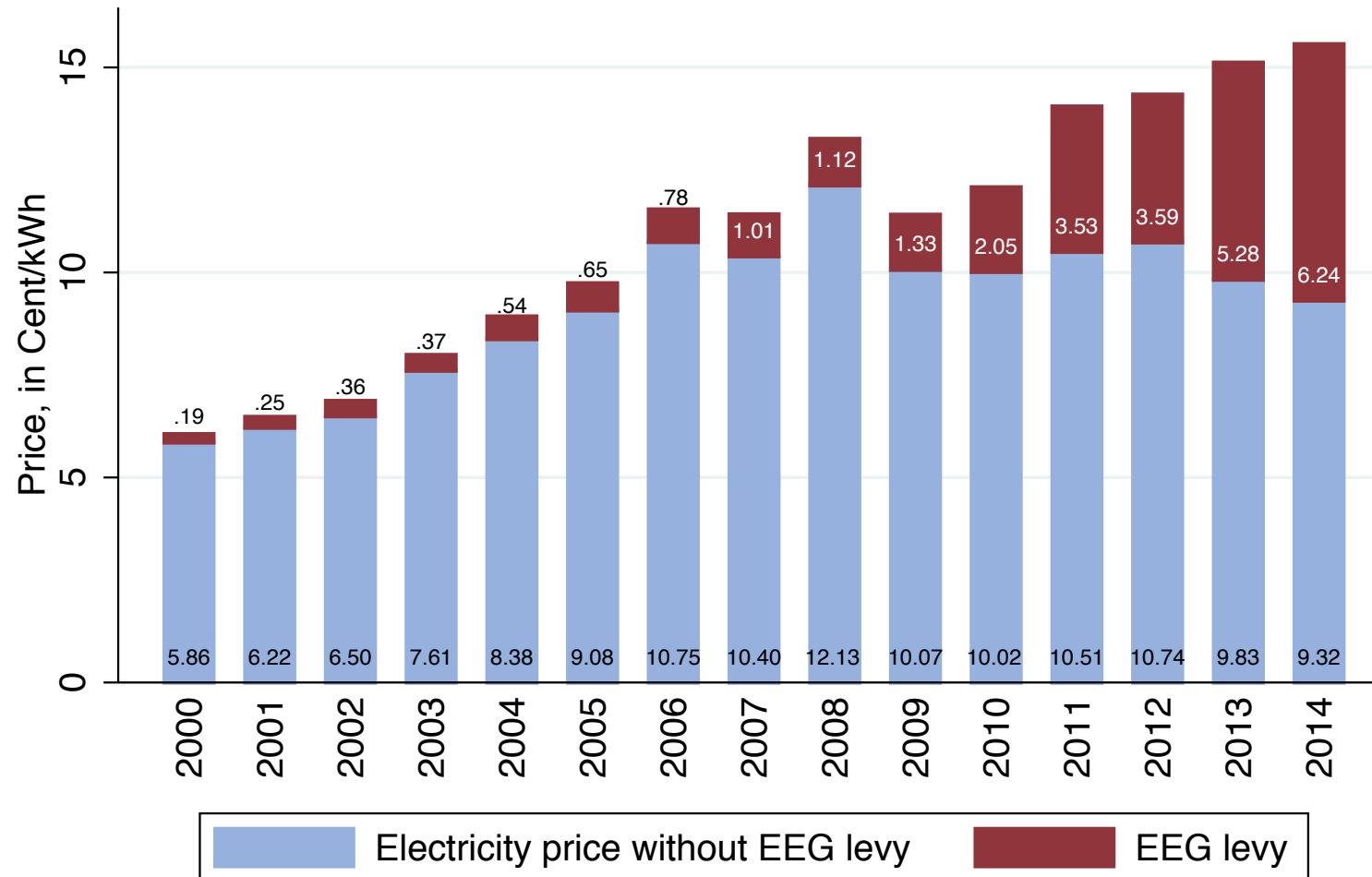
Tarifs d'achat (FiT) pour l'énergie solaire

- FiT ont contribué au développement du marché des renouvelables en Europe
- FiT ont fortement diminué ces dernières années, notamment à cause de la réduction des coûts
- FiT sont financés par une surfacturation des énergies renouvelables sur la facture électrique
- Dans de nombreuses juridictions, on observe une préférence pour les interventions basées sur le marché (appel d'offre pour de nouvelles capacités)
- La base installée a un impact très fort sur les coûts actuels de soutien aux renouvelables

Coût complet des FiT et de la surfacturation imputable aux renouvelables en Allemagne



Prix de l'électricité pour l'industrie allemande



Source: BDEW 2014

Quel est l'impact de l'augmentation du prix de l'électricité pour l'industrie ?

- Demande d'énergie
- Substitution d'énergie
- Investissements
- Émissions de CO₂

Difficiles à évaluer dans la mesure où les variations dues à des facteurs externes du prix de l'électricité sont rarement observés

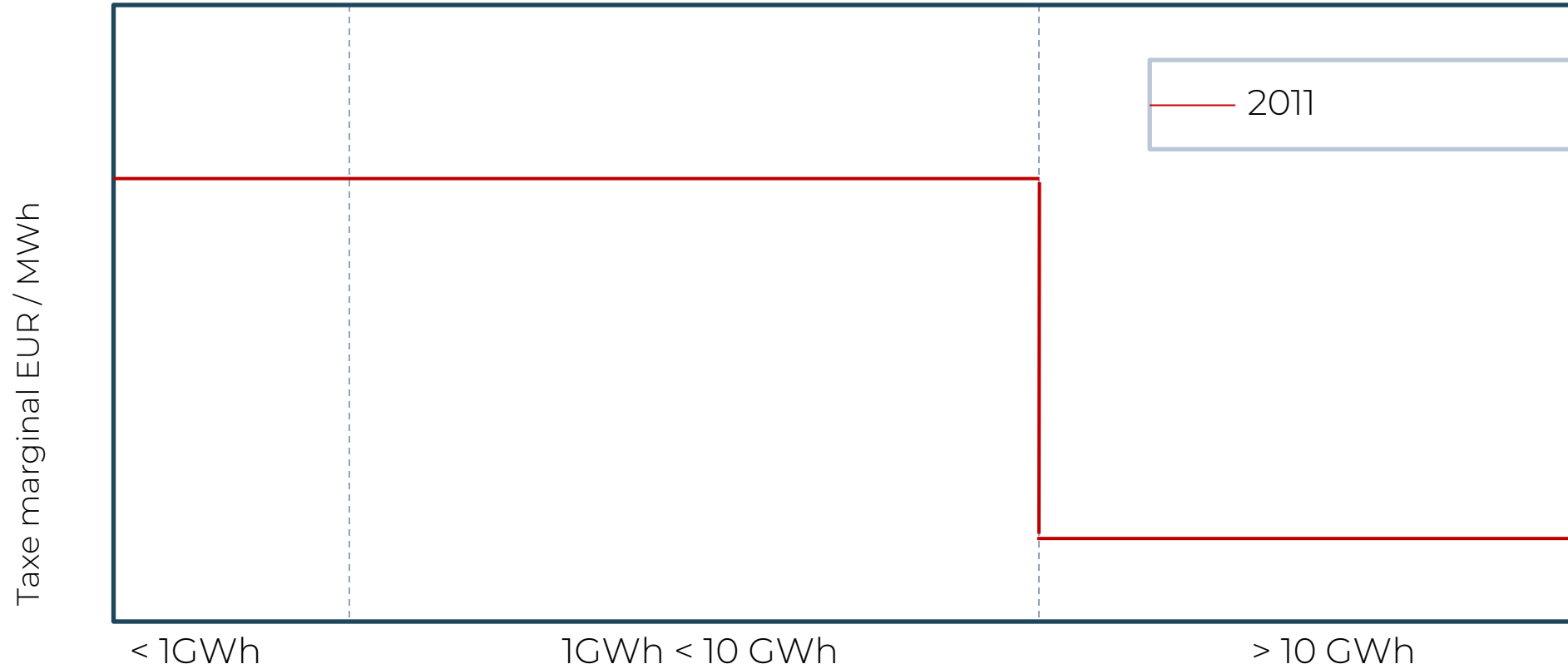
Besoin de données détaillées sur la consommation des usines et leurs choix des sources d'énergie



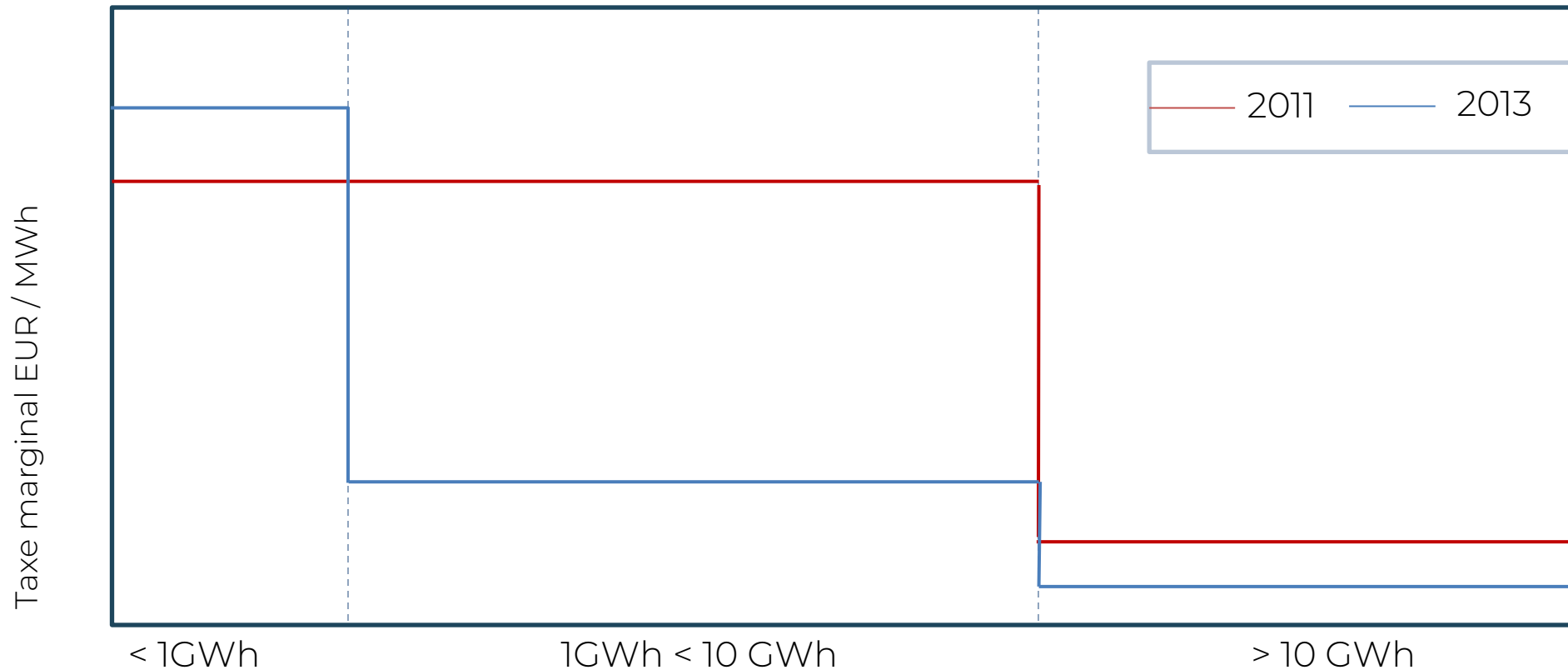
Changement de réglementation : une expérience naturelle

- Menace perçue pour la compétitivité des entreprises internationales
- Les décideurs publics épargnent les industries très consommatrices d'électricité

Exemption de taxe pour les grands consommateurs



Réforme : élargissement de l'exemption de taxe



Augmentation du nombre d'usines exemptées de 683 à 1,663

- Nous avons **mesuré l'impact de cette exemption** en 2013, **des petites et moyennes entreprises** sur :
 - La consommation électrique des usines, le type d'énergie utilisée et les émissions de CO₂
 - Les indicateurs de compétitivité



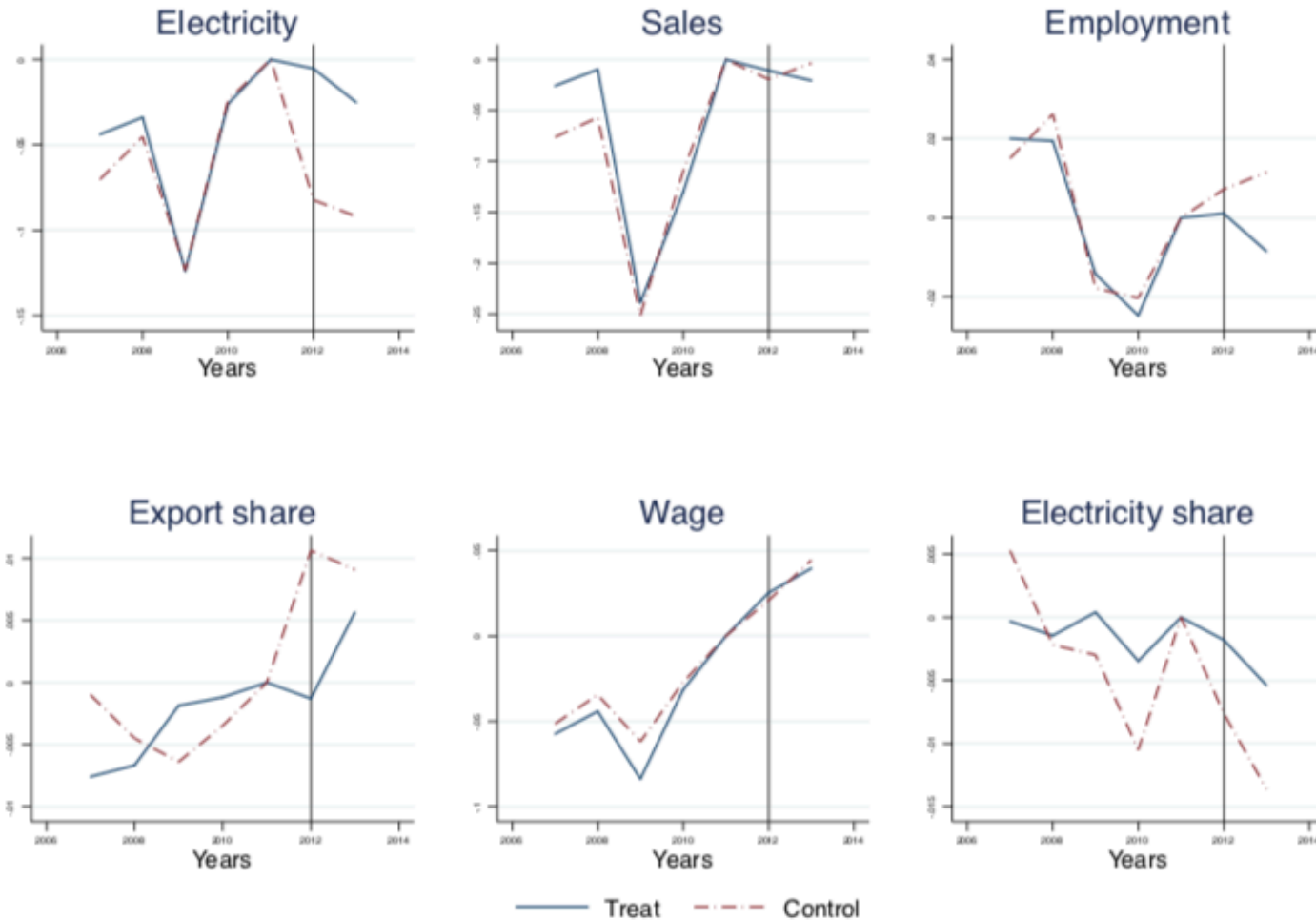
Notre étude

- Mesurer la différence de niveau de production entre les usines qui payent la taxe et celles qui en sont exemptées
- **Problème conceptuel** : pas de comparaison directe possible - les usines sont soit exemptées, soit pas exemptées en fonction de leurs caractéristiques: taille, consommation d'énergie, intensité énergétique

Solution : identifier des usines similaires qui partagent la même histoire mais qui ne sont pas exemptées de la taxe en 2013

Tendances avant et après l'exemption

Taux de croissance (par rapport à 2011)



Résumé des principaux résultats

- Les usines exemptées **consommement 5-7.5% plus d'électricité**
- Ce qui correspond à une élasticité-prix de -.22 à -.33
- L'augmentation de la demande d'électricité **a accru les émissions de CO₂**
- Les usines exemptées **investissent moins dans le gaz et dans l'auto-production d'électricité**
- **Pas d'impact sur la compétitivité** à court terme

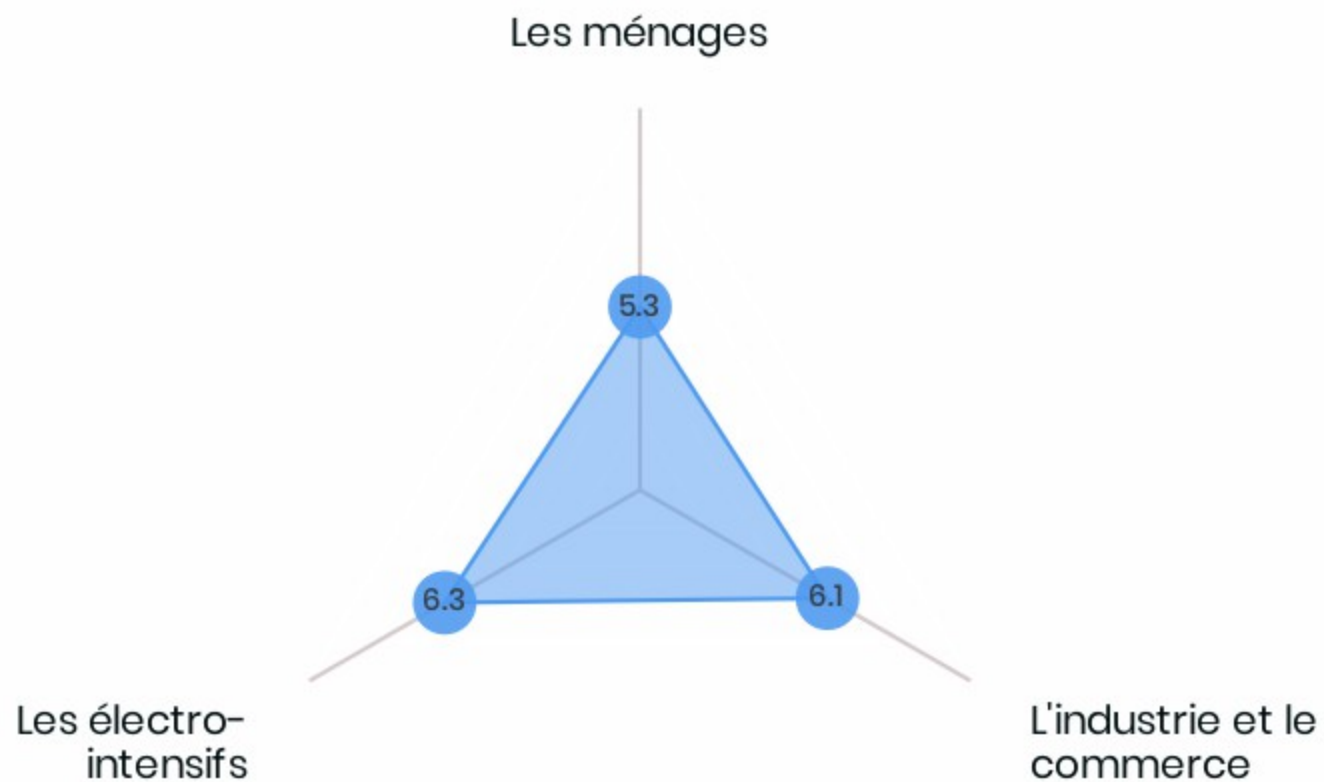


Impact de l'exemption

- La réforme de 2012 a mené à 5.2 TWh d'électricité plus exempté - soit 200 millions d'euros de subventions aux industries très consommatrices en électricité
- En 2013, les 1,700 usines exemptées ont reçu des subventions équivalentes à 4 milliards d'euros
 - Ces subventions représentent un coût de 10€ / MWh pour les consommateurs

Ce type de réforme favorise les industries très gourmandes en électricité et fait payer un lourd tribut au reste de l'économie (et notamment aux ménages) pour couvrir le déploiement d'énergies renouvelables sans améliorer la compétitivité.

Qui doit financer les énergies renouvelables ?



Merci pour votre attention

Stefan Lamp

Toulouse School of Economics

Paris
28 septembre 2018



Toulouse
School
of Economics

Energy &
Climate Center

TSE FORUM ÉNERGIE ET CLIMAT

Paris

28 septembre 2018



@TSEinfo

Les défis de la pénétration des renouvelables dans le mix énergétique

Table ronde animée par
François de Beaupuy
Bloomberg

Adeline Duterque
Engie

Christian Gollier
TSE

Laurent Joudon
EDF

Ladislav Paszkiewicz
Total

Paris
28 septembre 2018



Energy &
Climate Center

Enjeux de la transition énergétique

Christian Gollier

Toulouse School of Economics

- Rendre la France neutre en carbone d'ici le milieu de ce siècle
- Respecter nos engagements dans le cadre de l'Accord de Paris, et pousser les autres pays à respecter les leurs
- Planification de la sécurité énergétique

Paris
28 septembre 2018



Toulouse
School
of Economics

Energy &
Climate Center

Quelle transition énergétique ?

- Coûts très élevés, essentiellement en capital, avec des revenus étalés sur du temps long :
 - Besoin d'un mécanisme crédible et fiable de rémunération sur plusieurs décennies
 - Arbitrage entre incitation aux investissements et efficacité du signal prix ?
- Incitations à la transition énergétique :
 - Prix du carbone, pour aujourd'hui et pour les 5 prochaines décennies
 - Optimum social: 60 €/tCO₂ en 2019, croissant à 4% + inflation en espérance
 - EU-ETS: Prix trop faible, et beaucoup d'incertitudes sur le prix futur
- En l'absence d'un mécanisme de prix-carbone fiable :
 - Feed-in tariff. Niveau? Evolution? Partage du risque? Crédibilité (Hold-up) ?

Incertitudes technologiques pour 2030

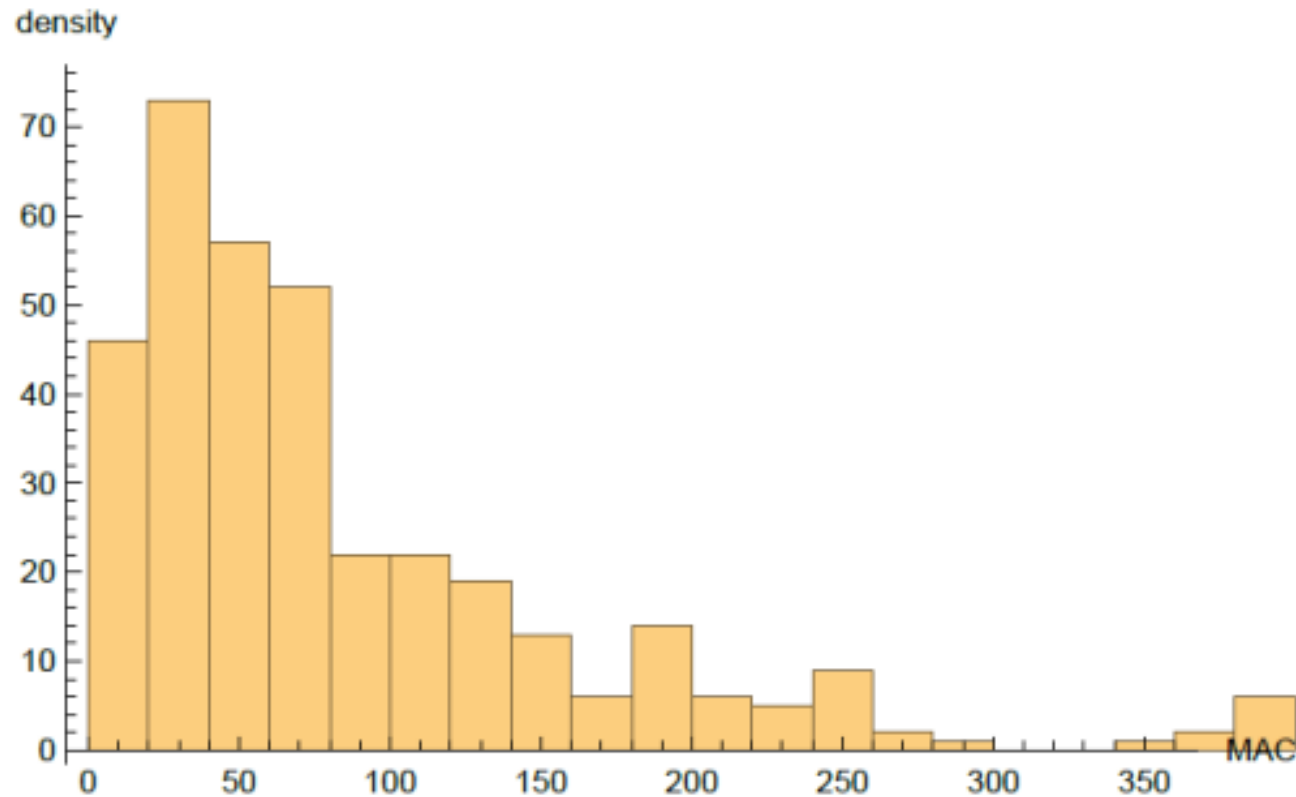


Figure 1: Histogram of the world marginal abatement costs for 2030 extracted from the IPCC database (<https://tntcat.iiasa.ac.at/AR5DB>). We have selected the 374 estimates of carbon prices (in US\$2005/tCO₂) in 2030 from the IAM models of the database compatible with a target concentration of 450ppm.

Incertitudes sur le prix du carbone en 2030

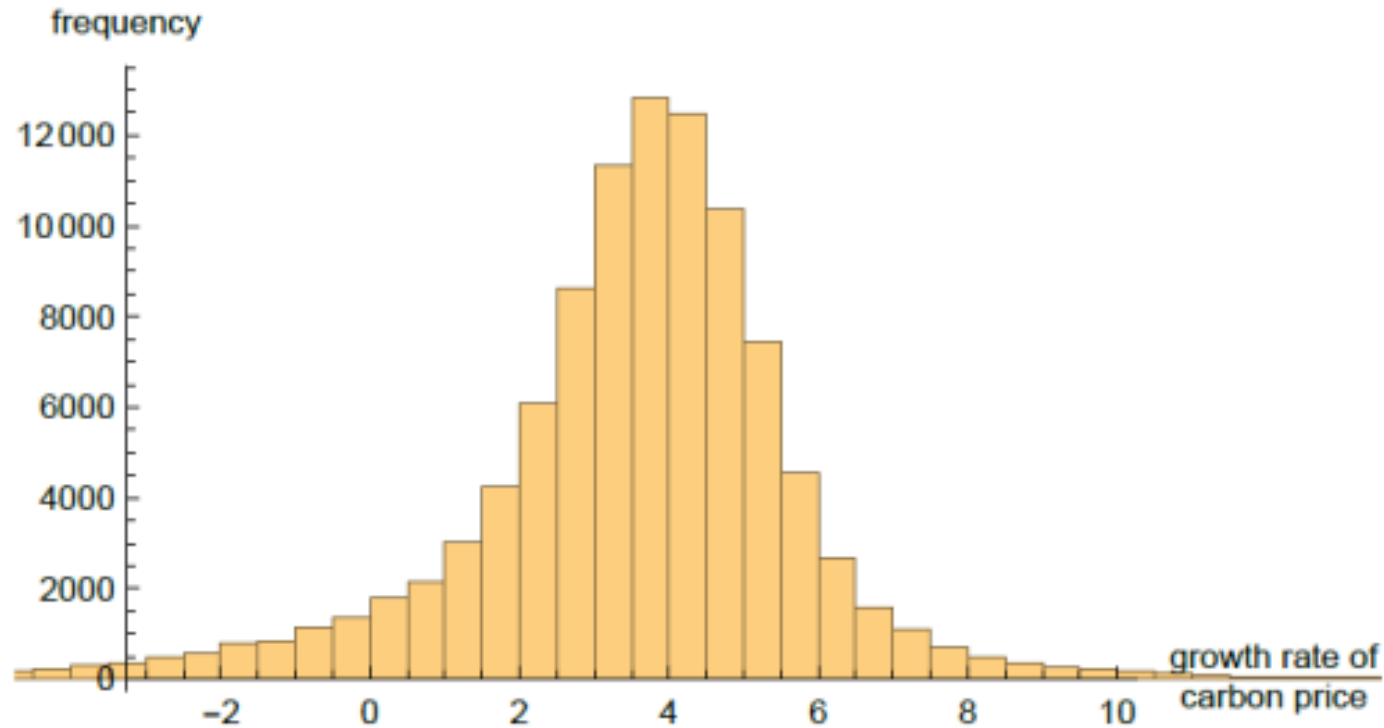


Figure 3: Empirical probability distribution of the annualized growth rate of carbon price under the optimal abatement strategy in the benchmark calibration of the two-period model. The Monte-Carlo simulation uses a sample of 100.000 draws of the triplet (Y_1, θ, T) . The growth rate is in percent per year. The mean growth rate is 3.47% and the standard deviation is equal to 2.4%.

Quel mix énergétique à long terme ?

- Démarrer la transition, c'est facile, mais savoir vers quel état stationnaire on va, c'est beaucoup plus compliqué
- Incertitudes considérables sur :
 - le coûts du kWh par filière dans 20 ans
 - les technologies liées à l'intermittence et au stockage
- Valeur d'option d'attendre vs. Urgence écologique
- Quelle régulation de marchés à très forte volatilité des coûts marginaux ?

Les défis de la pénétration des renouvelables dans le mix énergétique

Table ronde animée par
François de Beaupuy
Bloomberg

Adeline Duterque
Engie

Christian Gollier
TSE

Laurent Joudon
EDF

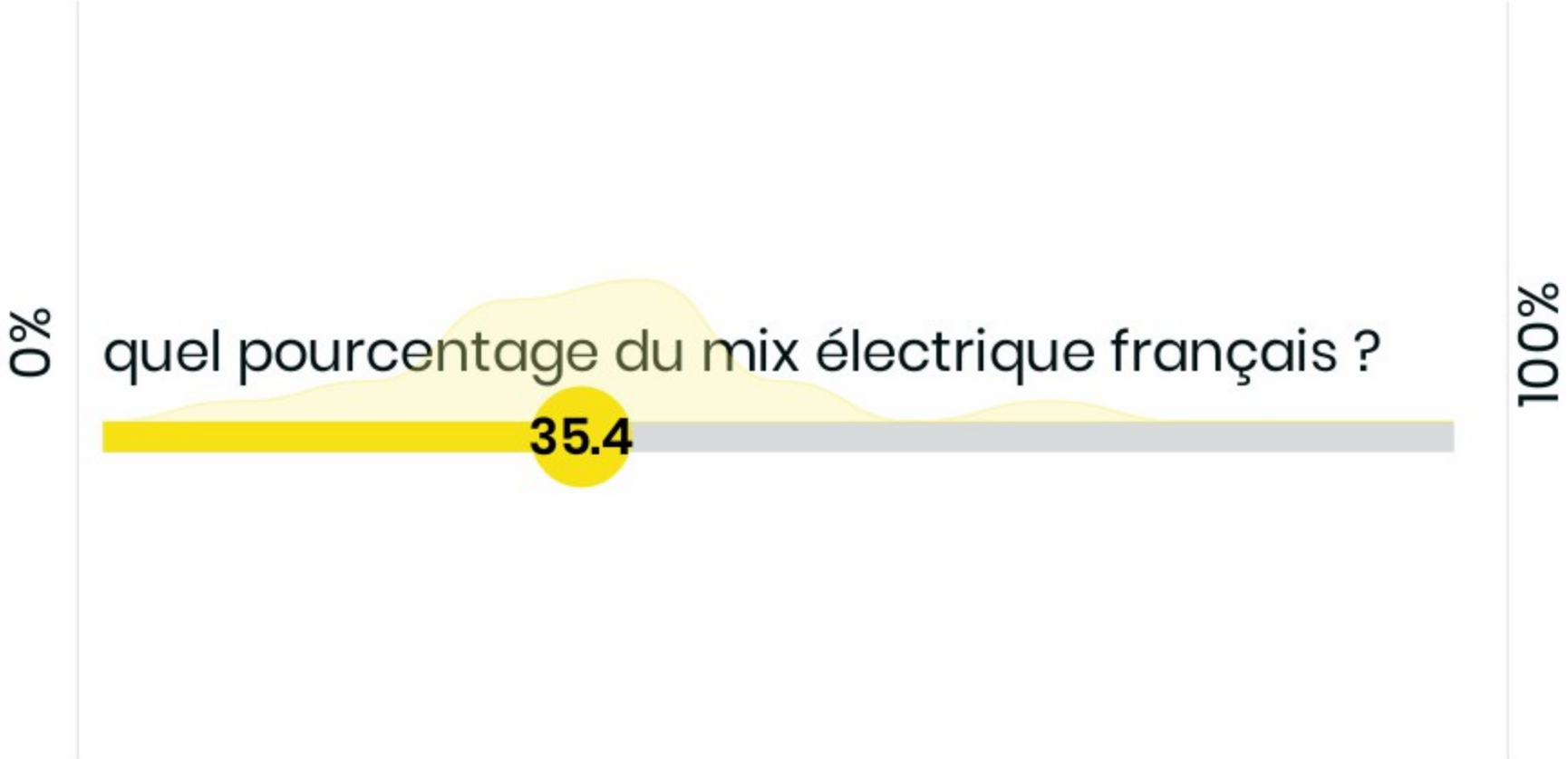
Ladislav Paszkiewicz
Total

Paris
28 septembre 2018



Energy &
Climate Center

A l'horizon 2035, les énergies renouvelables intermittentes (solaire + éolien) représenteront :



À venir...

THE ECONOMICS OF ENERGY AND CLIMATE CONFERENCE



June 18 and 19, 2019 at Toulouse

Organizers:

Stefan Ambec

Claude Crampes

Stefan Lamp

Yassine Lefouili



Toulouse
School
of Economics

Energy &
Climate Center

TSE FORUM ÉNERGIE ET CLIMAT

Paris

28 septembre 2018



@TSEinfo