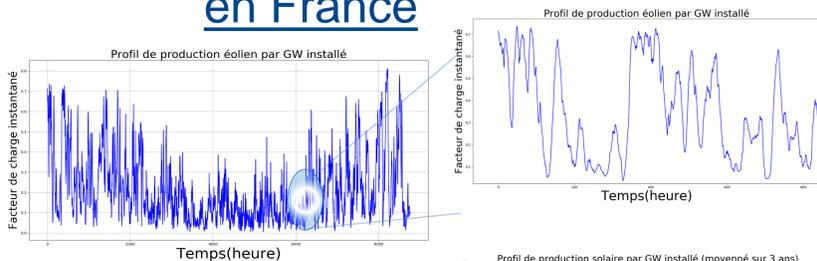


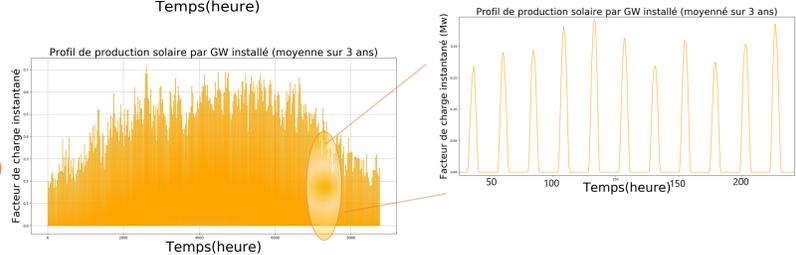
Les énergies renouvelables intermittentes (EnRi) ont connu une croissance de 12% cette année. Elles sont devenues un enjeu essentiel de la transition énergétique. Aujourd'hui, elles représentent seulement 6% de la production électrique Française. Le gouvernement Français s'est fixé pour objectif d'atteindre 40 % de la production d'électricité d'origine renouvelable non pilotable en 2030. Mais quel sera donc le coût de cette intégration ?

Modélisation de la production de solaire, d'éolien et de la consommation électrique en France

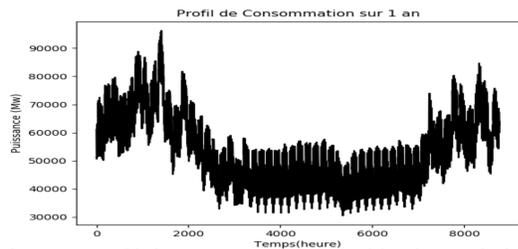
Eolien:



Solaire:
(moyenne sur 3 ans)



Consommation:



Sources: Profils de génération éolien, solaire et profil de consommation établis depuis la base de données RTE de 2018, 2017 et 2016 .

Démarche

$$P_{EnRi}(t) = P_{solaire}(t) + P_{eolien}(t)$$

- On calcule la puissance produite à chaque instant par les EnRi en multipliant le facteur de charge instantané par la puissance d'EnRi installée.
- On choisit une puissance éolienne installée 2 fois supérieur à celle en solaire.

$$E_{stock} = \int_{year} P_{conso} - P_{EnRi} dt$$

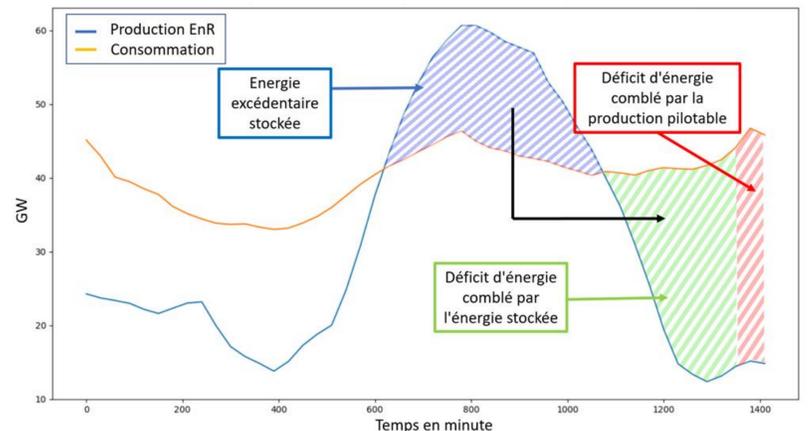
- Lorsque la production dépasse la consommation, la surproduction est stockée dans des batteries.

$$P_{conso} = P_{EnRi} + P_{stock} + P_{pilotable}$$

- Cette énergie stockée peut ensuite être utilisée lorsque la production passe sous la consommation.

$$P_{conso} = P_{EnRi} + P_{pilotable}$$

- Si l'énergie stockée ne suffit pas à combler le déficit, les énergies pilotables permettent de pallier la demande.



Hypothèses : Dans notre étude, nous avons décidé de prendre, pour notre modèle de production des énergies renouvelables, une répartition éolien-solaire correspondant à celle de la France en 2018 (1/3 solaire, 2/3 éolien).

Modèle économique

Solaire et Eolien

- Capex lié à l'installation
- Opex supposé nuls
- $Coûts = P_{solaire\ ins} * Capex_{solaire} + P_{eolien\ ins} * Capex_{eolien}$

Pilotable

- Capex considéré comme nul, on part d'un parc 100% pilotable;
- Opex lié aux combustibles consommés sur un an, décroît avec l'installation d'EnRi.
- $Coûts = C_{combustible} * E_{pilotable}$

Stockage

- Capex lié à l'achat des batteries: elles doivent dimensionnées en puissance et en énergie
- Opex considéré comme nul, tout comme les pertes énergétiques.
- $Coûts = E_{max} * C_{energie} + P_{max} * C_{puissance}$

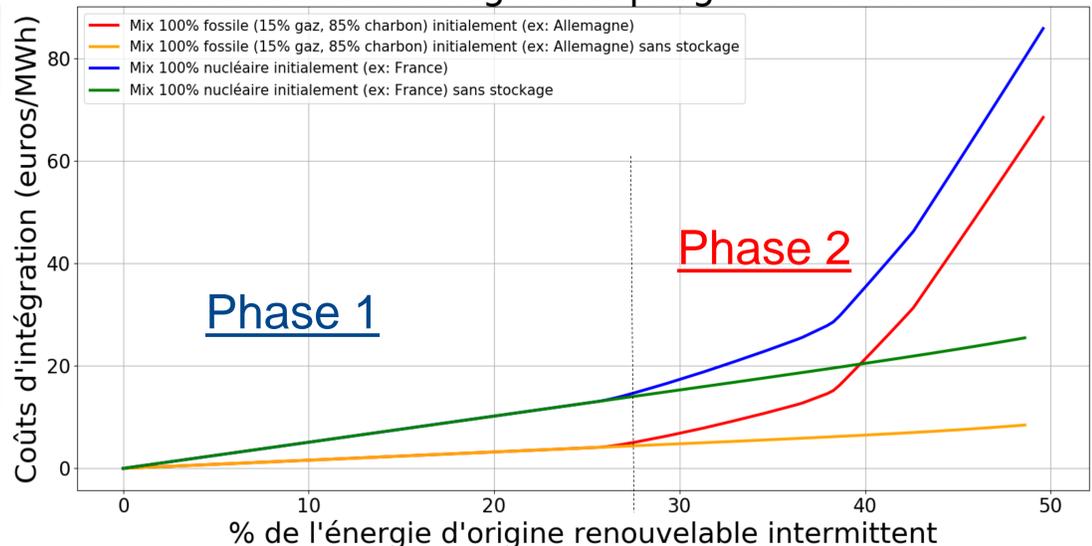
Eléments d'analyse:

- Phase 1:** Sur un an, les CAPEX des EnRi sont légèrement supérieurs aux OPEX des pilotables: le coût de l'électricité augmente.
- Phase 2:** A partir de la première rupture de pente, on installe des batteries, les coûts augmentent très rapidement.

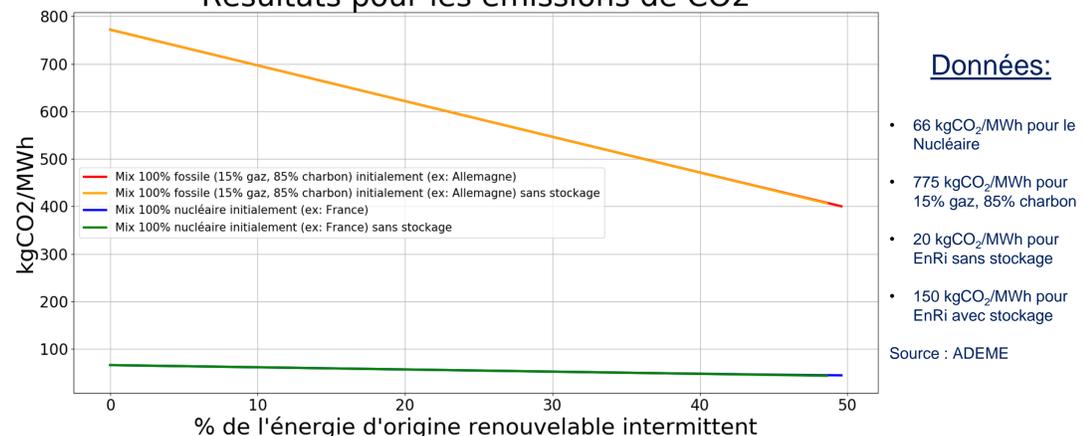
Quelle stratégie de stockage ?

Lorsqu'on dépasse 25% d'EnRi dans le mix énergétique, si l'on souhaite stocker toute la surproduction des EnRi afin d'utiliser le moins possibles les énergies pilotables, il faut dimensionner le stockage en fonction du pic de production des EnRi. Or un tel dimensionnement des batteries fait rapidement grimper les coûts et n'est pas forcément justifié étant donné que l'énergie stockée sur un an représente moins de 1% de la consommation annuelle. On peut alors proposer de sous dimensionner les batteries, quitte à perdre de l'énergie à certains moments qu'on compensera avec des pilotables afin de réduire les coûts grâce au « curtailment ».

Résultats de l'intégration progressive des EnRi



Résultats pour les émissions de CO2



Conclusion:

- Augmentation des coûts de l'électricité liée à l'intermittence et aux batteries.
- Besoin d'une taxe carbone pour rendre les EnRi plus compétitives.
- La stratégie de stockage est un enjeu majeur.
- Rôle du pilotable bas carbone pour pallier les intermittences.

