

Conditions d'une France renouvelable:

Intérêt d'un indicateur de
fiabilité endogène en
modélisation prospective

Gondia S. SECK

PLAN DE PRÉSENTATION

1. Intégration du renouvelable dans le système électrique
2. Modélisation prospective: Intégration de l'indicateur de fiabilité
3. Scénarios renouvelables et contrainte de fiabilité dans le système électrique français horizon 2050
4. Conclusions

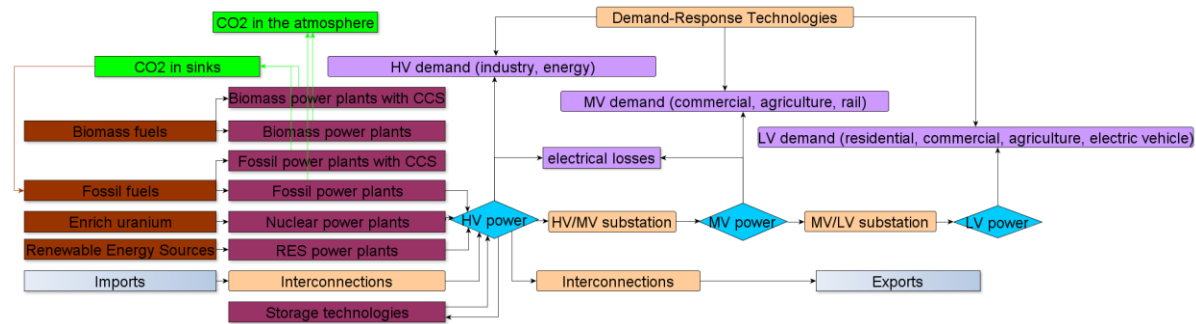
1- INTÉGRATION DU RENOUVELABLE (ÉOLIEN SOLAIRE) DANS LE SYSTÈME ÉLECTRIQUE

- Complexité accrue de la gestion du système électrique:
 - **Faible corrélation** avec la demande
 - **Moindre prévisibilité** comparativement à celle des moyens conventionnels
 - Difficulté d'ordre **économique**
 - Injection prioritaire sur le réseau et non corrélation avec la consommation
 - **Prix marginaux faibles, voire négatifs** (Pic de production éolien PV)
 - Participation **limitée** aux services systèmes
- Prospective et modélisation du système électrique:
 - **Enjeu: Court-terme** de la dynamique de ces systèmes avec le **long-terme de la prospective**
 - Choix du **modèle d'optimisation « bottom-up »** TIMES
 - Analyse des **évolutions contrastées** du système électrique et d'en proposer un **chemin technologique** raisonnable pour un objectif donné
 - Thèses (*Assoumou 2006; Drouineau 2011; Bouckaert 2013; Krakowski 2016*)

2- MODÉLISATION PROSPECTIVE: INTÉGRATION DE L'INDICATEUR DE FIABILITÉ

- Représentation du système électrique

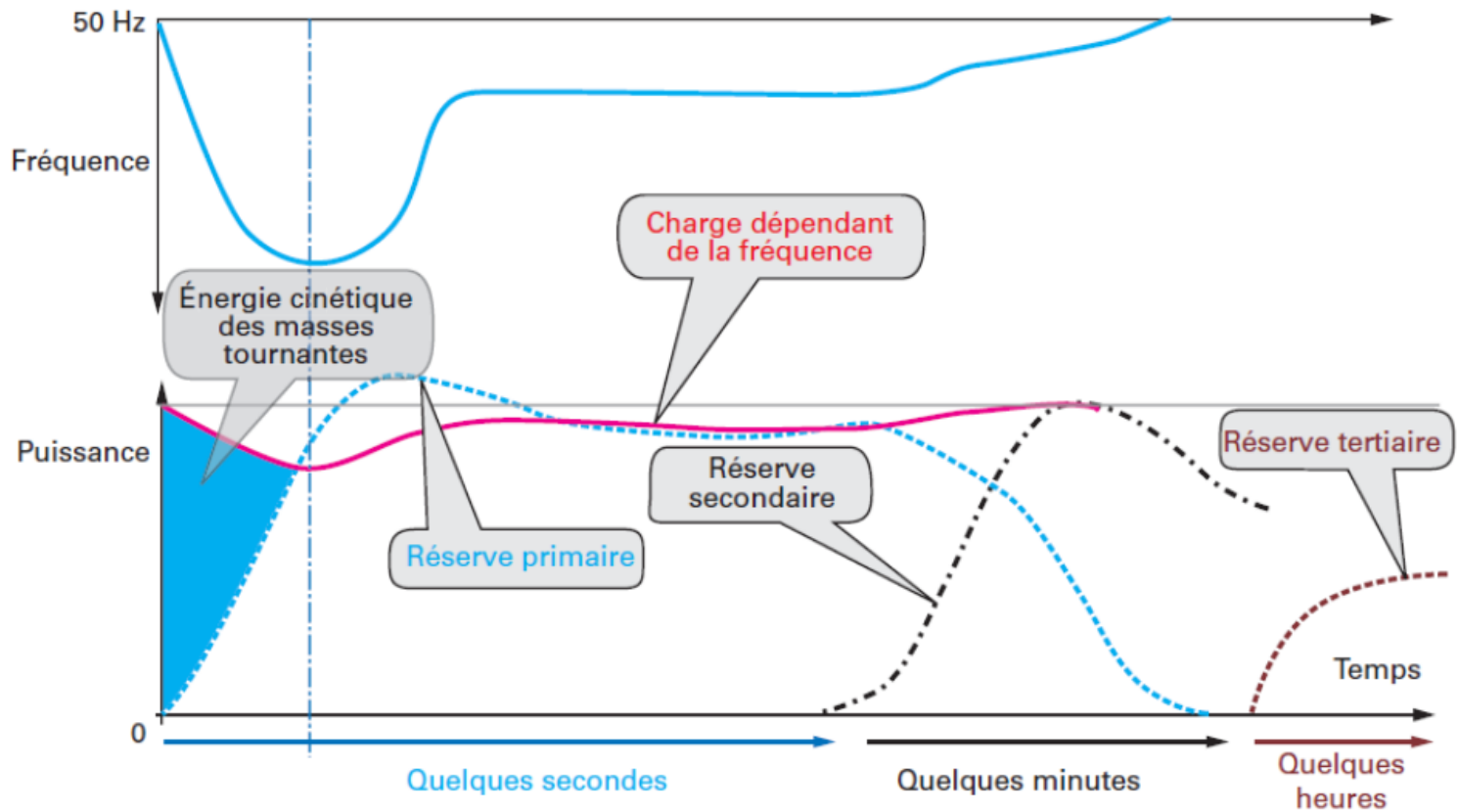
- Système Energétique de Référence



- **84 sous-périodes par an** : variabilité saisonnière (**6 saisons**), journalière (**jour ouvré / weekend**), horaire (**6 plages horaires** : nuit/jour/pointe...) et **une semaine contraignante** (semaine sans vent/solaire ni imports durant épisode forte consommation)
- **Flexibilité de la demande** (Optimisation du report de la demande « Demand-response ») (*Bouckaert, 2013*)
- **Potentiels renouvelable selon scénarios ADEME 2030/2050**

2- MODÉLISATION PROSPECTIVE: INTÉGRATION DE L'INDICATEUR DE FIABILITÉ

- Calcul réserves cinétiques au sein des modèles prospectives



Source : Techniques de l'ingénieur, Fraisse et Karsenti, 2014

2- MODÉLISATION PROSPECTIVE: INTÉGRATION DE L'INDICATEUR DE FIABILITÉ

- Définition de l'indicateur de fiabilité (*Mathilde Drouineau 2011, CMA/Schneider*)

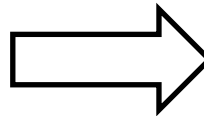
Temps disponible au système (en secondes)
pour faire face à une perturbation

Energie cinétique totale calculée à partir des procédés

$$H_{cin,systeme} = \frac{E_{cin,totale}}{P_{incident,totale}} = \frac{\sum_{p \in connect} (H_{cin,p} * \frac{CAP_p}{PF_p})}{\alpha * \left[\sum_{p \in connect} \frac{P_{app,p}(t)}{PF_p} \right] - \sum_{p \in stg} P_{app,p}(t)}$$

Puissance de l'incident dimensionnant

Plus $H_{cin,systeme}$ est élevé



Plus le système sera capable de maintenir l'équilibre face à une perturbation

- Analyse de l'île de la Réunion (*Stéphanie Bouckaert 2013, CMA*)

2- MODÉLISATION PROSPECTIVE: INTÉGRATION DE L'INDICATEUR DE FIABILITÉ POUR LA FRANCE

- « Endogenéisation » de l'indicateur dans le modèle TIMES : Du mode « continu » au mode « discret »

Des process décrivant des TECHNOLOGIES de production d'électricité



Modèle TIMES « classique »

(Vincent Krakowski 2016, CMA)

Des process décrivant des UNITES de production d'électricité



Modèle TIMES « discret »

Module GAMS calcul H_{cin}

$\forall t, H_{cin}(t) > H_{cin,min}$

3- SCÉNARIOS RENOUVELABLES ET CONTRAINTE DE FIABILITÉ HORIZON 2013-2050

- Les scénarios considérés

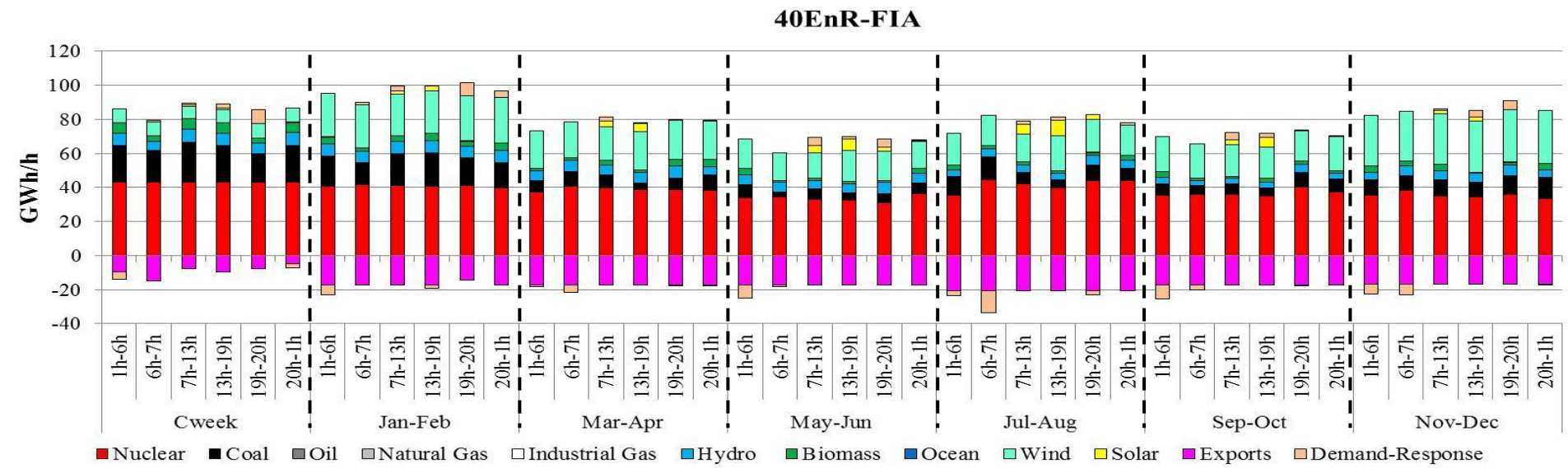
Scénarios	Années	40EnR	60EnR	80EnR	100EnR
Part maximale du nucléaire dans la production électrique	À partir de 2025	50%	50%	50%	50%
Part minimale du renouvelable dans la production électrique	2020	27%	27%	27%	27%
	2030	40%	40%	40%	40%
	2050	40%	60%	80%	100%

- Contrainte de fiabilité (scénarios avec la mention « FIA »):

$$\forall t, H_{cin, système}(t) \geq \min_{2013} H_{cin} = 30 \text{ s}$$

3- SCÉNARIOS RENOUVELABLES ET CONTRAINTE DE FIABILITÉ HORIZON 2013-2050

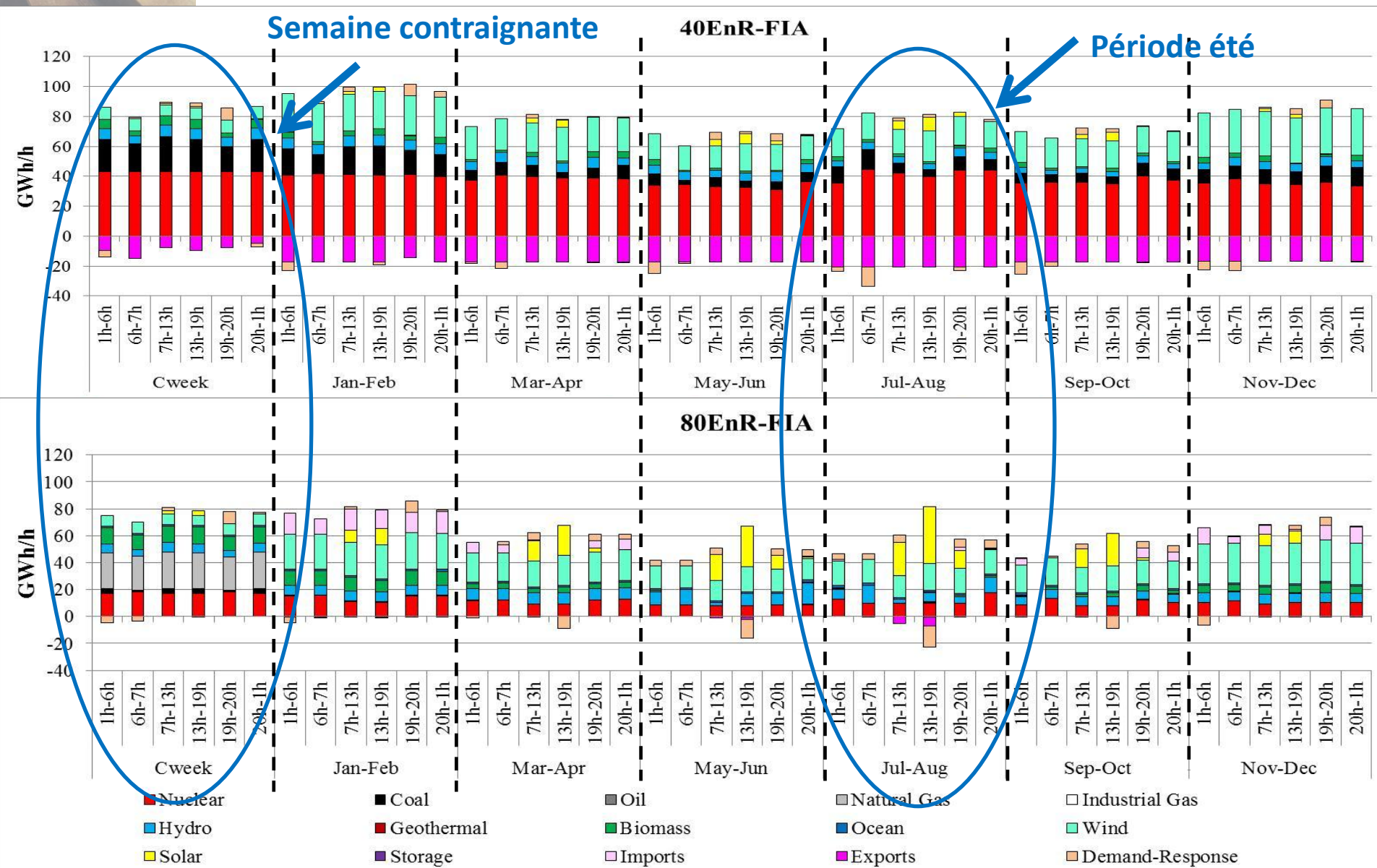
- Courbe de production en 2050 représentée en 42 pas horaires - A



3- SCÉNARIOS RENOUVELABLES ET CONTRAINTE DE FIABILITÉ

HORIZON 2013-2050

- Courbe de production en 2050 représentée en 42 pas horaires - A

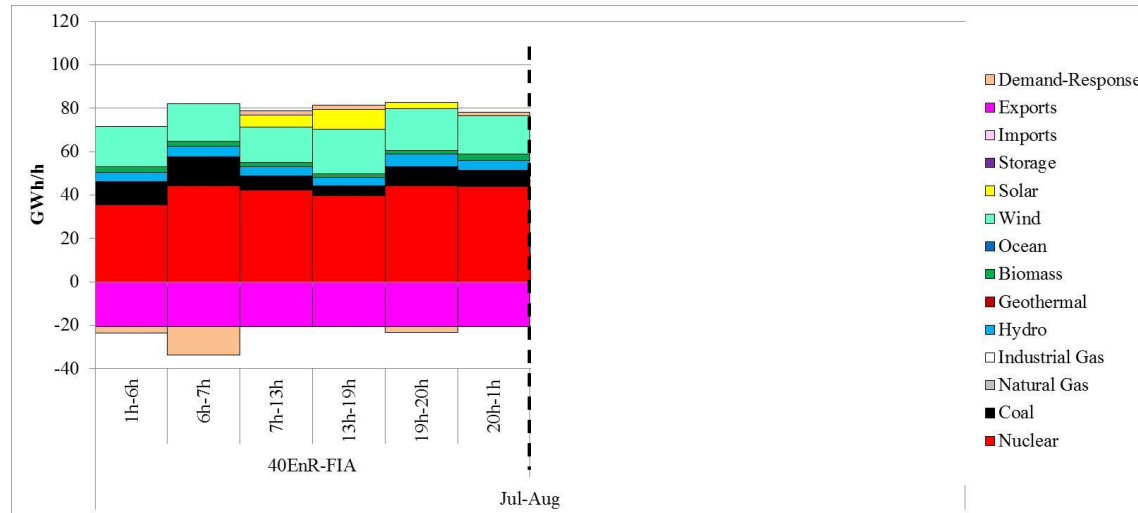


3- SCÉNARIOS RENOUVELABLES ET CONTRAINTE DE FIABILITÉ

HORIZON 2013-2050

- Courbe de production en 2050 représentée en 42 pas horaires - B

Zoom en période d'été et durant la semaine contraignante du mix de production d'électricité en 2050 pour les objectifs de pénétration 40EnR et 80EnR avec contrainte de fiabilité

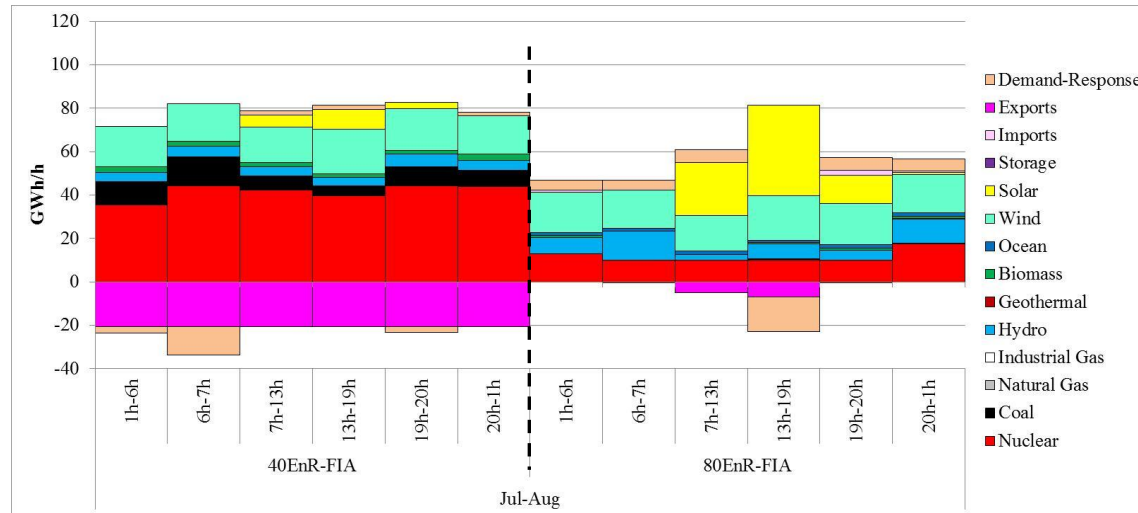


3- SCÉNARIOS RENOUVELABLES ET CONTRAINTES DE FIABILITÉ

HORIZON 2013-2050

- Courbe de production en 2050 représentée en 42 pas horaires - B

Zoom en période d'été et durant la semaine contraignante du mix de production d'électricité en 2050 pour les objectifs de pénétration 40EnR et 80EnR avec contrainte de fiabilité

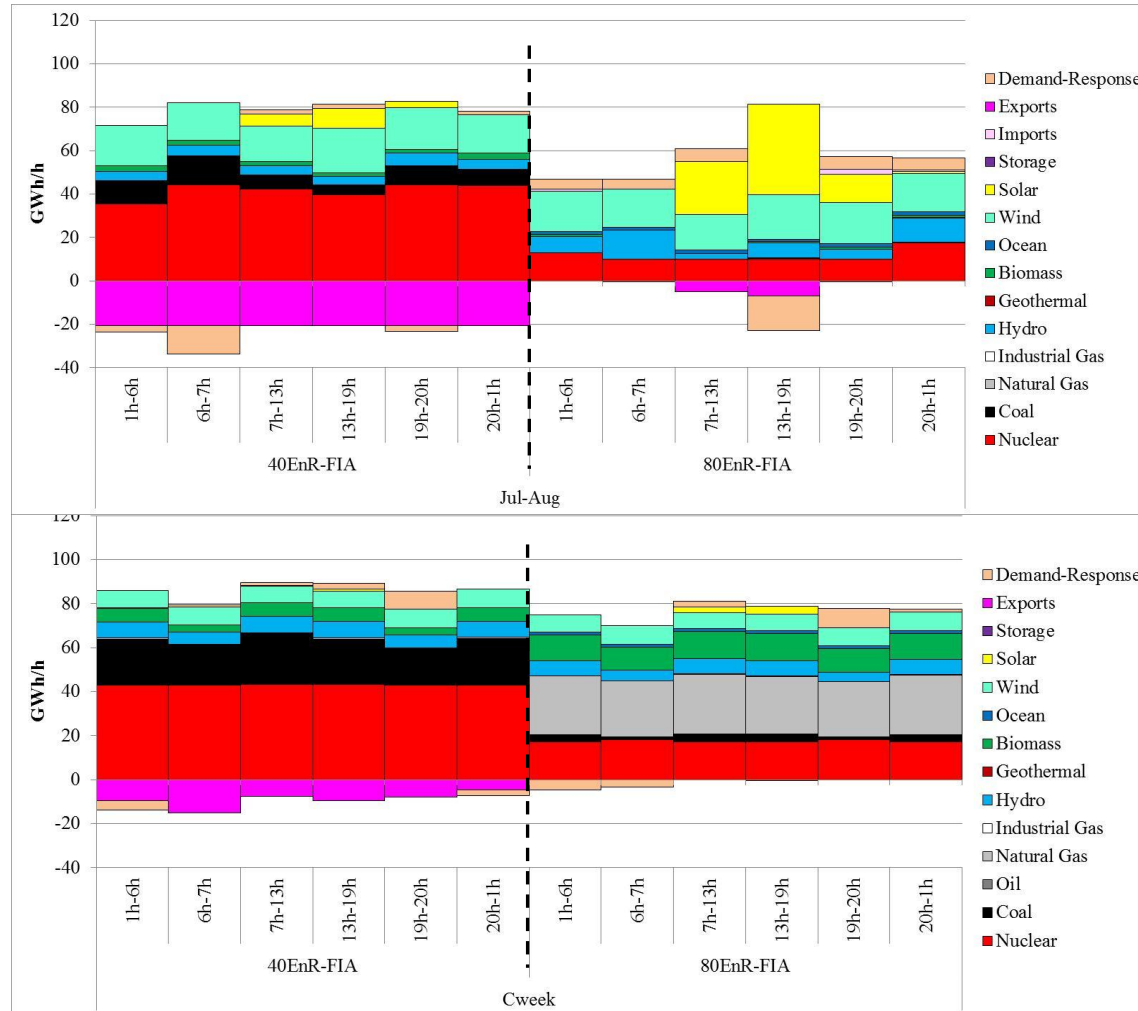


3- SCÉNARIOS RENOUVELABLES ET CONTRAINTE DE FIABILITÉ

HORIZON 2013-2050

- Courbe de production en 2050 représentée en 42 pas horaires - B

Zoom en période d'été et durant la semaine contraignante du mix de production d'électricité en 2050 pour les objectifs de pénétration 40EnR et 80EnR avec contrainte de fiabilité



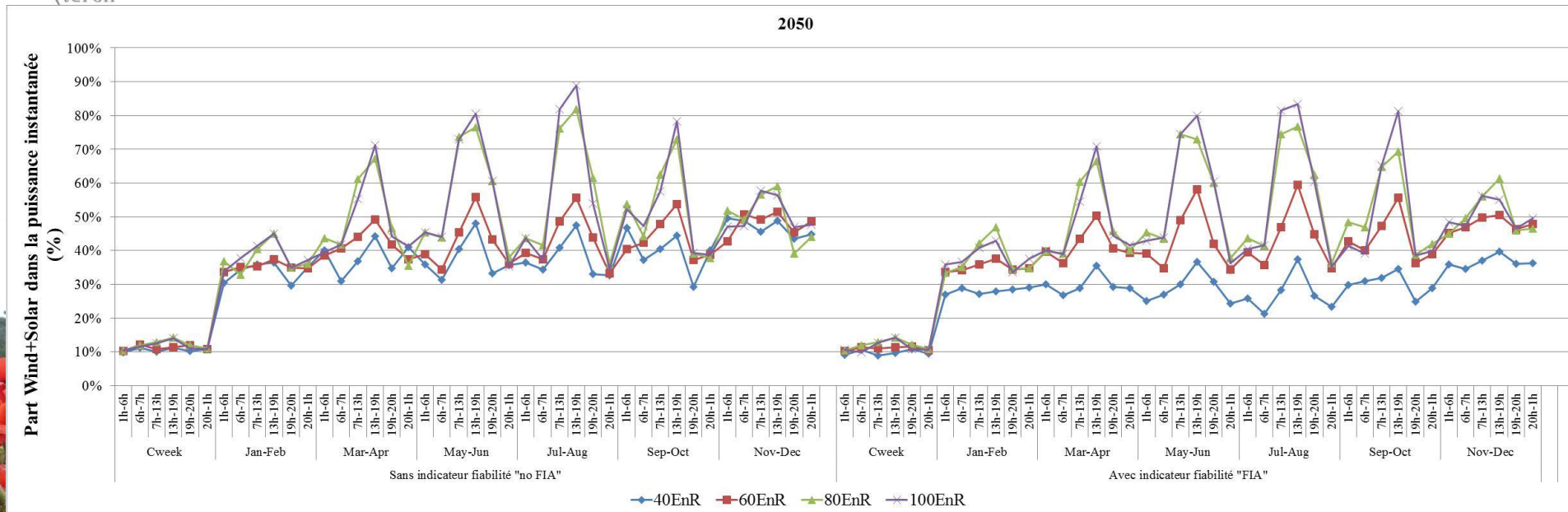
3- SCÉNARIOS RENOUVELABLES ET CONTRAINTE DE FIABILITÉ HORIZON 2013-2050

- Evolution part renouvelable (Eolien+Solaire) - A

Evolution part renouvelable (Eolien+Solaire) par pas horaire pour les différents scénarios en 2050, sans et avec contrainte de fiabilité (« no fia » et « fia »).

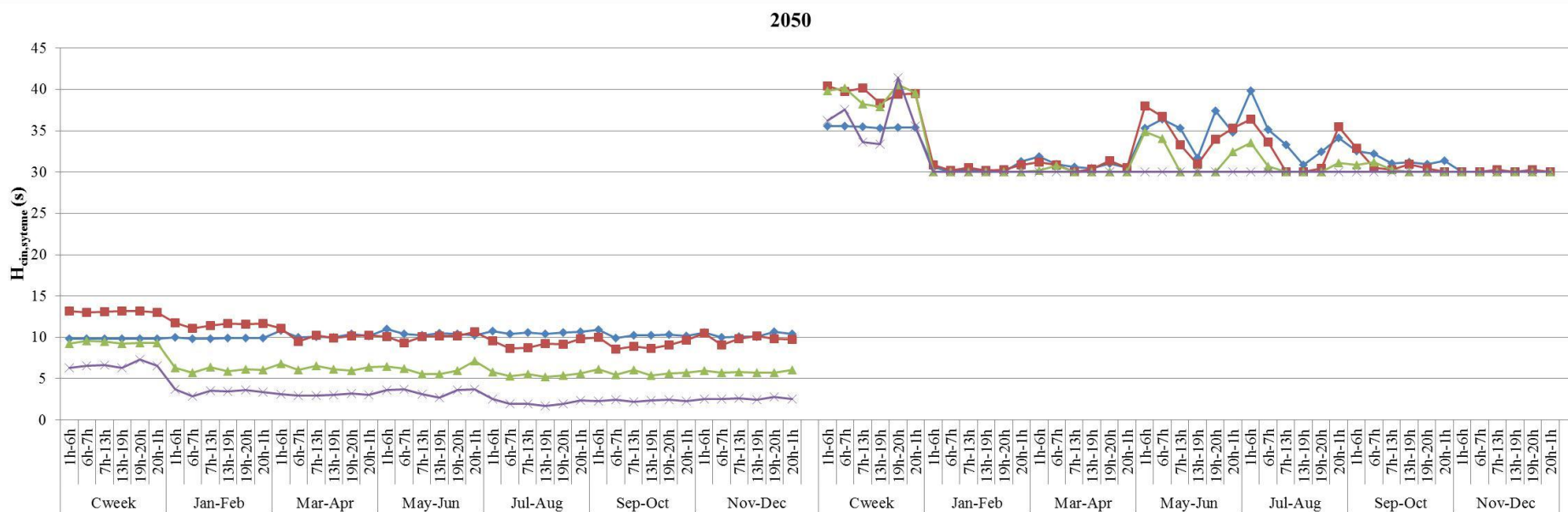
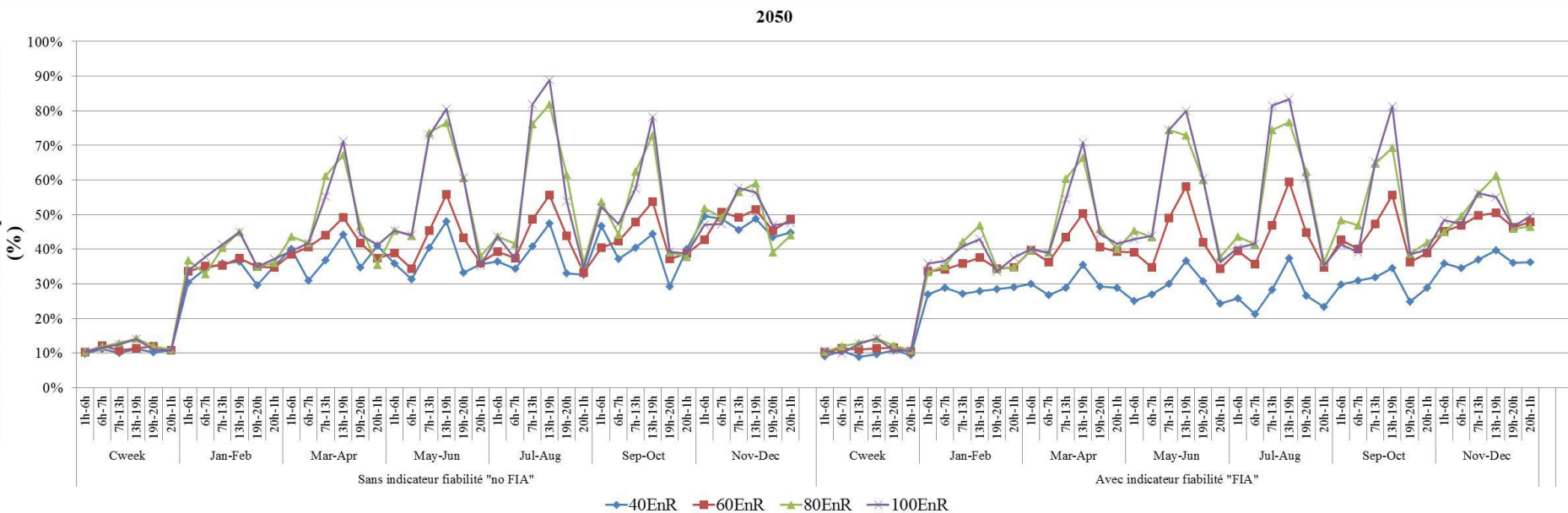
$$\frac{1}{(1+\alpha)^{n(t-1)}} \sum_{i \in TCH} in$$

$$\times \left(\sum_{i \in TCH} fixom_i(t) \right)$$



3- SCÉNARIOS RENOUVELABLES ET CONTRAINTE DE FIABILITÉ HORIZON 2013-2050

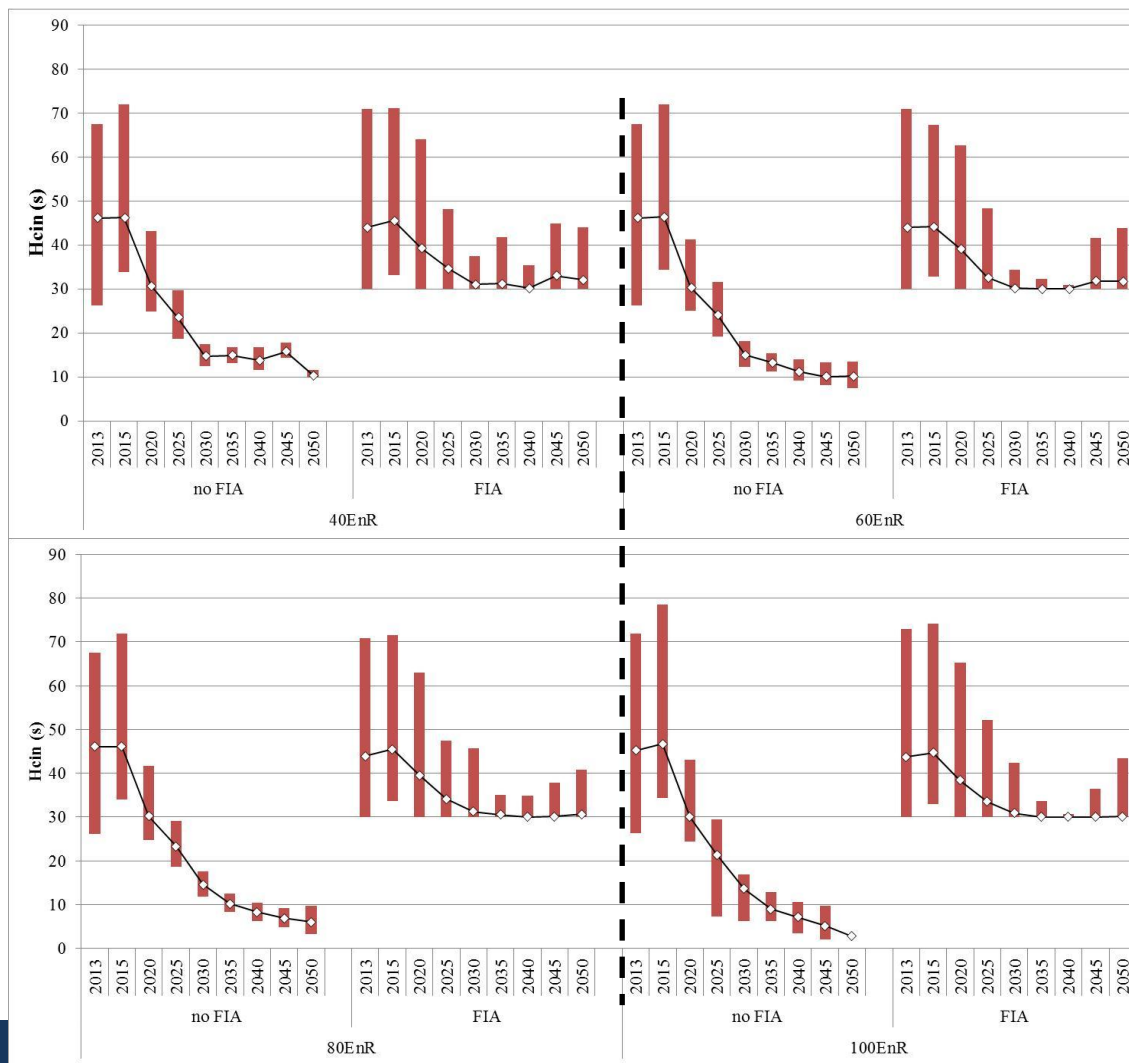
Part Wind+Solar dans la puissance instantanée



3- SCÉNARIOS RENOUVELABLES ET CONTRAINTE DE FIABILITÉ HORIZON 2013-2050

- Evolution indicateur cinétique H_{cin}

Evolution de la capacité du système électrique (H_{cin}) à faire face aux aléas pour différents objectifs de pénétration du renouvelable, sans et avec contrainte de fiabilité (« no fia » et « fia »).



Légende

◇ — H_{cin} moyen

■ Plage de variation H_{cin} (min-max)

4- CONCLUSIONS

- Principaux résultats :

- La **pénétration du renouvelable** entraîne :

- La nécessité de disposer d'**actifs flexibles** (fossile / biomasse) fonctionnant en **extrême-pointe**,

- L'**inversion** du solde des **échanges** d'électricité,

- La **dégradation** des **réserves cinétiques**

- Mise en place de la contrainte de fiabilité en prospective


- **Réconcilier le court-terme** de la dynamique de ces systèmes avec le **long-terme de la prospective**

- **Indicateur cinétique** : Stock d'énergie emmagasinée dans les machines tournantes pour faire face à un déséquilibre offre-demande

- Possibilité de respecter la contrainte fiabilité avec des pourcentages élevés de pénétration EnR

- Rôle des **moyens de flexibilité; demand-response** et **imports**

- **Coût en temps de résolution**


$$\frac{1}{(1 + \alpha)^{n(t-1)}} \sum_{i \in TCH} in$$
$$\times \left(\sum_{i \in TCH} fixom_i(t) \right)$$
$$+ \sum_{i \in ELA} \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} varo$$
$$+ \sum_{k \in ENC} \sum_s cos$$
$$+ \sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y}$$
$$- \sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} price$$

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Références :

- Thèse de Mathilde Drouineau « *Modélisation prospective et analyse spatio-temporelle : intégration de la dynamique du réseau électrique* » (2011)
- Thèse de Stéphanie Bouckaert « *Contribution des Smart Grids à la transition énergétique : évaluation dans des scénarios long terme* » (2013)
- Thèse Vincent Krakowski « *Intégration du renouvelable et stratégie de déploiement du réseau électrique : réconciliation d'échelles spatio-temporelles dans des exercices prospectifs de long terme* » (2016)