



Chair Modeling for sustainable development



# Mais où est passée la croissance verte ?

Nadia Maïzi, MINES ParisTech

---

Fondation Tuck, le 29 Juin 2015

---



## Ce que l'on définit par vert

- Epreuve anticipée du baccalauréat en Sciences séries ES et L du Mardi 23 Juin :

*A propos du Thorium 232 : indiquer si l'expression futur nucléaire vert est appropriée ?*

Mais Vert pour signifier quoi ?

- Emissions de GES
- Caractère renouvelable
- Abondance des ressources
- Limitation des externalités

**Or souvent 'Vert' conduit à un amalgame avec les ressources renouvelables pourtant**

# L'équation verte est plus complexe qu'elle en a l'air

## ● Démographie:

- Croissance des pays émergents
- Remplacement des capacités dans les pays développés
- Densification urbaine:
  - 50% de la population dans les villes aujourd'hui, 80% in 2100
  - réseaux d'énergie à forte densité

## ● Terre: Un système chimique fermé

### ● Déplétion des ressources fossiles (et fissiles):

- Peak oil : 2020
- Peak gas : 2030
- Environ deux siècles pour le charbon et l'uranium
- Changement climatique:

- La génération électrique est à l'origine de **45%** des émissions de CO<sub>2</sub>
- L'efficacité du système électrique est de seulement **27%** (35% pour l'ensemble des vecteurs)

## ● Terre: Un système énergétique ouvert

- L'énergie domestiquée est **10.000** fois plus petite que le flux naturel (solaire, éolien, géothermie, marine)
- Mais les apports naturels sont très **dilués** et **intermittents**



# Diviser par 4 l'intensité carbone



Les faits

**× 2**

Demande d'énergie en 2050  
Demande d'électricité en 2030

Source: IEA 2008

vs

L'impératif

**÷ 2**

les émissions de CO<sub>2</sub> pour éviter  
des changements climatiques  
dramatiques d'ici 2050

Source: GIEC 2007, figure (vs. 1990 level)

Energy scarcity,  
Demography  
Resource access  
Energy prices

GHG emissions  
Climate change

Dispersed  
generation  
vs.  
dense urban zone

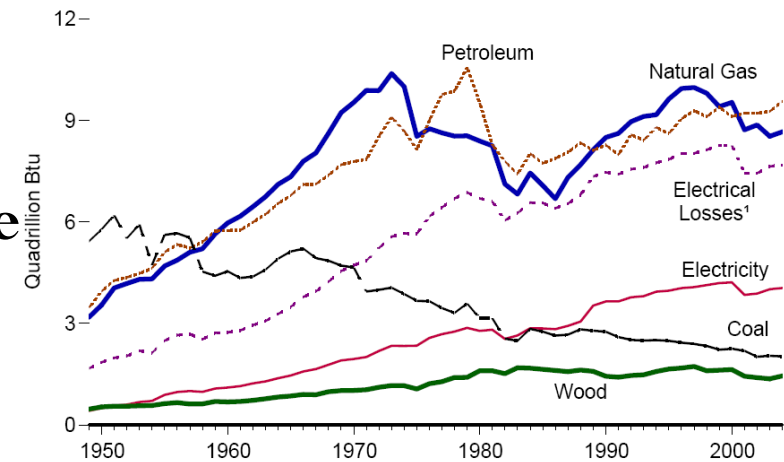
Reliability  
of supply

# Des conséquences qu'il faut savoir maîtriser

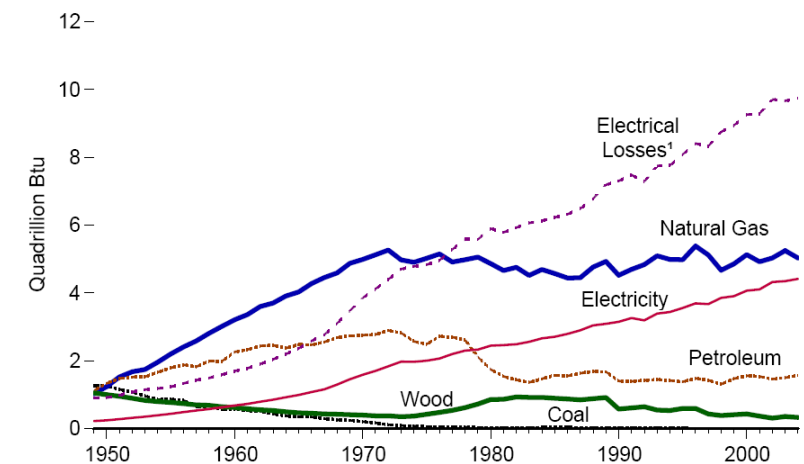


Quel que soit :  
le secteur  
le pallier technologique  
le cycle économique  
aux USA

Industrial, By Major Sector

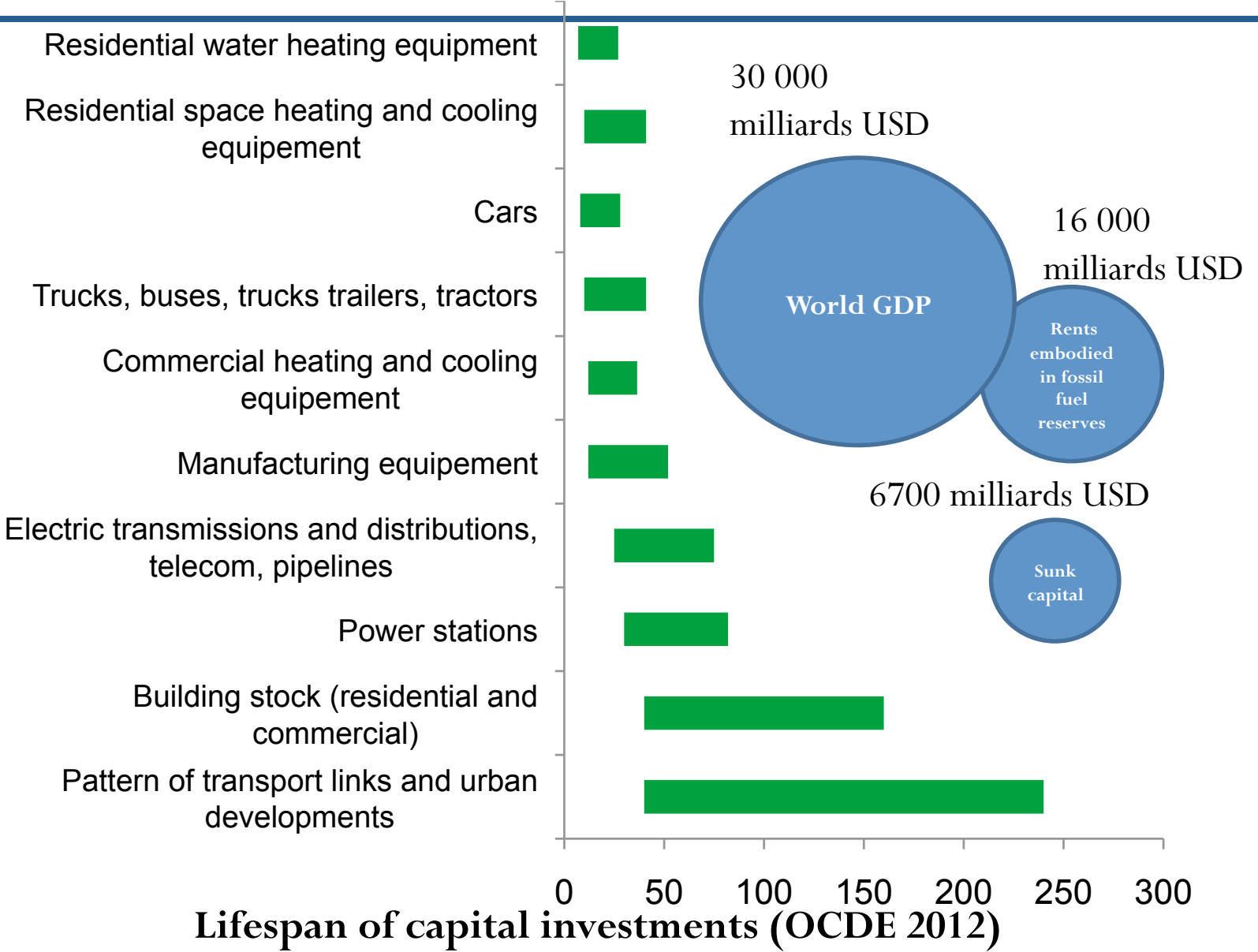


Residential, By Major Sector



Une évolution d'autant  
plus critique que  
l'électricité s'impose  
comme le  
vecteur d'énergie universel

# Productivisme et inertie des investissements



Lifespan of capital investments (OCDE 2012)



## En ligne, le déploiement du renouvelable

Accompagner la croissance de la demande

- Déployer les solutions renouvelables en ligne avec les **cibles institutionnelles** :
  - Niveau national (loi TE) : 32% de renouvelable dans la consommation finale d'énergie et 40% dans la production d'électricité en 2030
  - Niveau Européen : 20% consommation d'énergie finale 2020/27% à 2030.
- Les perspectives de déploiement du renouvelable après la chute des coûts du PV en 2011 (d'après l'AIE)
  - 18% en 2010 du mix primaire
  - 36 % en 2030 (basées sur les technologies existantes)
  - % plus élevés dans le mix électrique



## Croissance verte : vision productiviste

- **Plus de la moitié** de la capacité de production d'énergie installée dans les **15** dernières années est renouvelable
- Pour les pays en développement : **plus de la moitié** des investissements
- Des drivers différenciés par région :
  - Sécurité d'approvisionnement
  - Changement climatique
  - Préoccupations environnementales : pollution (eau, air), raréfaction ressources (eau)

Enfin, une reproduction du schéma actuel en direction des **énergies décarbonées** avec des externalités différentes :

- sur les ressources de structure : cuivre, acier, matériaux rares
- sur les systèmes de production

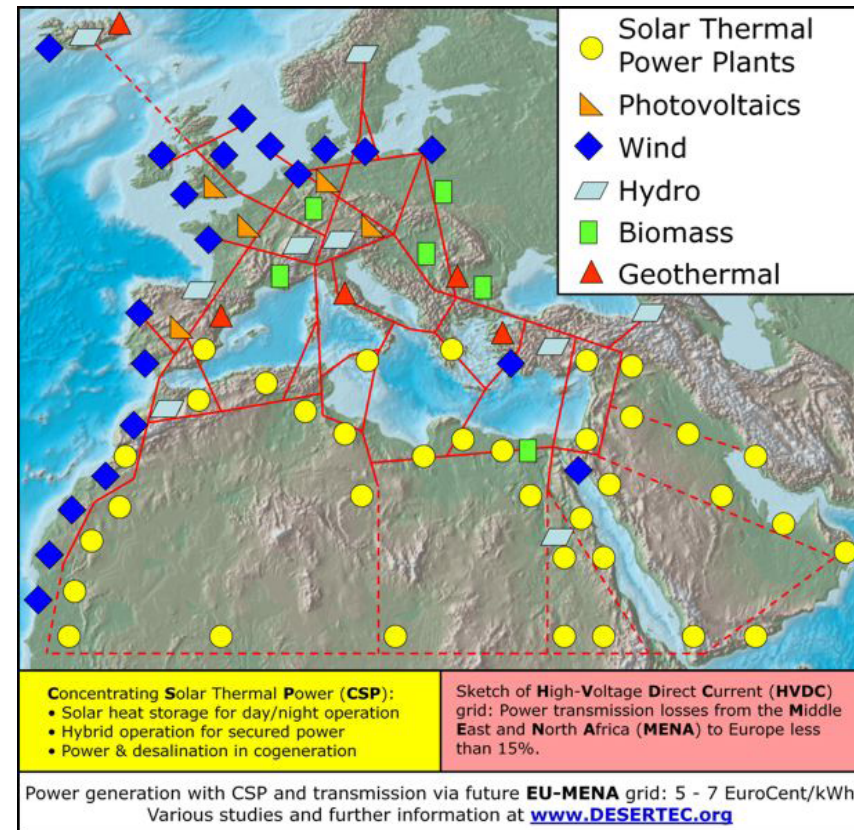


# Les enjeux d'une transition énergétique intelligente



## Démêler l'imbraglio de solutions

- pour la génération
- d'instruments et mesures
- de bouquets techniques

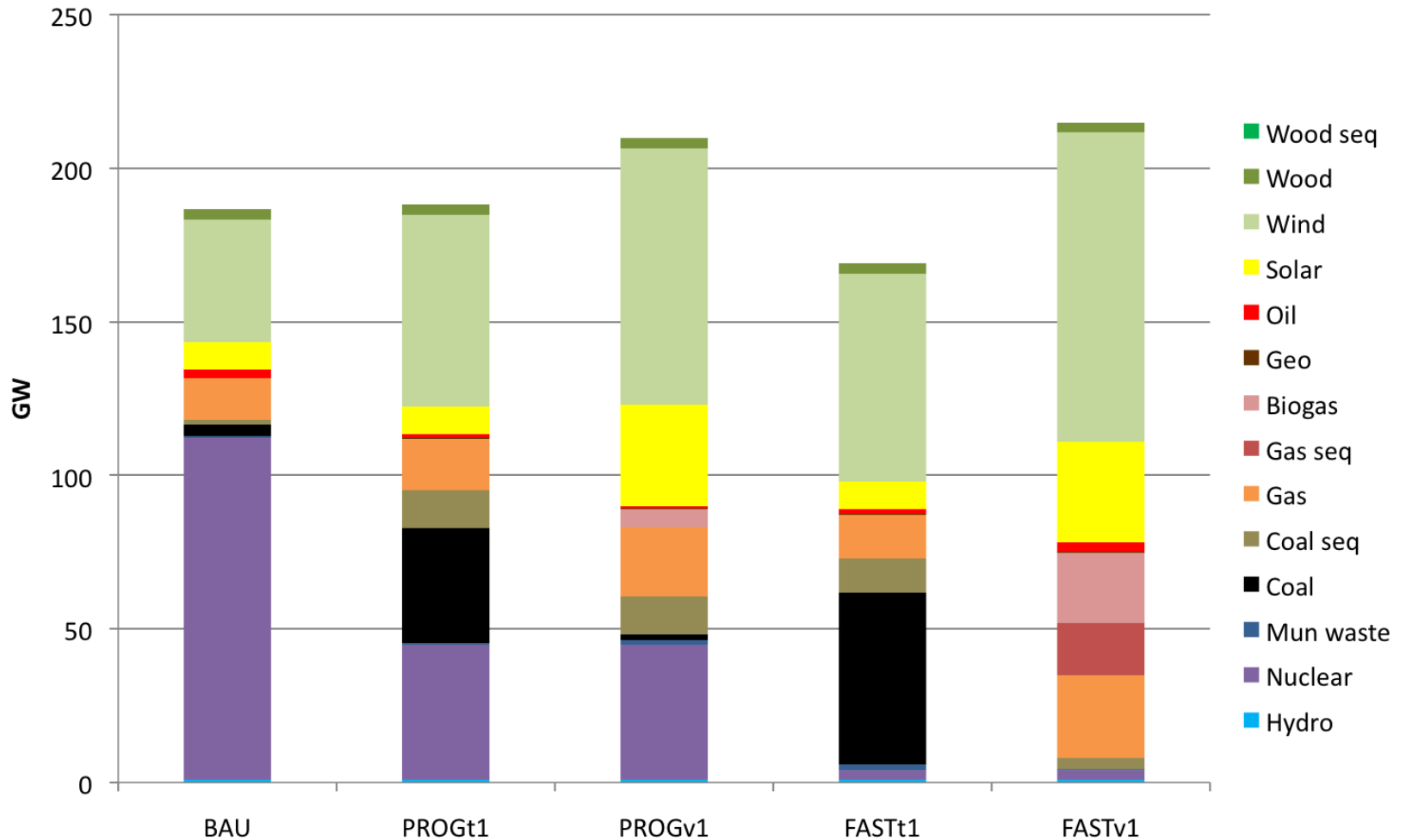


Production d'électricité tout renouvelable en 2050. Source : Desertec.

Nadia Maïzi - CMA - MINES ParisTech



# Sortir du nucléaire en France



Capacités cumulées de production d'électricité

N. Maïzi, E. Assoumou, Future prospects for nuclear power in France, Applied Energy (2014), pp.849-859, DOI information: 10.1016/j.apenergy.2014.03.056.

# De la plausibilité des systèmes électriques

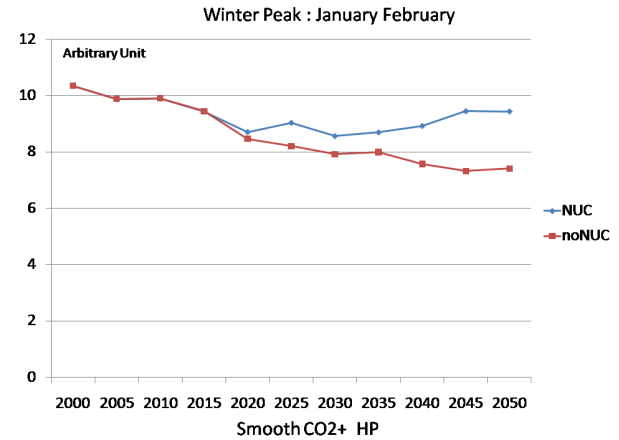
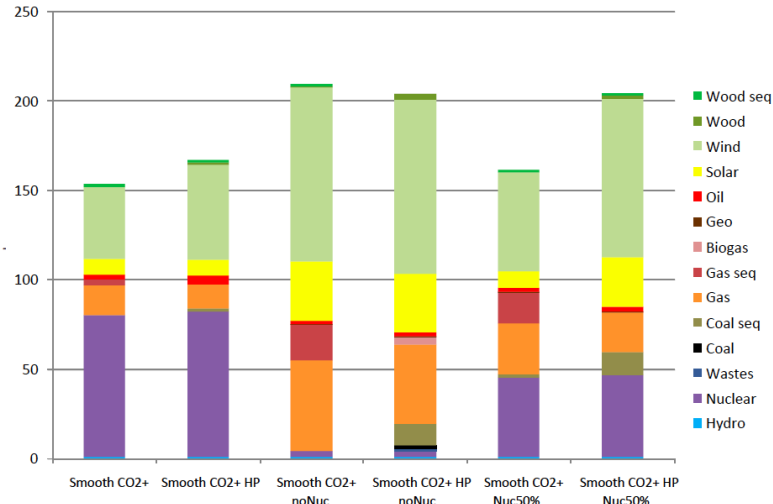


## La fiabilité

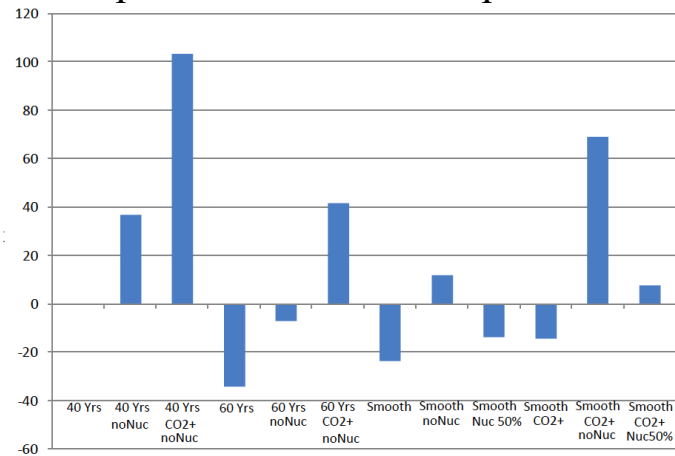
Réconcilier le court terme  
et le long terme



# Et conséquences de la pénétration du renouvelable

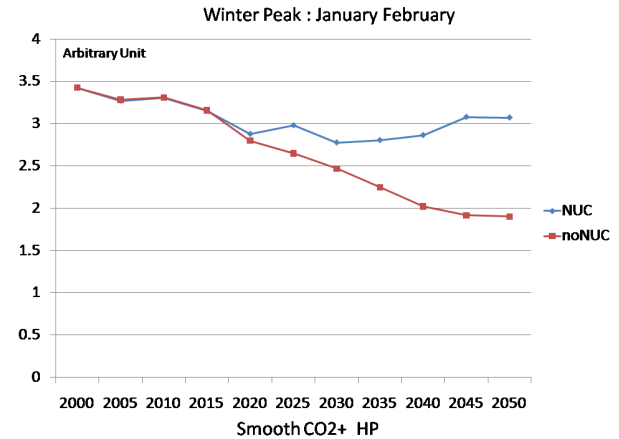


## Capacités cumulées de production



## Surcoûts/BAU

## Réserves dynamiques / fiabilité

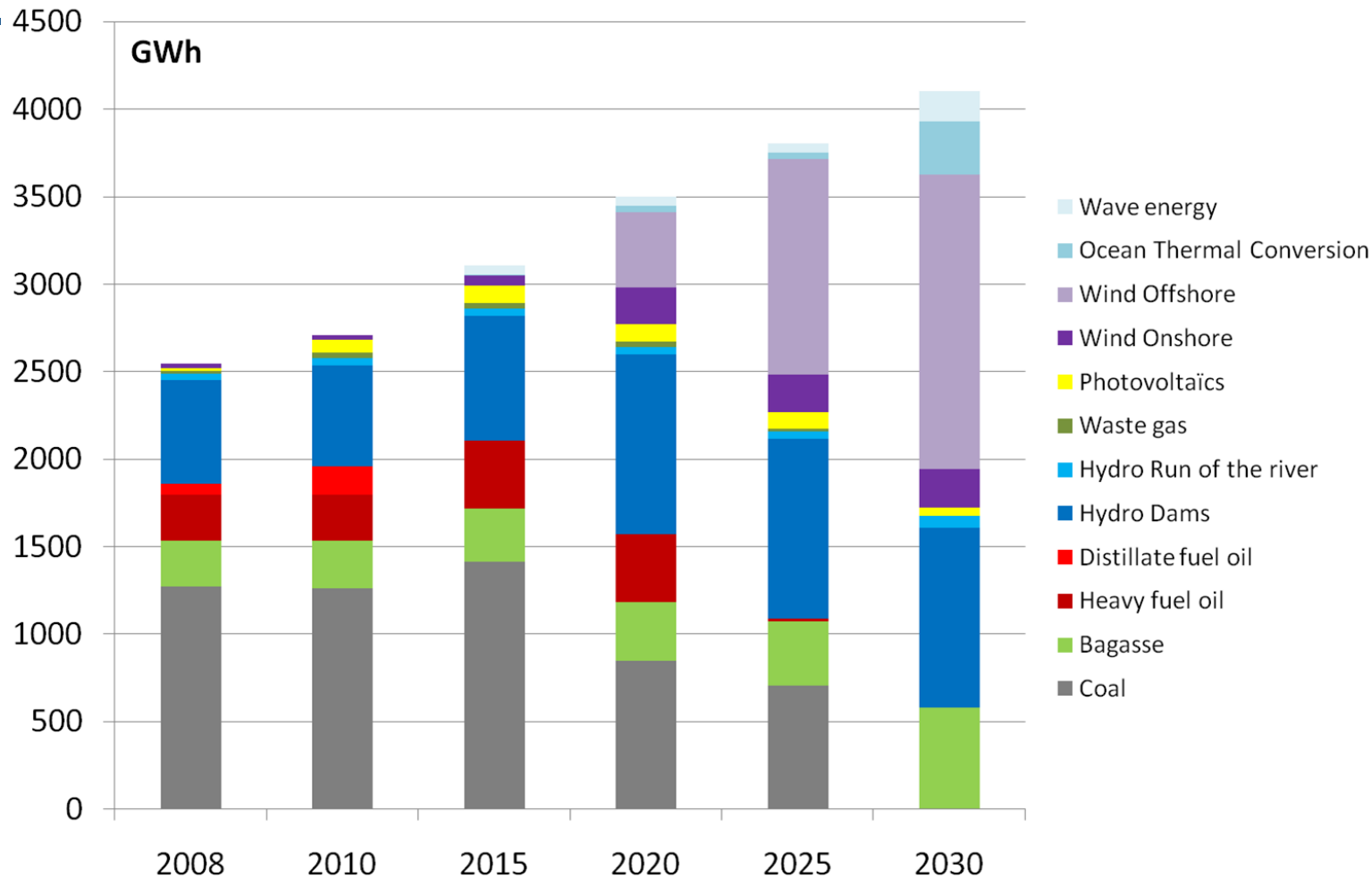


Un arbitrage qui repose sur le niveau de fiabilité et l'acceptation sociale du surcoût.  
 Nadia Maïzi - CMA - MINES ParisTech

# Exploiter l'océan, les vents, le soleil



# La Réunion : les conditions pour une île 100% renouvelable en 2030



Production d'électricité pour un scénario 100% renouvelables en 2030 (Mer)

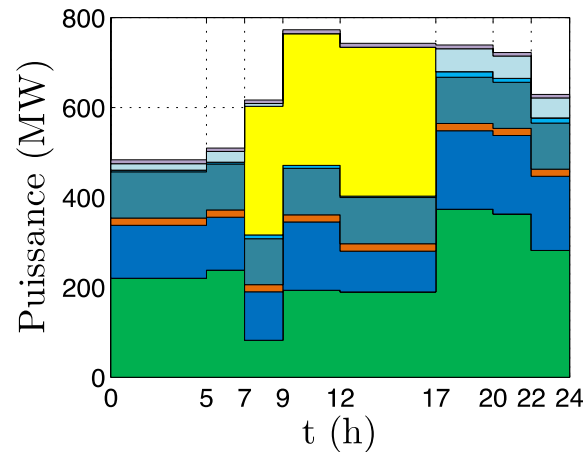
M. Drouineau, E. Assoumou, V. Mazauric, N. Maïzi, Increasing shares of intermittent sources in Reunion Island: impacts on the future reliability of power supply, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 06/2015; 46. DOI: 10.1016/j.rser.2015.02.024



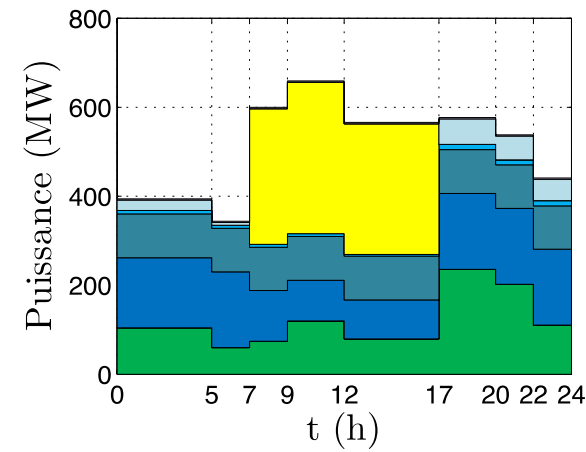
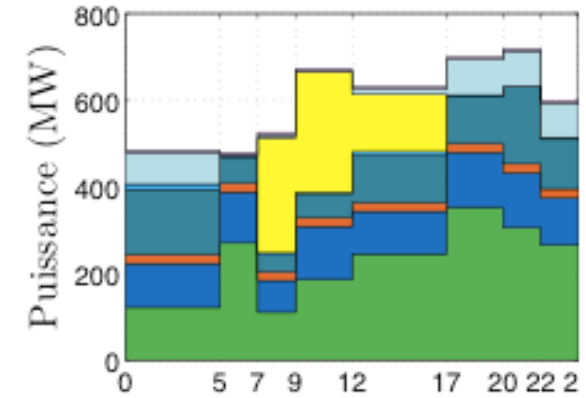
# Apport de combinaisons techniques

Un jour d'été type en 2030  
à La Réunion 100% renouvelable :

Perte en fiabilité



ENRint  $\geq 50\%$   
 $\nearrow$  % capacités : 9.4



ENRint  $\geq 50\%$   
 $\searrow$  % capacités : 6

■ BAGWOO 
 ■ COB 
 ■ DAM 
 ■ GEO 
 ■ OCE-ETM 
 ■ RUN 
 ■ SOL 
 ■ OCE-WAV 
 ■ WIN



## Un paradigme de croissance à rediscuter

« Travaillons donc à bien penser, c'est le principe de la politique. »

sans quoi **TOUTES** les transitions sont envisageables

Et sans négliger la **PLACE** du citoyen.

[www.modelisation-prospective.org](http://www.modelisation-prospective.org)

[www.cma.mines-paristech.fr](http://www.cma.mines-paristech.fr)