

Réconcilier les échelles de temps du système électrique: une approche multi-modèles dans les exercices de prospective.

Yacine ALIMOU

CMA - Centre de Mathématiques Appliquées

18 Avril 2019, Séminaire multi-échelles, Chaire MPDD, Paris

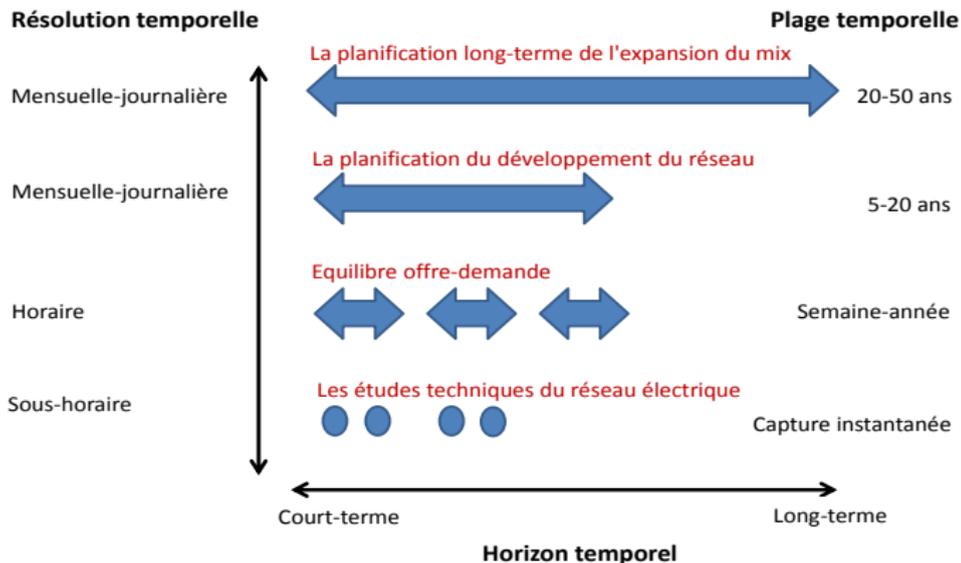


En quelques mots

« Il ne s'agit pas de choisir entre **prévision** et **prospective**, mais de les associer. Chacune exige l'autre. Il faut, à la fois, savoir dans quelle **direction** l'on marche et **s'assurer** de l'endroit où l'on va poser le pied pour le prochain pas. »

Textes fondamentaux de la prospective française 1955-1966 par Gaston Berger

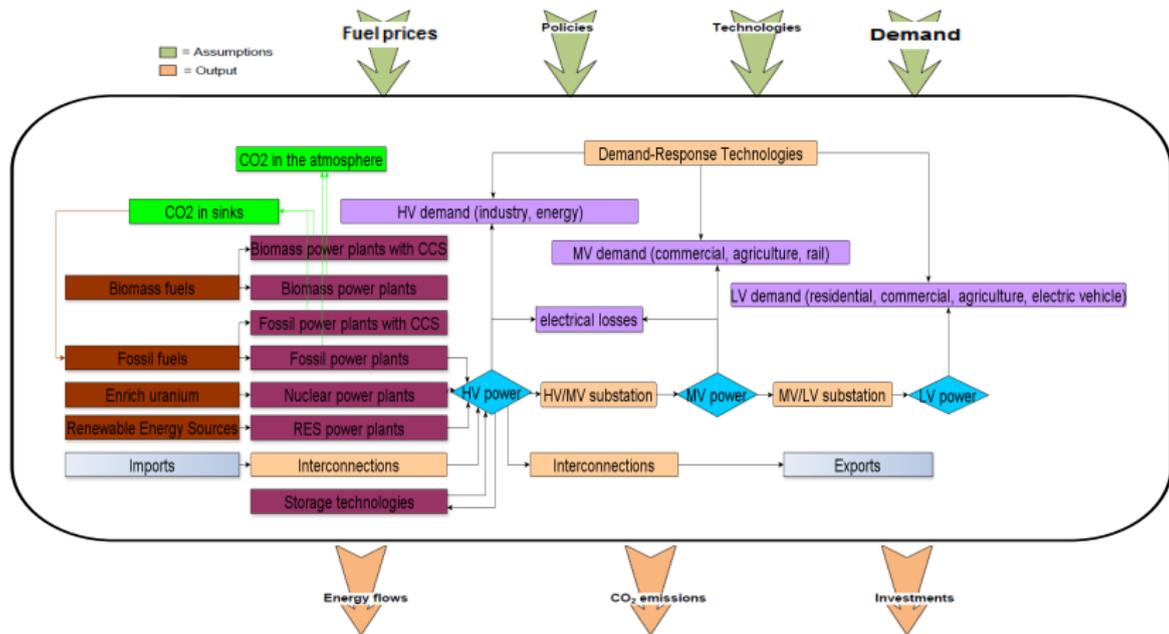
Dynamiques temporelles associées au système électrique



(source IRENA)

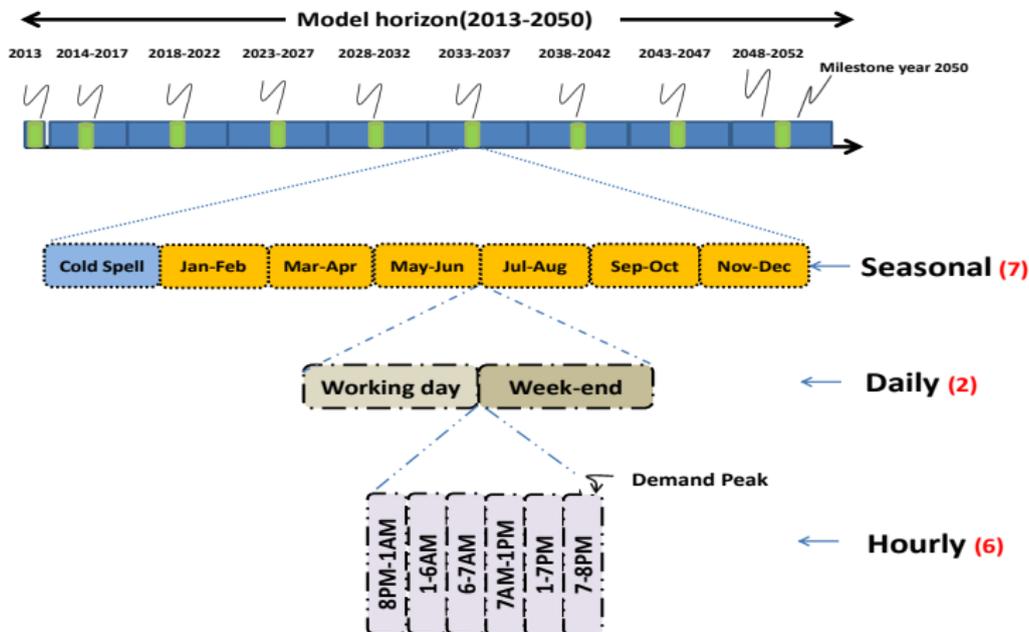
- Réconcilier les échelles de la planification long-terme des investissements, de l'EOD et des études de stabilité.

TIMES-ELC-FR : un outil de planification optimal



- ▶ Modèles prospectif dédié à l'étude du système électrique français.
- ▶ Choix du scénario 60% de production EnR à l'horizon 2050 (avec une ambition de 40% en 2030).

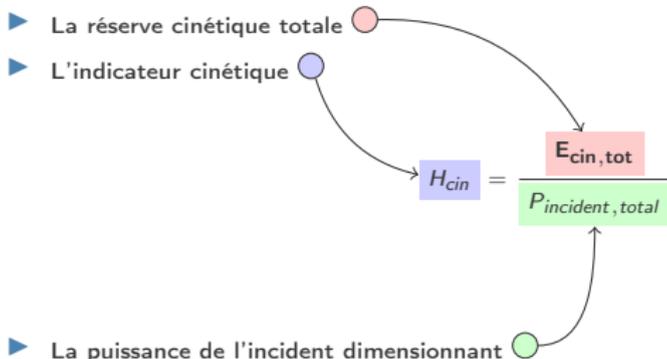
La représentation temporelle dans TIMES-FR



- ▶ TIMES-FR utilise *84 time-slices* pour représenter la variabilité inter-annuelle de l'offre et de la demande ($\simeq 1\%$ des 8760 heures de l'année).

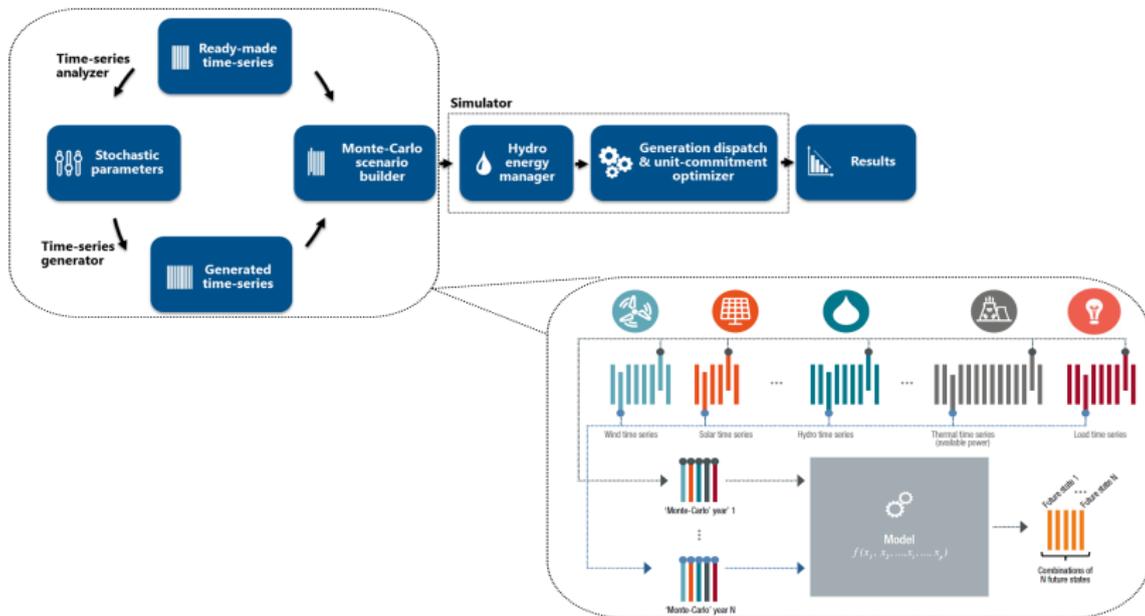
Un indicateur de fiabilité pour étudier la stabilité

$$H_{cin} \geq \min_{\text{primaire}} H_{cin} = 30s$$



- ▶ H_{cin} représente la durée pendant laquelle le stock d'énergie cinétique permet de faire face à une fluctuation équivalente de charge (i.e. la production du système est brusquement déconnectée).
- ▶ Plus l'indicateur est grand, moins la fréquence et la tension dévient.

ANTARES, un outil probabiliste pour l'étude de l'EOD



- ▶ ANTARES utilise un faisceau de 200 scénarios de prévisions climatiques de la demande électrique et du productible renouvelable (RTE & Météo France).

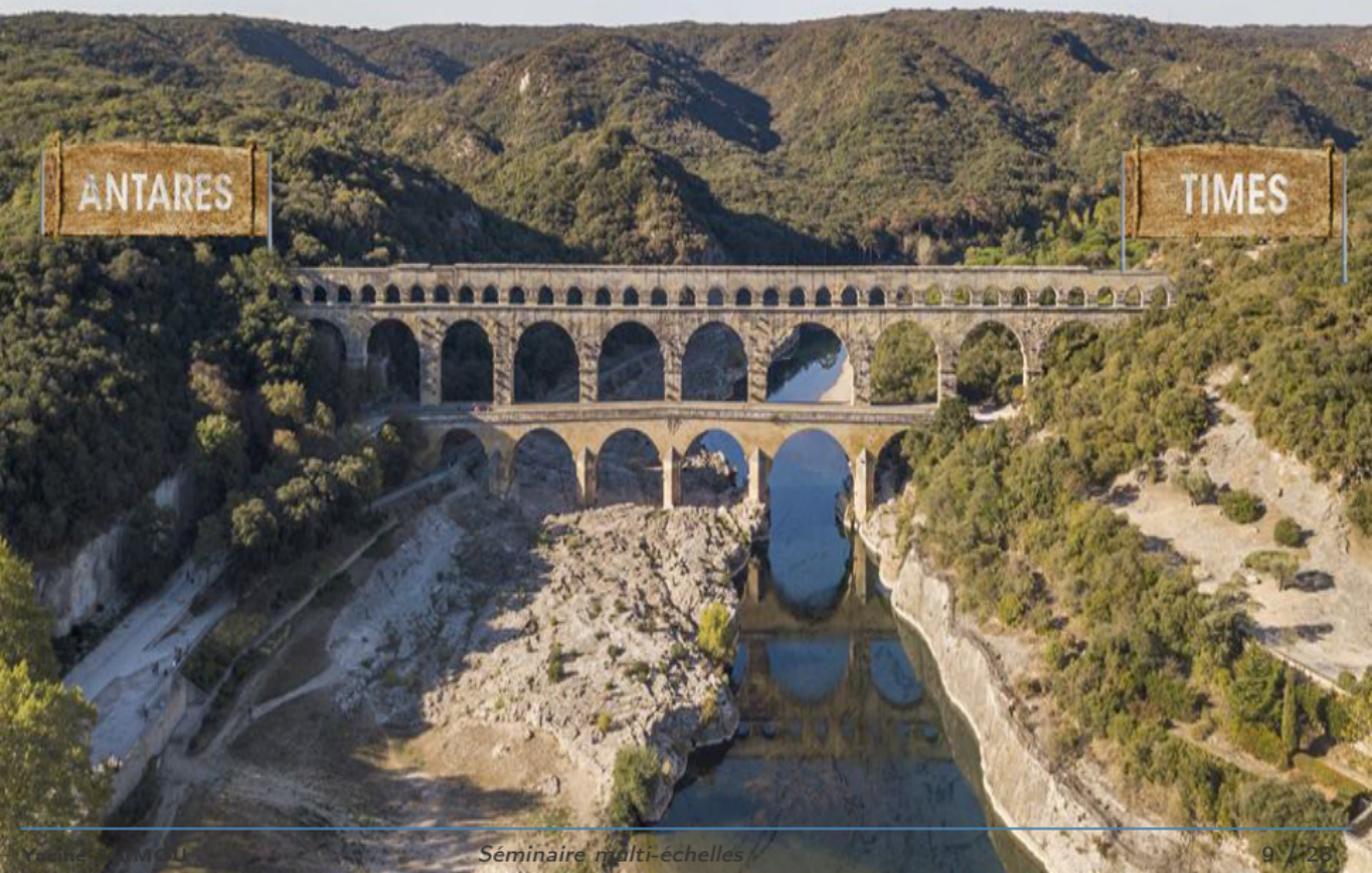
Réconcilier : deux solutions contrastées

Approche intégrée

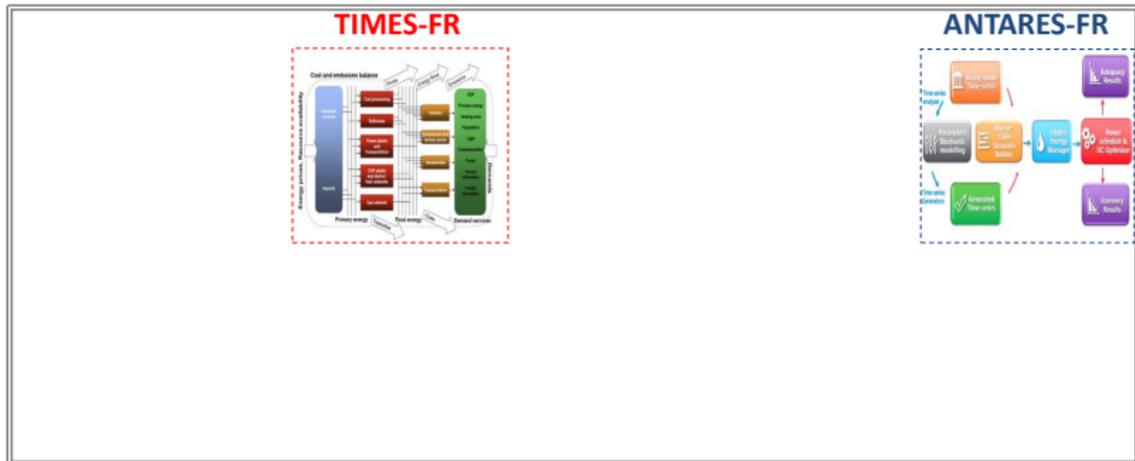
- ▶ Utilisation d'un seul outil
- ▶ Intégration de contraintes additionnelles pour mimer certaines propriétés du court-terme
- ▶ Optimalité garantie
- ▶ Augmentation de la complexité du problème

Approche multi-modèles

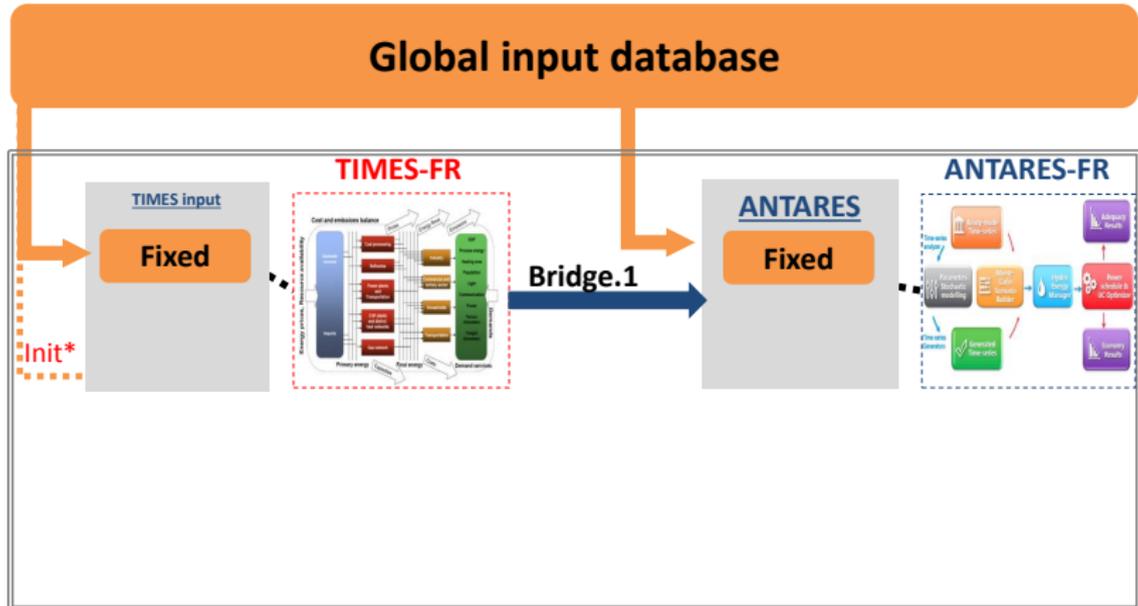
- ▶ Utilisation de plusieurs outils
- ▶ Chaque outil apporte sa propre expertise dans un exercice de couplage
- ▶ *soft-linking* vs *hard-linking*
- ▶ Optimalité non garantie
- ▶ Temps de calcul raisonnable



Réconcilier planification et EOD

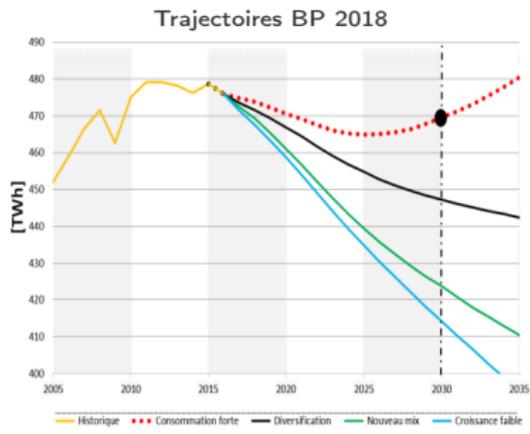


Réconcilier planification et EOD : couplage

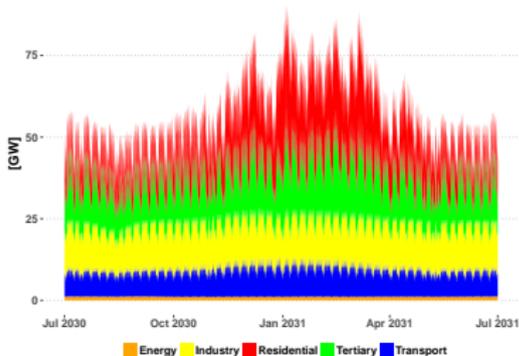


*Init: Initialization

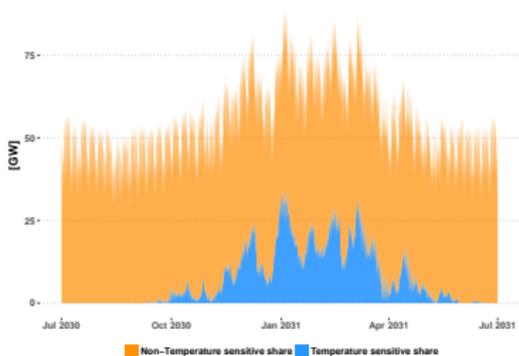
Consistance des données : exemple de la demande électrique



Scénario médian

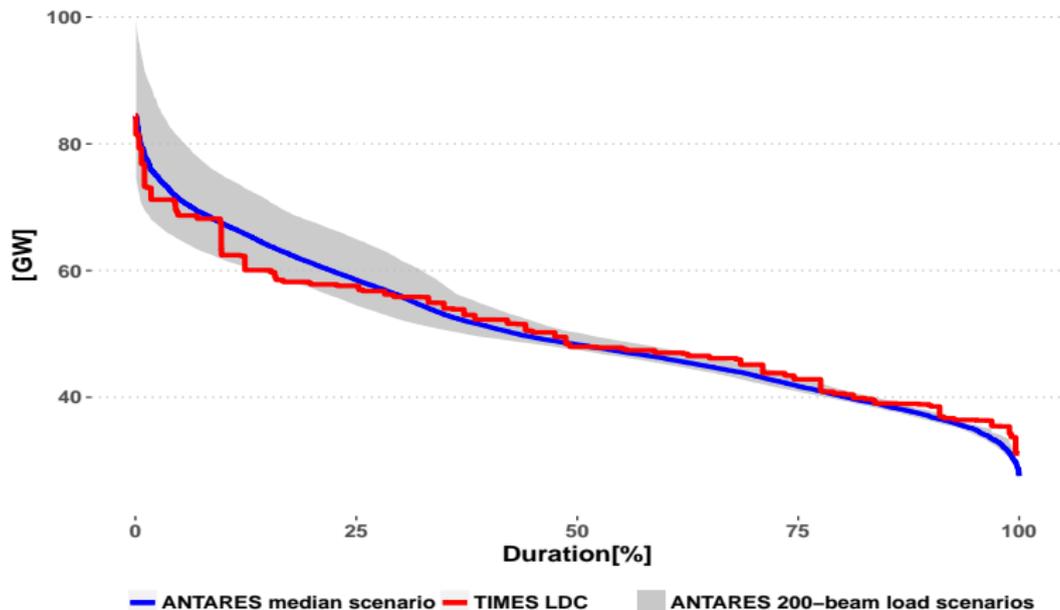


Thérmosensibilité



Consistance des données : exemple de la demande électrique

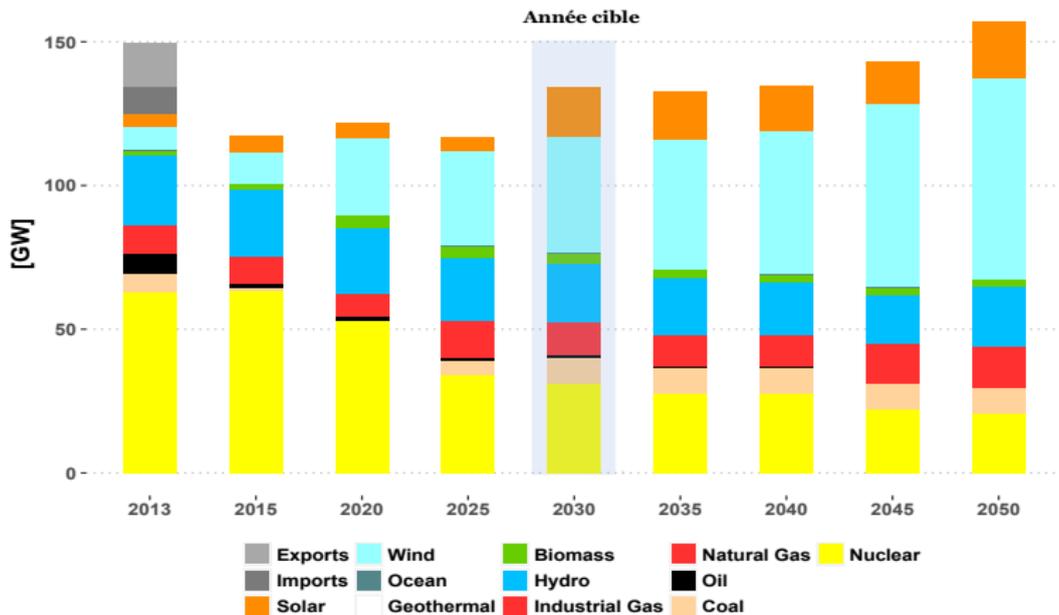
La construction de la monotone de charge de TIMES



- ▶ Les *84 times-slices* permettent une approximation acceptable de la variabilité de la monotone de charge.

2030 : l'année du couplage TIMES-ANTARES

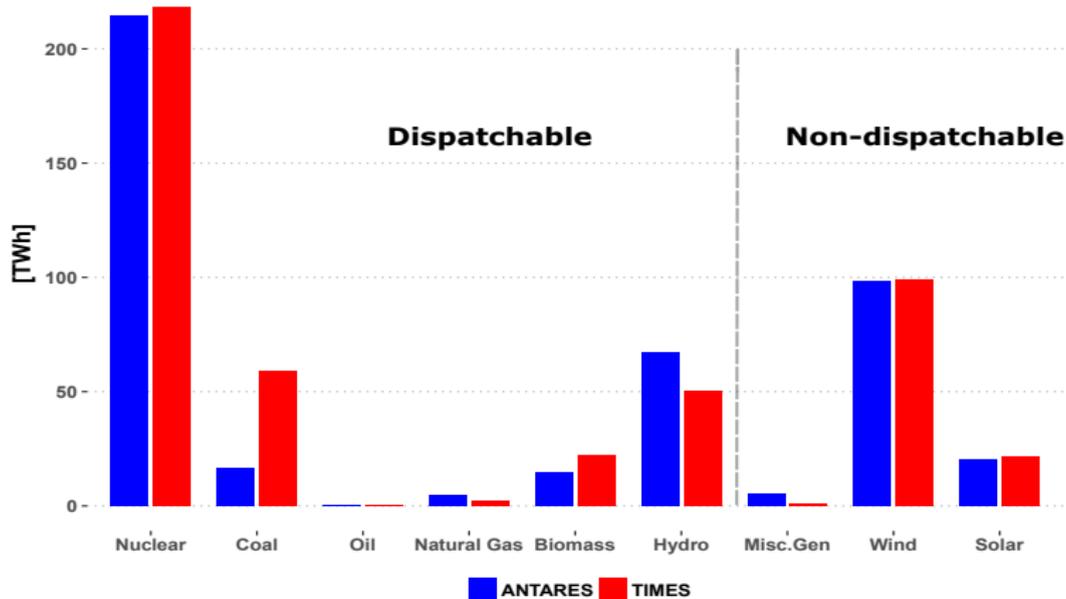
Mix de production électrique (capacités installées) évalué par TIMES (2013-2050)



Le parc de production décidé par TIMES en 2030 est transféré à ANTARES.

Point de mesure 1 : la production annuelle

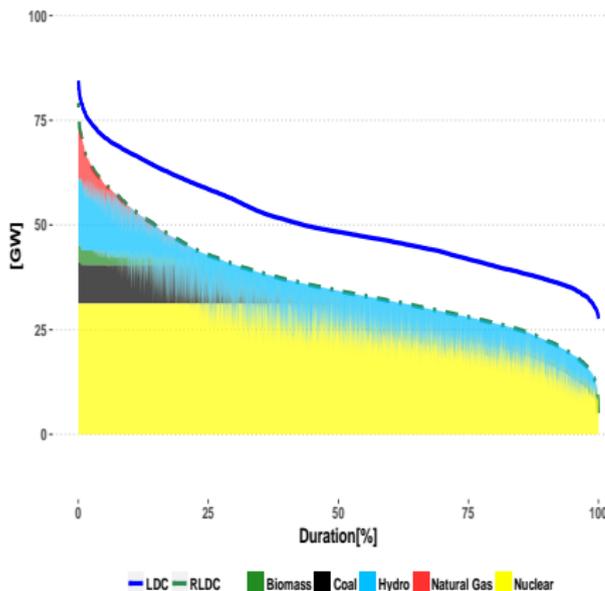
2030, ANTARES sc.médian vs TIMES



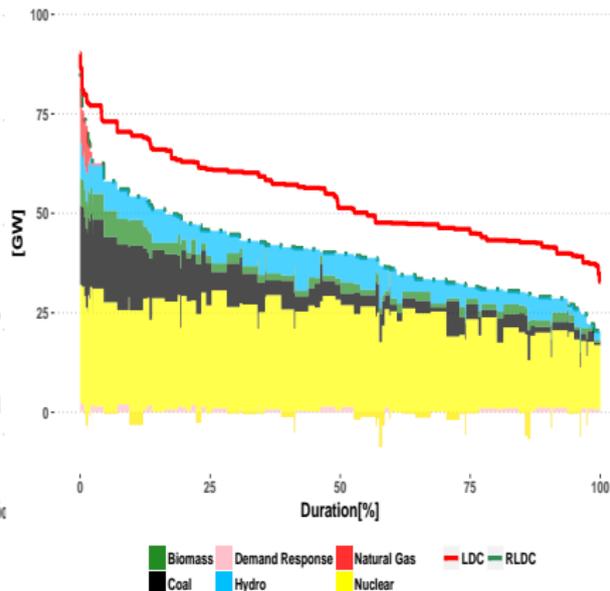
- ▶ Différence négligeable pour le nucléaire (base) et les EnR.
- ▶ TIMES sur-estime la production des moyens de semi-base (charbon et biomasse).
- ▶ TIMES sous-estime la production des moyens de pointe (gaz naturel).

Point de mesure 2 : le programme de production

2030, vu par ANTARES, scénario médian



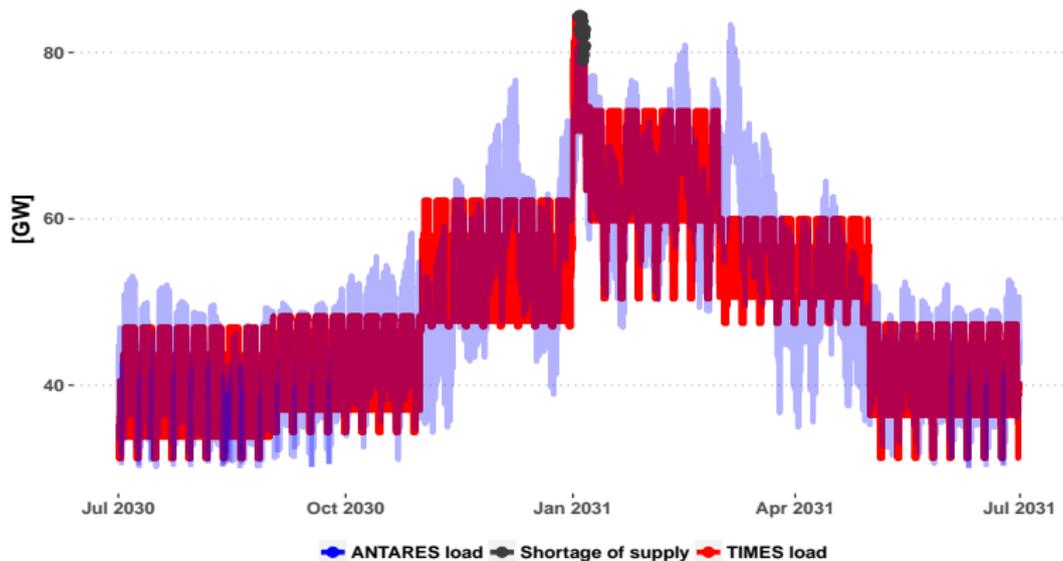
2030, vu par TIMES



- ▶ TIMES sur-estime la monotone de charge résiduelle (demande - production EnR) par rapport à ANTARES

QUID de la défaillance : aspect I

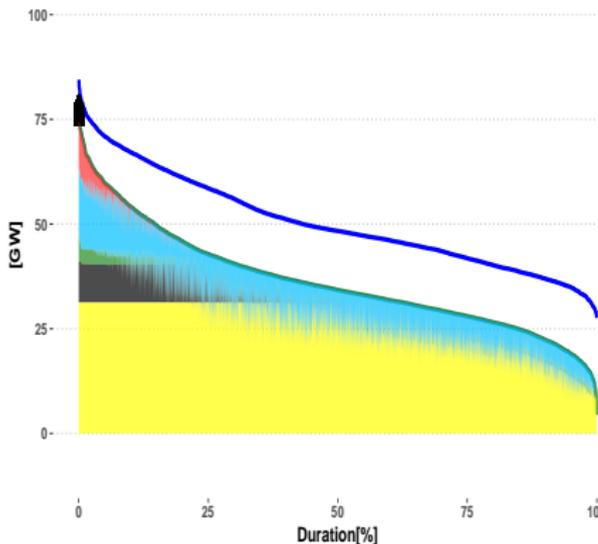
Localisation temporelle de la défaillance du scénario médian **13 heures**



- ▶ La majorité des heures de défaillance se situent au niveau de la pointe de la demande électrique. Mais au delà...

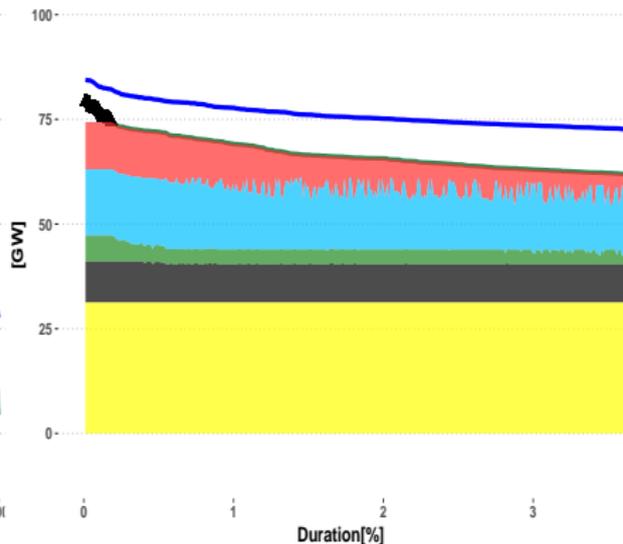
QUID de la défaillance : aspect II

Programme de production en 2030



▲ Shortage — LDC — RLDC — Biomass — Coal — Hydro — Natural Gas — Nuclear

Zoom sur le pic

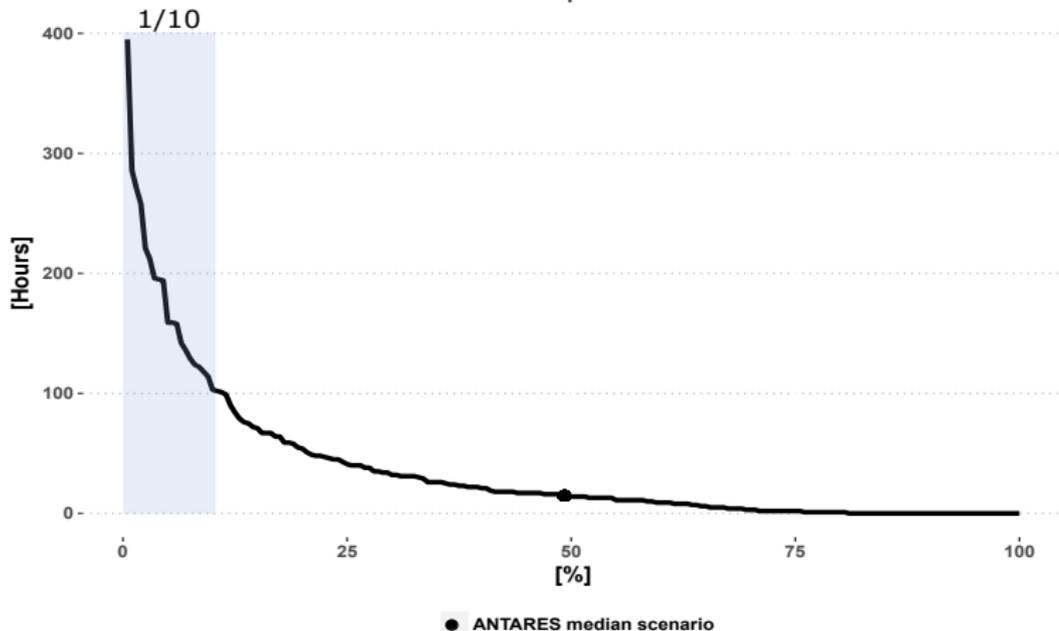


▲ Shortage — LDC — RLDC — Biomass — Coal — Hydro — Natural Gas — Nuclear

- ▶ Les heures de défaillance sont accompagnées d'une faible production EnR (pointe de la monotone résiduelle).

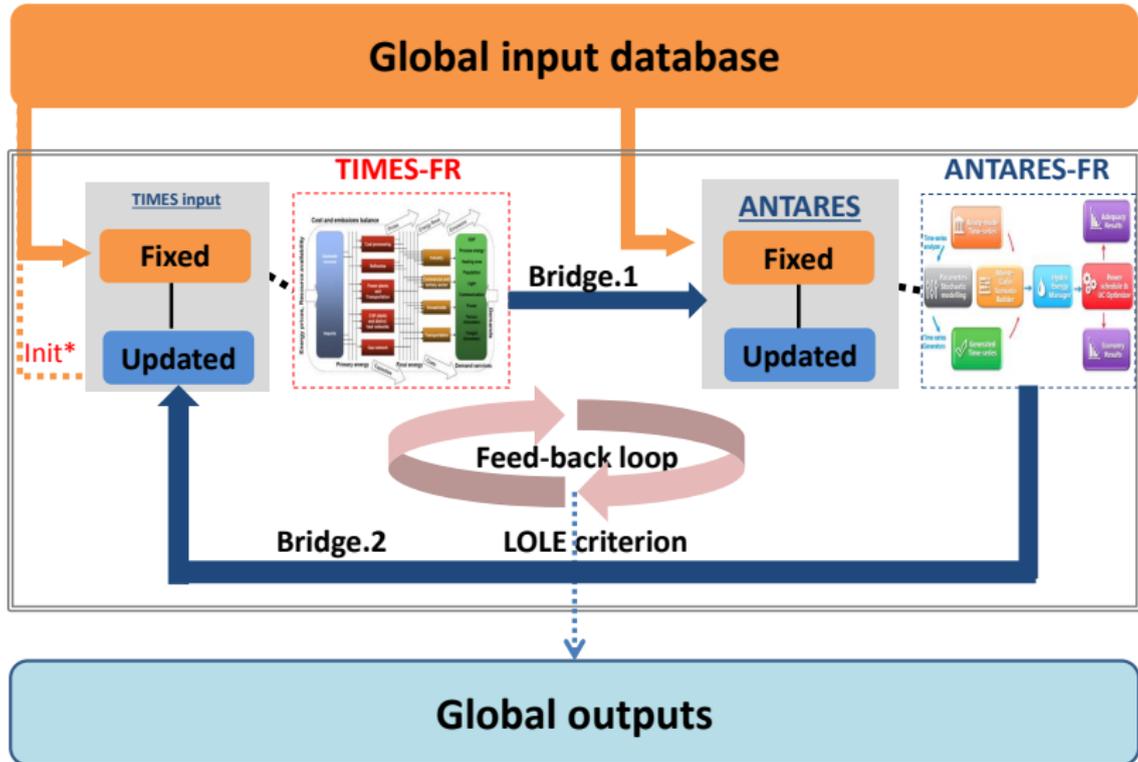
QUID de la défaillance : aspect III

Monotone d'heures de défaillance pour 200 années de simulation



- ▶ Le mix de production décidé par TIMES en 2030 ne respecte pas le critère de défaillance réglementaire ($LOLE = 36h$).

Réconcilier planification et EOD : critère

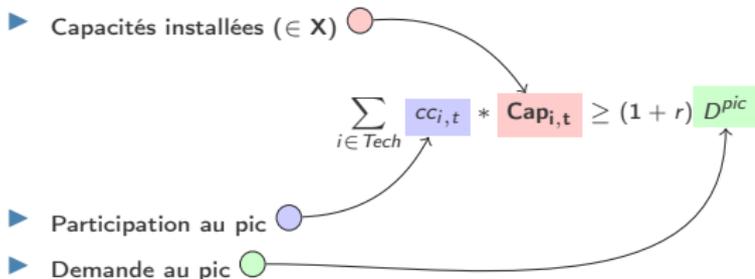


*Init: Initialization

Équation centrale de bouclage

$$\underset{x \in X}{\text{minimiser}} \quad f(x)$$

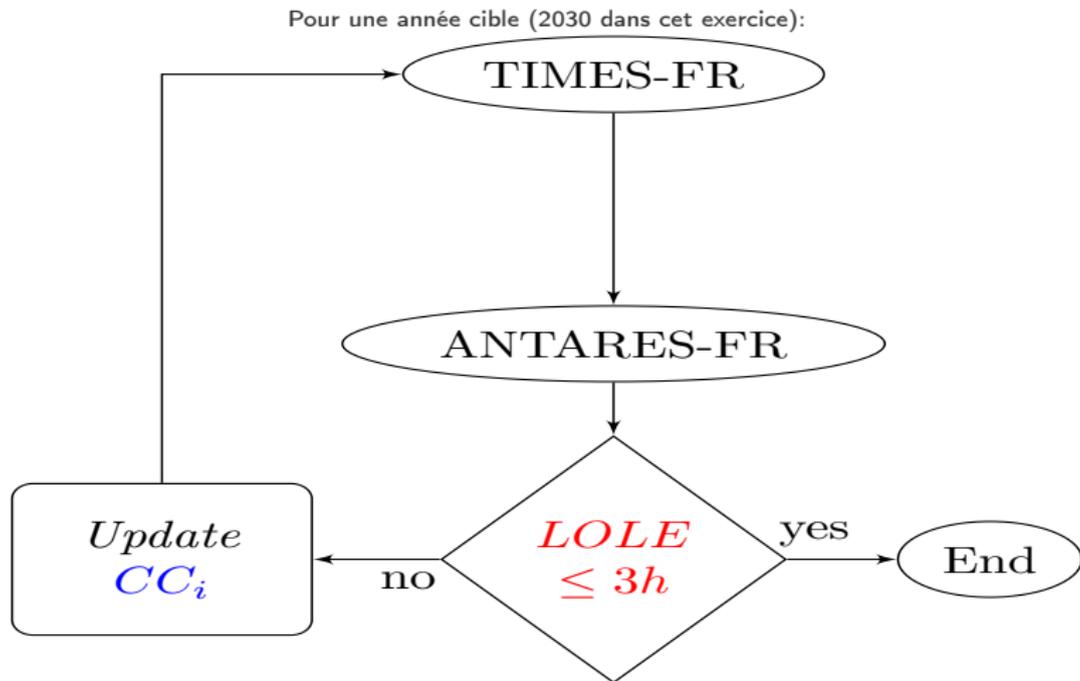
Équation-contraente de dimensionnement du parc de TIMES:



$$cc_{i,t} = \underset{s \in S_{\text{ANTARES}}}{\text{median}} \left\{ \frac{LDC_{i,t}^s(t' = 1) - RLDC_{i,t}^s(t' = 1)}{\text{Cap}_{i,t}} \right\}$$

- ▶ De l'importance d'incorporer les facteurs de participation des technologies pour un dimensionnement adéquat du parc de production.

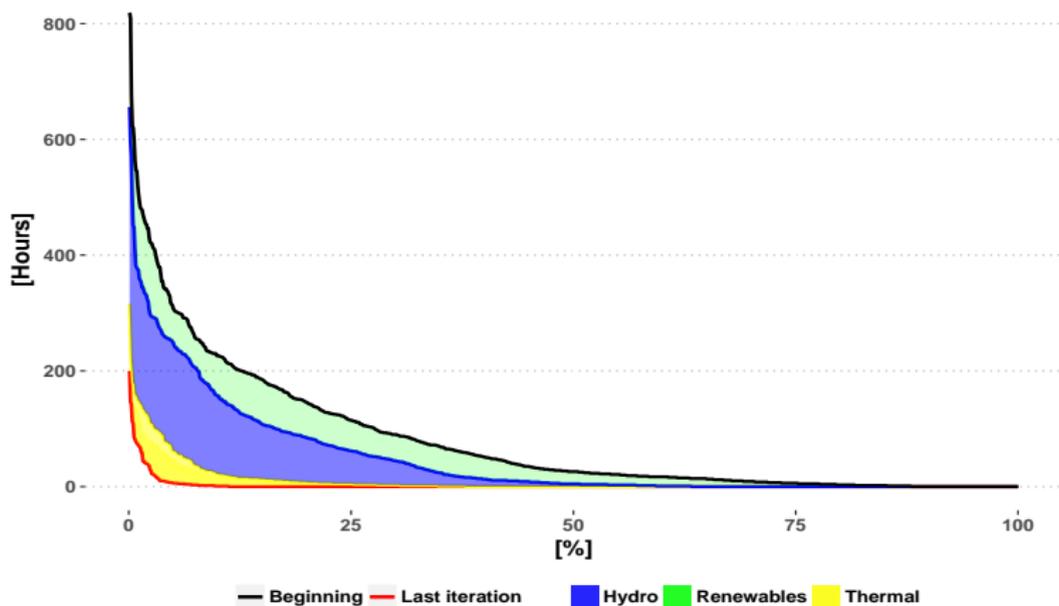
Schéma de bouclage



- La mise à jour des facteurs cc_i se fait technologie par technologie: chaque itération traite une technologie précise.

Impact du bouclage sur la défaillance en 2030

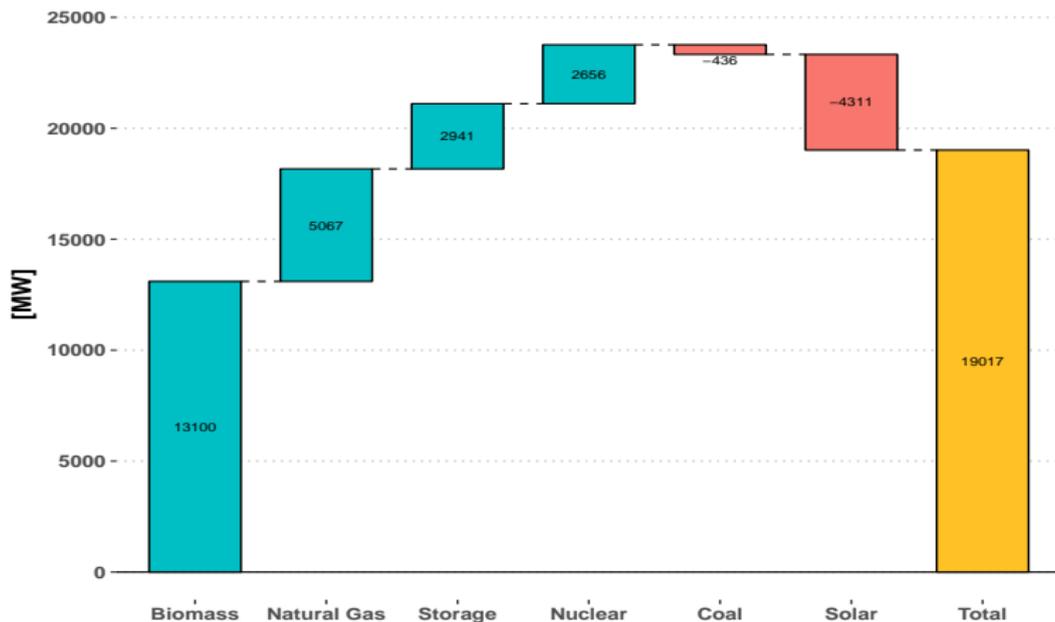
LOLE : 79h \Rightarrow 2h



- ▶ En 7 itérations, TIMES propose un mix optimal respectant (a posteriori) le critère de défaillance réglementaire.

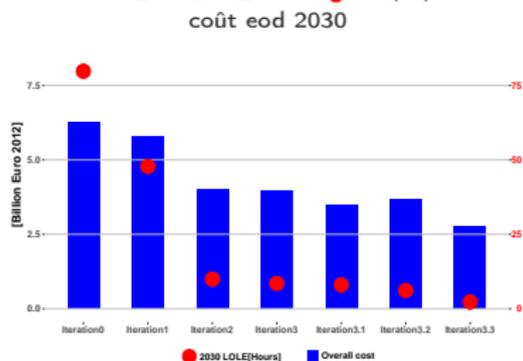
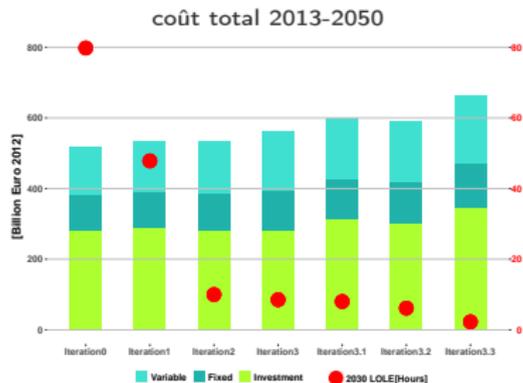
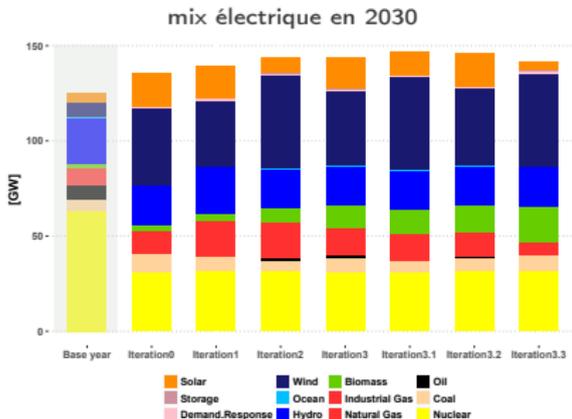
Impact du bouclage sur le mix électrique

Passage de l'itération 0 à l'itération 7



- ▶ Un changement substantiel du mix.
- ▶ 19 GW de capacités additionnelles pour assurer le critère d'adéquation réglementaire de 3h.

Le coût du bouclage

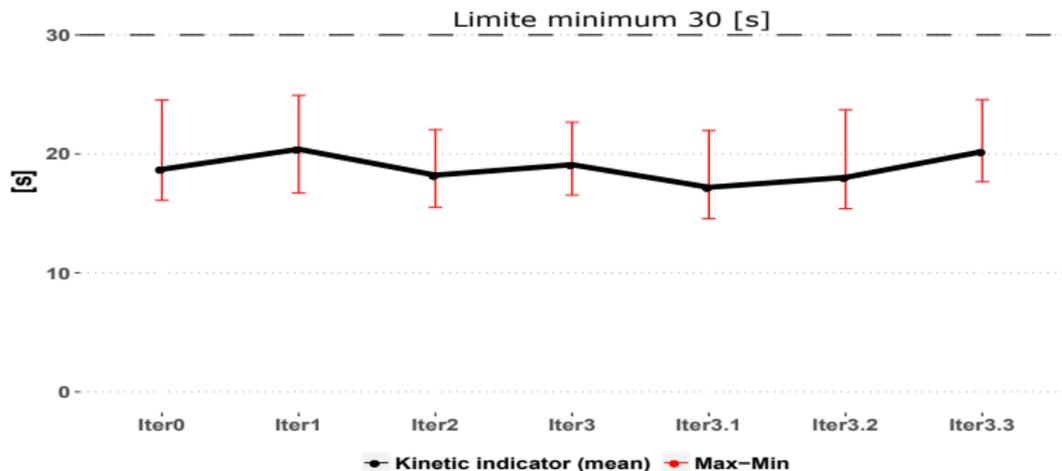


- ▶ Au niveau de la planification: un besoin d'investissement supplémentaire de 28%.
- ▶ Au niveau opérationnel: un gain de 50% dû principalement à la réduction de la défaillance.

Réconcilier planification, EOD et stabilité

- ▶ La sécurité au sens de l'indicateur de fiabilité

H_{cin} de l'itération 0 à l'itération 7



- ▶ L'adéquation au sens du *LOLE* *n'implique pas* la fiabilité au sens de l'indicateur de stabilité.
- ▶ Une approche intégrée (endogénéisant la contrainte de fiabilité dans TIMES) associée au bouclage TIMES/ANTARES permet d'assurer la fiabilité du système électrique planifié + EOD

Rendre robuste ces approches multi-échelles

Temps

Prolonger l'étude de l'adéquation le long de la trajectoire: la prise en compte des différentes périodes de l'horizon d'étude.

Espace

Système électrique interconnecté : passage à la maille Europe avec la prise en compte des interconnexions.

Assurer le synchronisme qui garantit la validité de l'approche basée sur l'indicateur cinétique.

Système

Interactions de long-terme dans les systèmes multi-énergies : flexibilité électricité& gaz.

Politique

Le paysage de défaillance est-t-il immuable dans le temps ? : réfléchir à une évolution des références pour les critères.