



# Pour une prospective énergie climat : enjeux d'une démarche, contributions de la Chaire

Nadia Maïzi

<sup>1</sup>MINES ParisTech, PSL Research University, CMA - Centre de mathématiques appliquées,  
CS 10207 rue Claude Daunesse 06904 Sophia Antipolis Cedex, France

<sup>2</sup>Chaire Modélisation prospective au service du développement durable

**Journée de la Chaire en collaboration avec GRTgaz :**

L'énergie et l'évolution de nos modes de vie

Les apports d'une démarche prospective

# Accélération et enchevêtrement

Notre civilisation est comparable à une voiture qui roule de plus en plus vite sur une route inconnue lorsque la nuit est tombée. Il faut que ses phares portent de plus en plus loin si l'on veut éviter la catastrophe.

G. Berger, 1960

- voir loin
- voir large
- analyser en profondeur
- prendre des risques
- penser à l'homme



# Construire l'Avenir

☞ **Pour la prospective** : le futur est une sorte d'observatoire d'où elle peut jeter des regards sur des chemins qui conduisent les hommes, la société, jusqu'à lui.

- La prospective cherche à fixer des objectifs possibles auxquels il faudra parvenir : l'avenir non pas comme **"une chose déjà décidée, et qui petit à petit, se découvrirait à nous, mais comme une chose à faire"** G. Berger
- Elle opère un **divorce avec la futurologie**
- L'homme a vocation d'intervenir dans l'événement au lieu de le subir : c'est un **homme d'action** qui refuse la fatalité.

# Des disciplines prospectives pour servir qui ?

## Les Philosophes en action

Le chef d'entreprise, Le politique

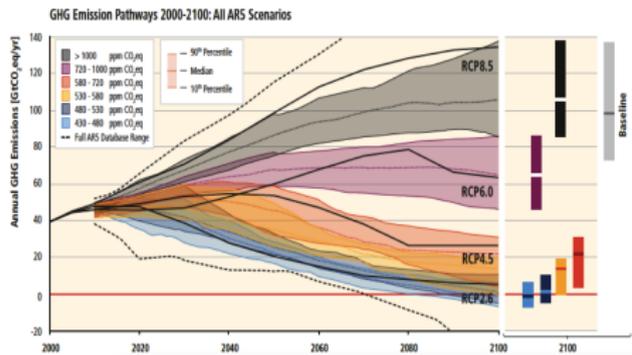
- Leur **action** est la raison même de leur fonction
- Ils doivent orienter leur décision par la réflexion la plus **large** possible
- En examinant l'avenir **lointain**

Élément de la réflexion, du débat, de la prise de décision afin :

- de **parer** l'imprévu à travers une **pluralité d'avenirs imaginés**
- de **fabriquer une prothèse** pour le **décideur aveugle** désireux d'une **aventure calculée**

# se doter d'outils pour éclairer le long terme

## Une multitude de modèles

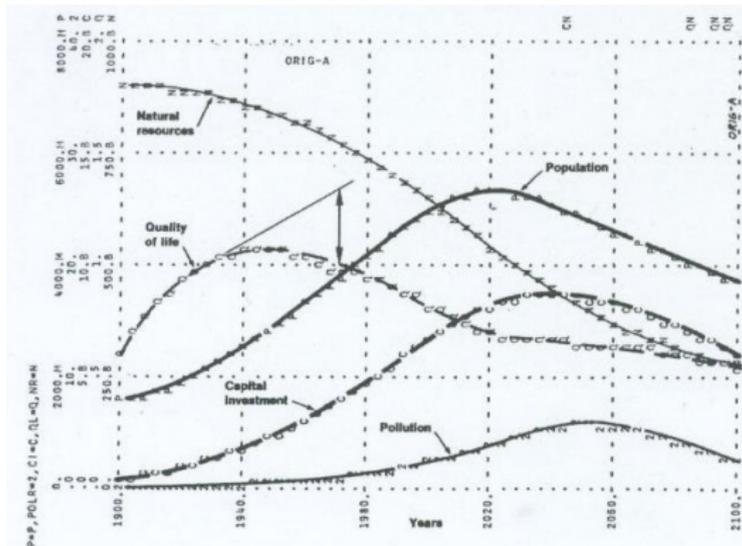


Source : IPCC, 2014: Summary for Policymakers



# Le modèle WORLD : vision issue de la dynamique des systèmes

- Une tendance “Overshoot and Collapse”: robuste aux CI sur les ressources naturelles, le progrès technologique, ...



Comportement dynamique du modèle WORLD 2, Source Forrester(1971)

# Choisir un paradigme

Le paradigme optimal

$$\min_{x \in X} f(x)$$

$x$  variable de décision

$X$  espace de contraintes

$f$  objectif

# savoir ouvrir la "black-box" et aller plus loin

Choisir une prédominance **technologique** :

 **TIMES** ( The Integrated MarkAl (market allocation)-EFOM System)

- 1 modèle **ouvert**
- 2 développé dans le cadre de l'**ETSAP** :  
Energy Technology Systems Analysis Programme de l'AIE (depuis 1980)
- 3 représentation technologique très **détaillée**  
tant pour les technologies existantes que pour les technologies du futur

- Comprendre et Maitriser le modèle ;
- Intégrer ses limites (la prothèse) ;
- Chercher à le raffiner en réconciliant les échelles de la complexité (spatiales, temporelles, sociétales).

# Compétitions, substitutions et cohérences préservées

lorsque l'on parle d'énergie

## TIMES

Un modèle technologique d'optimisation linéaire, ouvert, développé dans le cadre de l' ETSAP (AIE)

- piloté par la demande
- sur un horizon certain : moyen ou long terme (50/100 ans)
- dont l'objectif est la minimisation du coût total actualisé du système énergétique

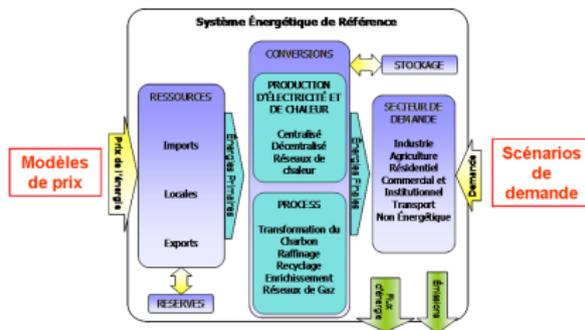


Figure: système énergétique de référence de TIMES

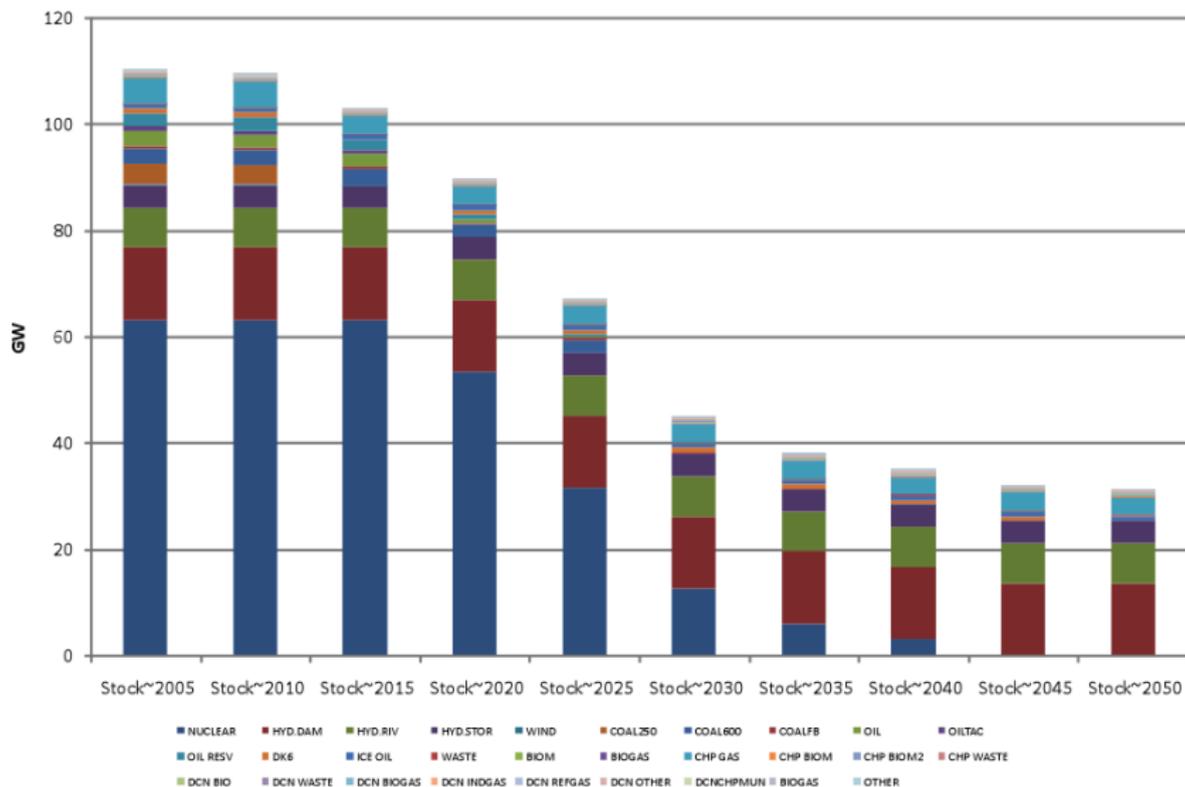
au delà des clivages et du trivial  
"pour ou contre ?"

comment positionner commodités  
et flexibilités ?



Chaire ParisTech Modélisation prospective  
au service du développement durable

# la question du devenir des centrales nucléaires en France



# Sortie du nucléaire avec une taxe

[N. Maïzi, E. Assoumou, Future prospects for nuclear power in France, Applied Energy (2014), pp. 849-859]

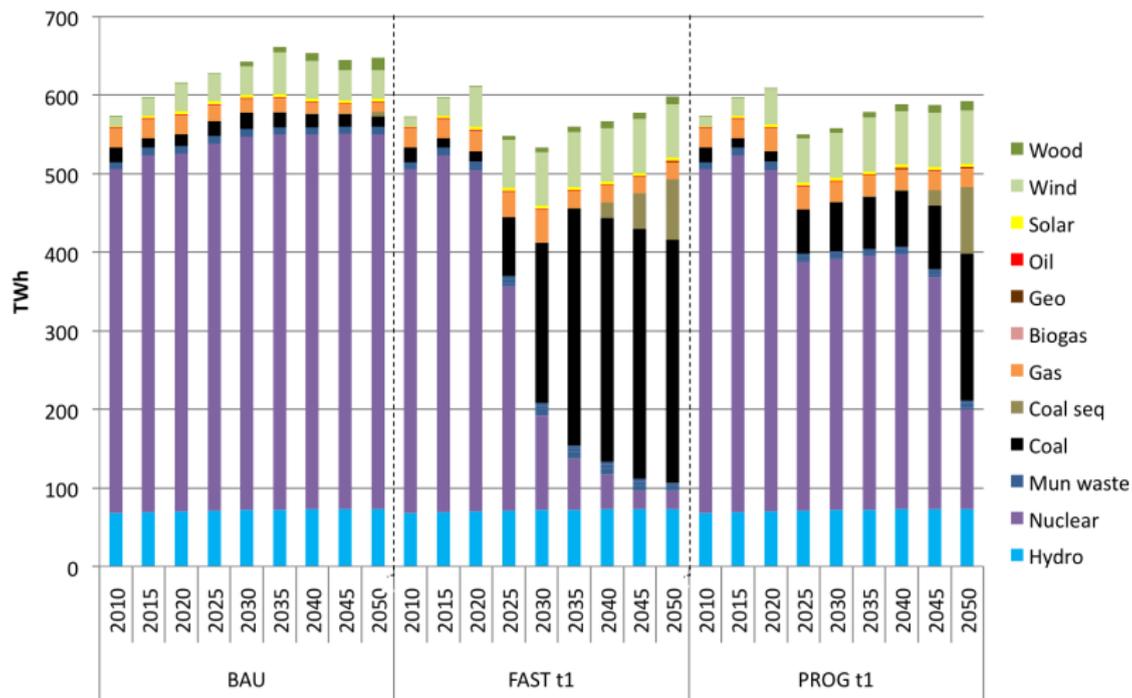


Figure: Mix de production d'électricité (taxe CO<sub>2</sub>)

# Analyse de sensibilité

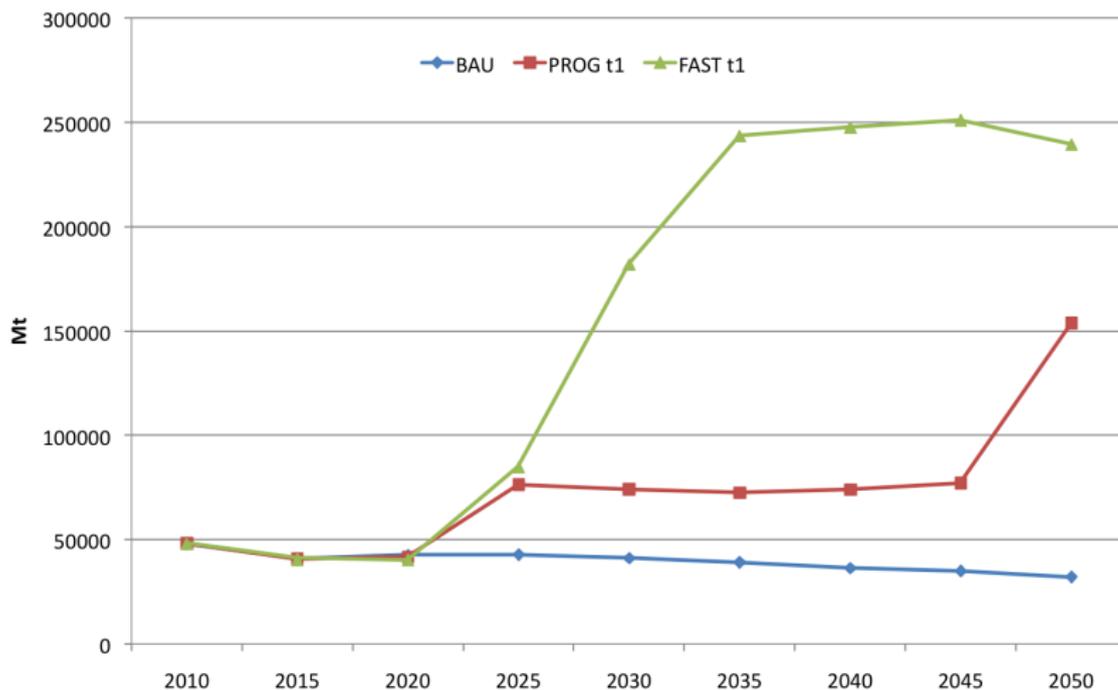
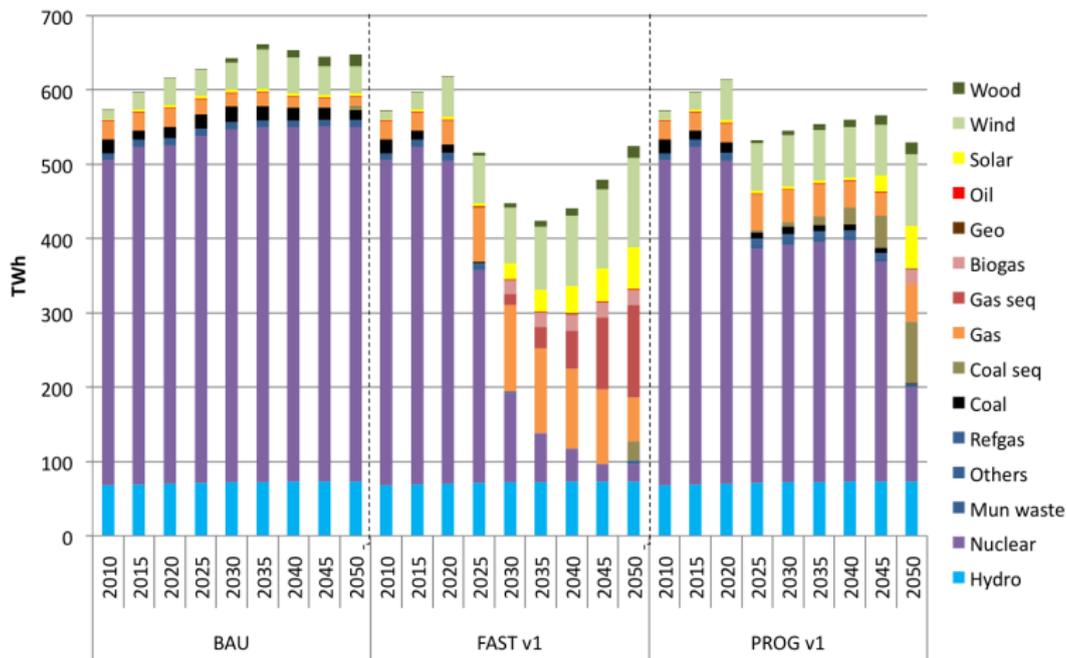


Figure: Volume d'émissions de CO<sub>2</sub> du secteur électrique

## Sortie du nucléaire contraint par taxe + quantités

Figure: Mix de production d'électricité (taxe CO<sub>2</sub> + volume)

# Les investissements pour une sortie rapide

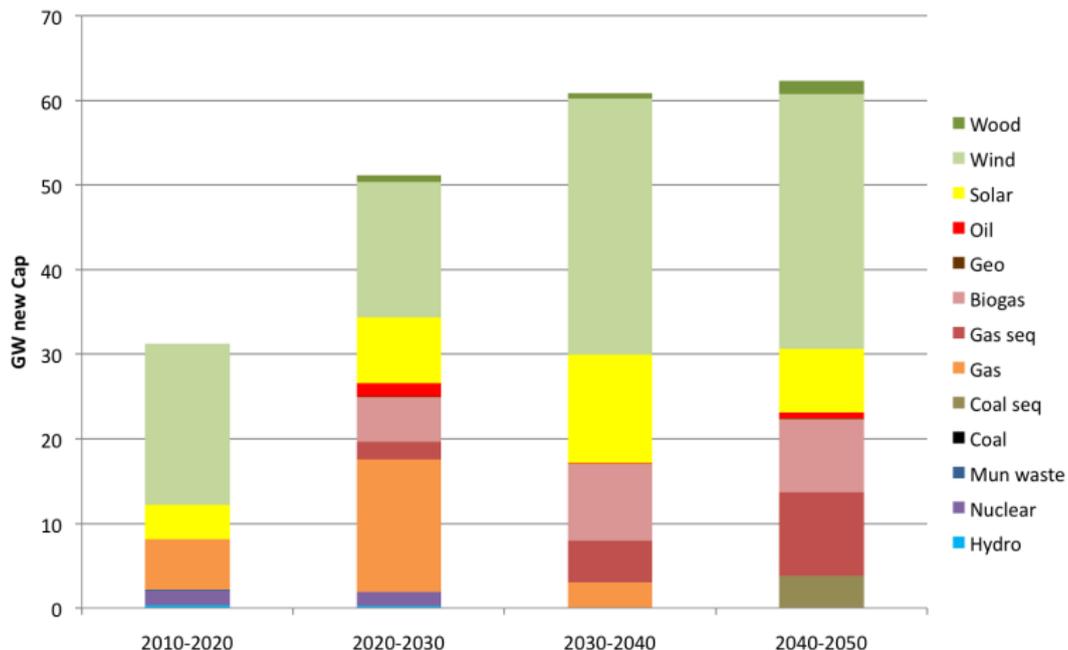


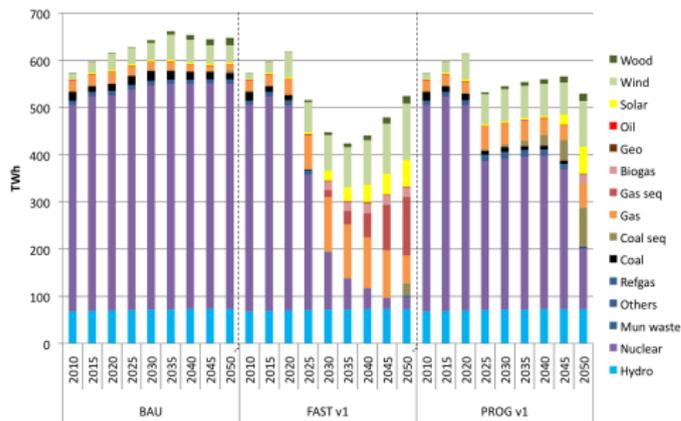
Figure: Nouvelles capacités installées FASTv1 (durée de vie de 40a, taxe + volume)

# Mix électrique : Réconcilier les échelles de temps

[N. Maïzi, V. Mazauric, M. Drouineau, S. Bouckaert, Brevet Schneider Electric FR 11 661087, 2010]

[M. Drouineau, V. Mazauric, N. Maïzi, Impacts of intermittent sources on the quality of power supply: The key role of reliability indicators, Applied Energy 2014]

[V. Krakowski, E. Assoumou, N. Maïzi, Enjeux d'une transition vers une production d'électricité 100% renouvelable en France, dans Revue de l'Energie, No 627 (Septembre/Octobre 2015), pp. 381-394, 2015.]



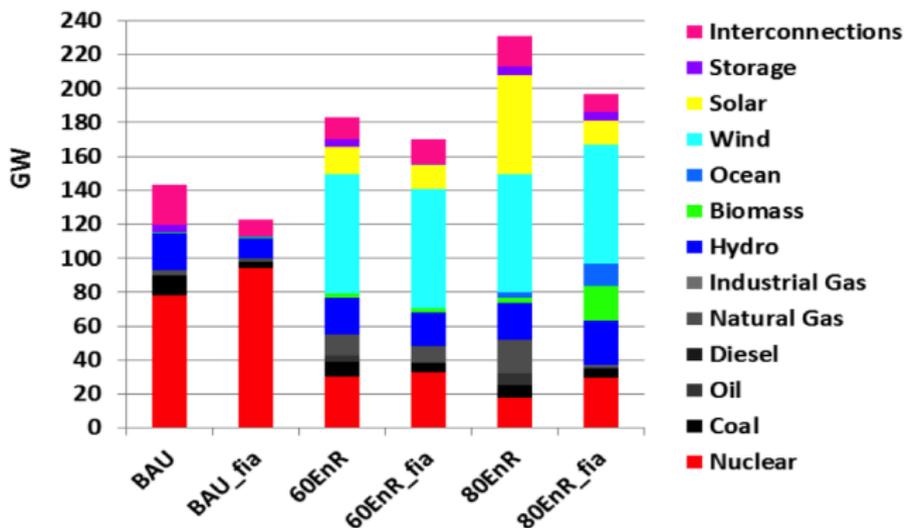
☞ Quid de la **pertinence** et la **plausibilité** des mix de production électrique évalués via les exercices de prospective long terme

Production électrique taxe et contrainte en volume



Figure: L'Europe pendant le blackout de l'Italie (28 Sept. 2003). Source: RTE.   

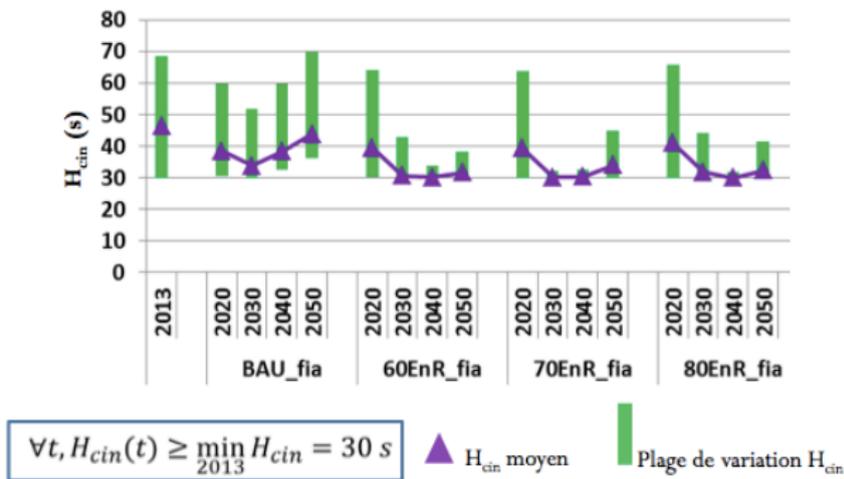
# Des conditions de pénétration du renouvelable



**Figure:** Capacité de production d'électricité installée en 2050 dans le scénario BAU et dans différents scénarios de pénétration du renouvelable dans le système électrique français

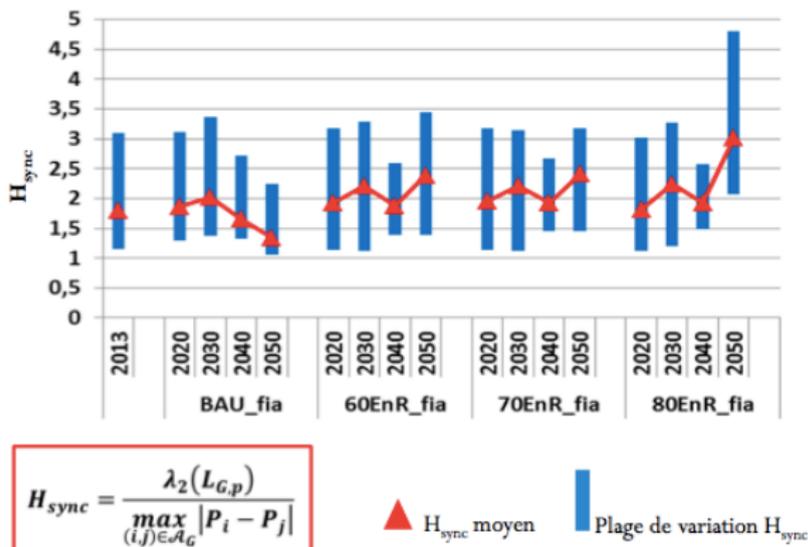
[V. Krakowski. Pénétration du renouvelable et stratégies de déploiement du réseau électrique : réconciliation des échelles spatiaux-temporelles dans les exercices prospectifs de long terme. thèse soutenue le 6 Décembre 2016, MINES ParisTech]

# Evolution de la capacité du système à faire face aux aléas



**Figure:** Evolution de la fiabilité du système électrique français ( $H_{cin}$ ) pour différents objectifs de pénétration du renouvelable, avec et sans contrainte de fiabilité (« fia » et « nofia »)

# Evolution de la stabilité du système électrique



$$H_{sync} = \frac{\lambda_2(L_{G,p})}{\max_{(i,j) \in \mathcal{A}_G} |P_i - P_j|}$$



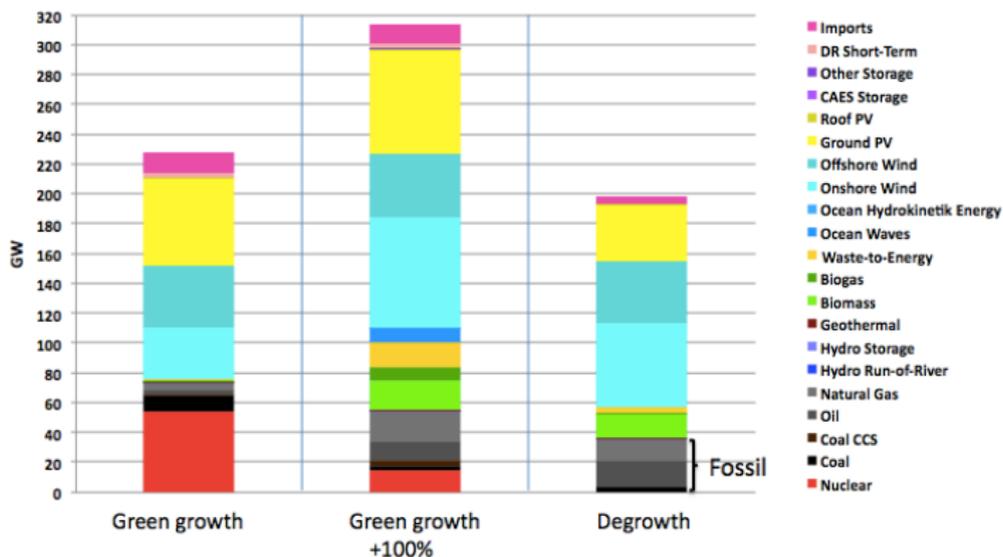
$H_{sync}$  moyen



Plage de variation  $H_{sync}$

Figure: Evolution de la stabilité du système électrique français ( $H_{sync}$ ) pour différents objectifs de pénétration du renouvelable

# Scénarios de croissance verte et de décroissance



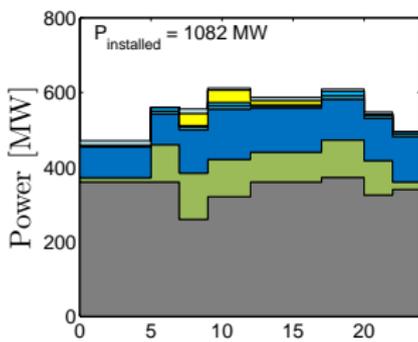
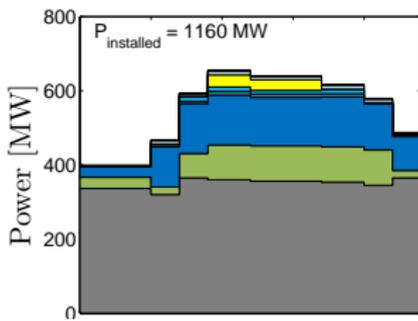
Le gaz et le charbon sont nécessaires à la sortie du nucléaire même dans les scénarios intégrant le concept de décroissance.

[F. Briens, PhD thesis, Dec 2015]

# Impact des Smart Grids Thèse S. Bouckaert

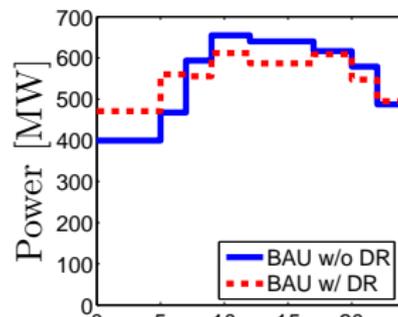
[S. Bouckaert, V. Mazauric, E. Assoumou, N. Maïzi. Smart grid and reliability of power supply: Demand response impact on future power mixes. 2013 ISBN 978-1-4673-5667-1]

Questionner l'apport de combinaisons: Demand response, stockage, EE pour le long terme



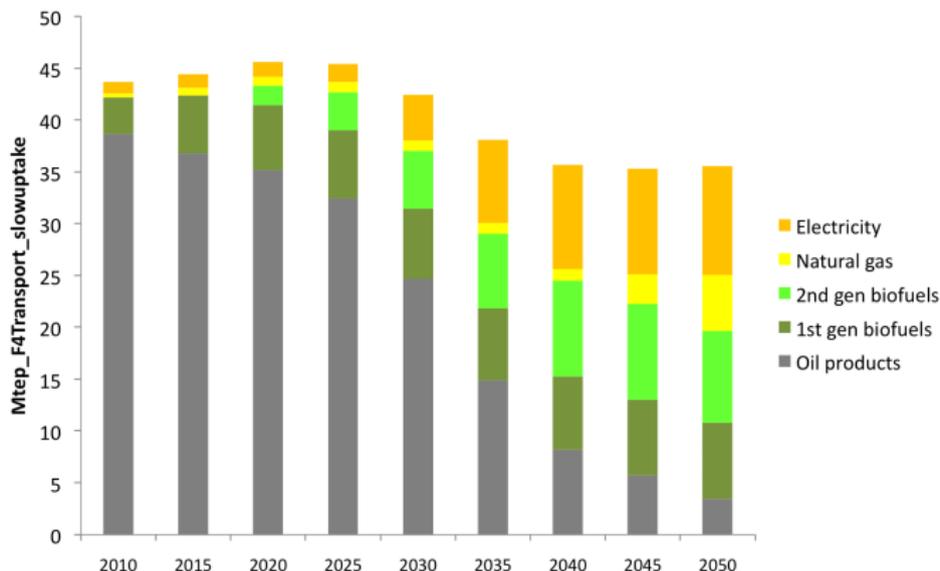
## Dynamique et Smart Grids

- des gains en capacité installée long terme
- gestion de la demande et "unit commitment" court terme



# Substitution du gaz dans le secteur des transports

[E. Assoumou, N. Maïzi, The changing role of natural gas in the French energy transition, SDEWES2015-0374. , Proceedings of the 10th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Sept 2015, Dubrovnik, Croatia.]



# Comportement et Modes de vie

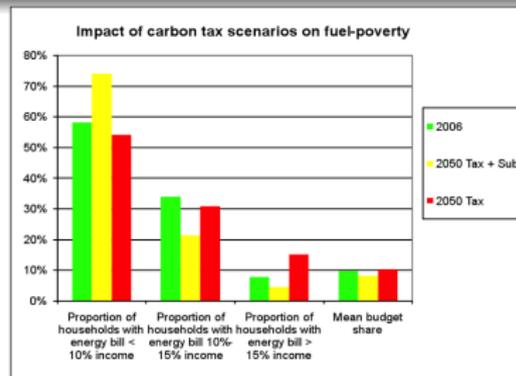
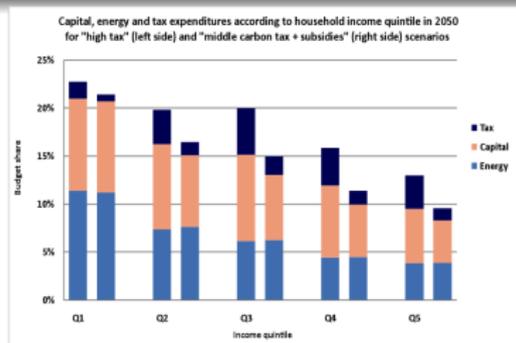
[J.-M. Cayla and N. Maïzi. Integrating behavior and heterogeneity into the TIMES-households model. Applied Energy (2015) vol. 139 pp 56-67.]

[T. Le Gallic, E. Assoumou, N. Maïzi, P. Strosser, Les exercices de prospective énergétique à l'épreuve des mutations des modes de vie, VertigO, 2015.]

[F. Briens, N. Maïzi, Coping with the complexity of socio-ecological systems : Investigating the Degrowth Paradigm through prospective Modeling, OkologischesWirtschaften 3.2014 (29)]



## Comprendre la consommation d'énergie des ménages



Households budget share dedicated to energy, capital and carbon tax according to their income for "high carbon tax" and "middle carbon tax + subsidies"

Impact of two policy tools on "fuel poverty"

# Faire de la prospective

## en s'appuyant sur une méthodologie

- qui permet d'évaluer la qualité de service à l'utilisateur
- qui donne des indications sur les coûts
- qui intègre les externalités
- qui évalue les compétitions sectorielles

et produit des éléments d'éclairage pour bâtir **les trajectoires bas carbonnes** compatibles avec l'enjeu climatique.

c'est la condition de l'élaboration d'une transition énergétique intelligente

*Travaillons donc à bien penser, c'est le principe de la politique. Pascal*

<http://www.modelisation-prospective.org/>



Chaire ParisTech Modélisation prospective  
au service du développement durable