

ÉOLIENNES FLOTTANTES AU SUD DE LA BRETAGNE

Réunion thématique
L'éolien dans la transition énergétique
18 septembre 2020
Lorient

ÉOLIENNES FLOTTANTES AU SUD DE LA BRETAGNE

Présentation de la réunion
Jean-Pierre Bompard-Laurent Pavard

CPDP

Pour commencer...



- Merci de garder vos masques
- Gel à disposition
- Les hôteses vous présenteront les micros

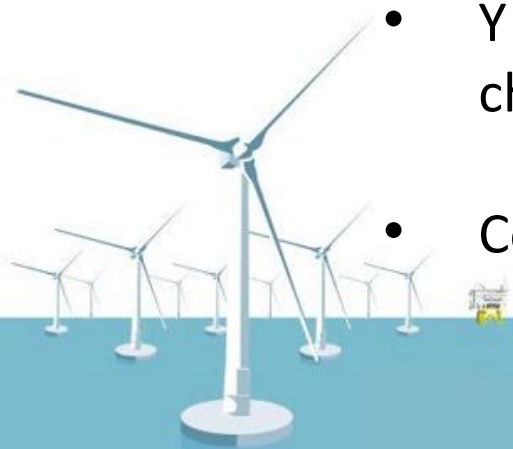


ÉOLIENNES FLOTTANTES AU SUD DE LA BRETAGNE

Quelques questions qui se posent

- Comment le projet s'insère-t-il dans la stratégie bas carbone et la transition énergétique inscrite dans la PPE ?
- Comment le projet contribuera-t-il à sécuriser l'alimentation du réseau électrique breton ?
- Peut-on évaluer la variabilité de la production des installations prévues par rapport à l'éolien terrestre ?
- Y aura-t-il une puissance garantie, et comment peut-elle être chiffrée ?
- Comment la variabilité de la production sera-t-elle compensée?

ÉOLIENNES FLOTTANTES AU SUD DE LA BRETAGNE



Programme de la réunion

- Présentation de la réunion (CPDP)
- La PPE, la SNBC, la place du projet dans cette politique (Nicolas Clausset, DGEC)
- La déclinaison en Bretagne (Jonathan Morice, Conseil régional)
- Échanges avec la salle
- Les avantages de la localisation en mer (Vincent Guénard, ADEME)
- La gestion de de la variabilité de la production (Gro de St Martin, RTE)
- Échanges avec la salle
- Conclusion de la réunion (CPDP)



ÉOLIENNES FLOTTANTES AU SUD DE LA BRETAGNE

ÉOLIENNES FLOTTANTES AU SUD DE LA BRETAGNE

Rappel sur les principales
caractéristiques du projet

Nicolas Clausset, sous-directeur système
électrique et énergies renouvelables
Ministère de la Transition écologique

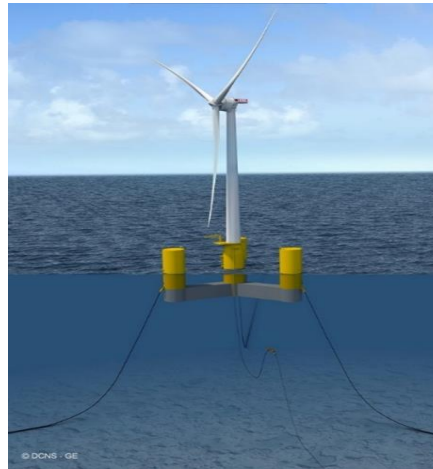
Les porteurs du projet



Vidéo de présentation du projet

Le projet

- Une **zone particulièrement favorable** au développement de l'éolien flottant
- Deux **parcs éoliens en mer flottants** : l'un de 250 MW, l'autre pouvant aller jusqu'à 500 MW, ainsi que leur **raccordement mutualisé**. L'ensemble de ce projet est soumis au **débat public**
- Pour le premier parc de **250 MW d'éoliennes en mer**, la quantité d'énergie produite sera **équivalente à la consommation électrique** du territoire de Vannes Agglomération



ÉOLIENNES FLOTTANTES AU SUD DE LA BRETAGNE

La politique nationale de transition
énergétique

Nicolas Clausset, sous-directeur système
électrique et énergies renouvelables
Ministère de la Transition écologique

Les engagements de l'État pour la transition énergétique

- **COP21 et Accord de Paris (2015)** : les pays s'engagent à limiter l'augmentation de la température moyenne à 2°C, et si possible à 1,5°C
- En France :
 - Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte (2015)
 - Plan Climat (2017) : neutralité carbone « à l'horizon 2050 »
 - Loi du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat : neutralité carbone inscrite dans la loi



Les engagements de l'État pour la transition énergétique



**-40 % d'émissions
de gaz à effet de serre**
entre 1990 et 2030

Neutralité carbone
d'ici **2050**



**Baisse de 50 % de
la consommation
finale d'énergie**
entre 2012 et 2050
et -20 % d'ici 2030



**-40 % de
consommation
d'énergie fossile**
d'ici 2030 par rapport
à 2012



En 2030 : **33 % de
renouvelable dans
la consommation
finale d'énergie**

- 40 % pour la production d'électricité
- 38 % pour la consommation finale de chaleur
- 15 % pour consommation finale de carburant
- 10 % pour la consommation de gaz



**Réduire la part
du nucléaire à 50 %**
dans la production
d'électricité d'ici 2035

La stratégie énergie et climat nationale s'appuie sur deux instruments de gouvernance



➤ La Stratégie nationale bas carbone (SNBC)

- Feuille de route de la France pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre.

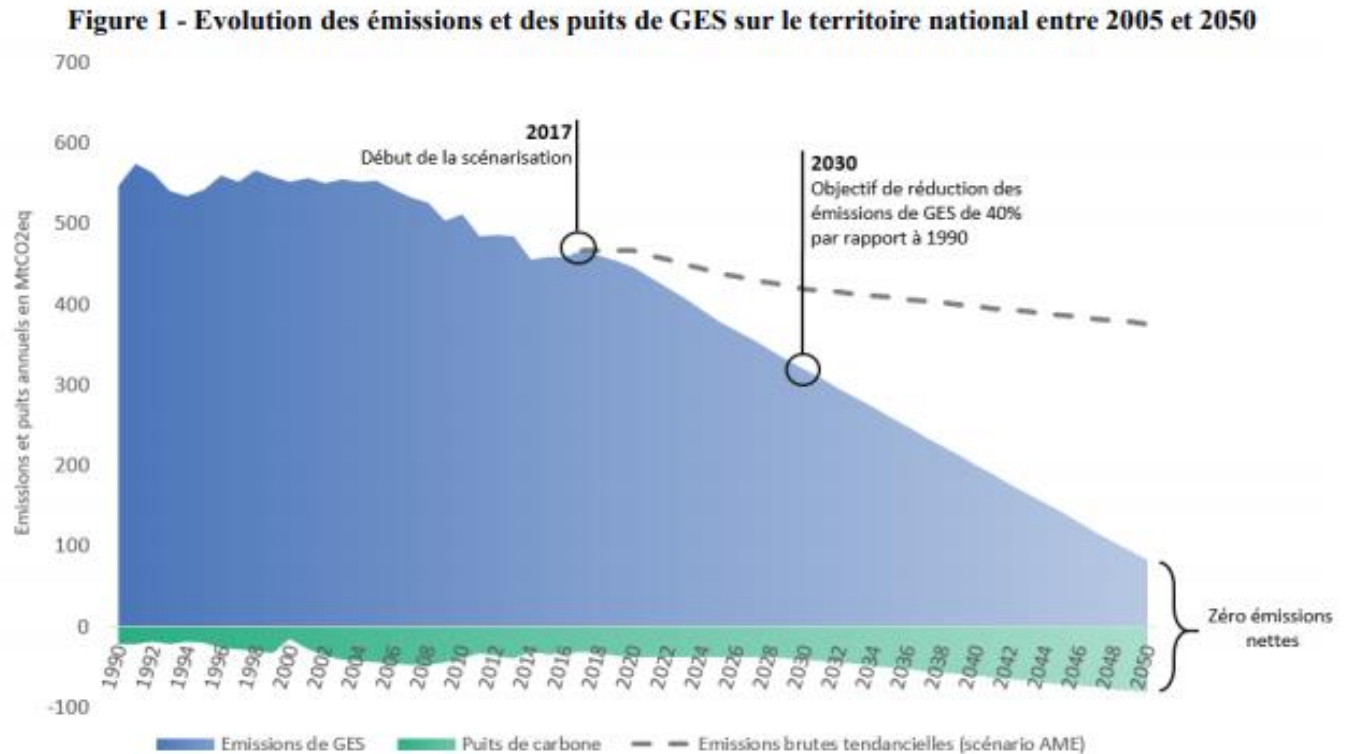
➤ La programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE)

- Fixe les priorités d'actions dans le domaine de l'énergie pour la période 2019-2023



La stratégie nationale bas carbone (SNBC)

- Donne des **orientations** pour mettre en œuvre la transition vers une économie bas- carbone, circulaire et durable
 - Atteindre la **neutralité carbone** à l’horizon 2050
 - Réduire l’**empreinte carbone** de la consommation des Français
- A fait l’objet d’une **concertation préalable fin 2017**
- Adoptée par **décret le 21 avril 2020**



**Les émissions « tendancielle » sont calculées à l'aide d'un scénario dit « Avec Mesures Existantes » qui prend en compte les politiques déjà mises en places ou actées en 2017.*

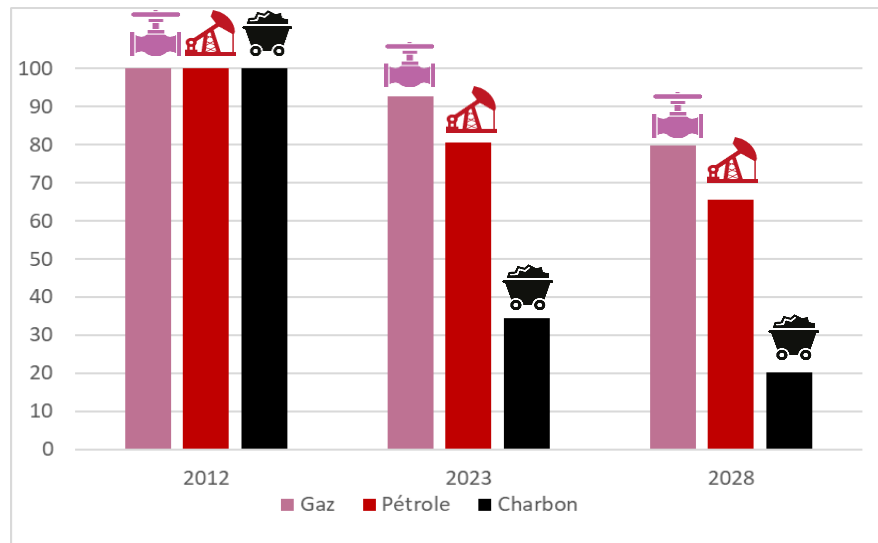
Source: Synthèse de la Stratégie nationale bas carbone, page 3

La programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE)

Réduire la consommation énergétique

-20% de consommation en 2030

-40% pour les énergies fossiles

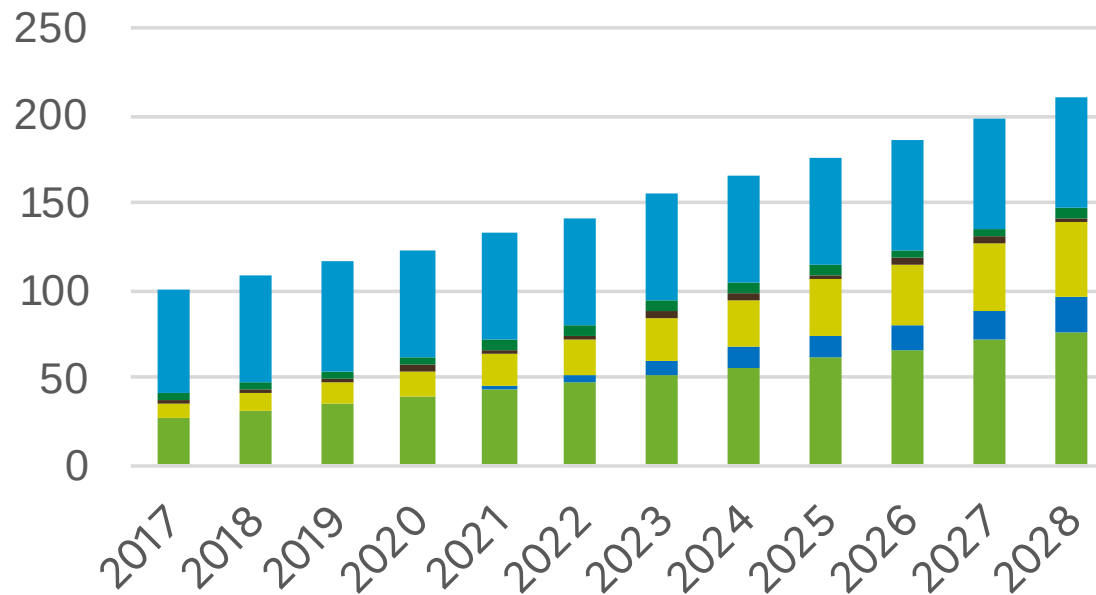


Diversifier et décarboner le mix énergétique

- Réduire l'usage des énergies fossiles
- Développer les énergies renouvelables
- Réduire la part du nucléaire dans la production d'électricité

- A fait l'objet d'un
 - débat public du 19 mars au 30 juin 2018
 - Consultation du public en janvier 2020
- Adoptée par décret le 21 avril 2020

L'évolution du mix électrique



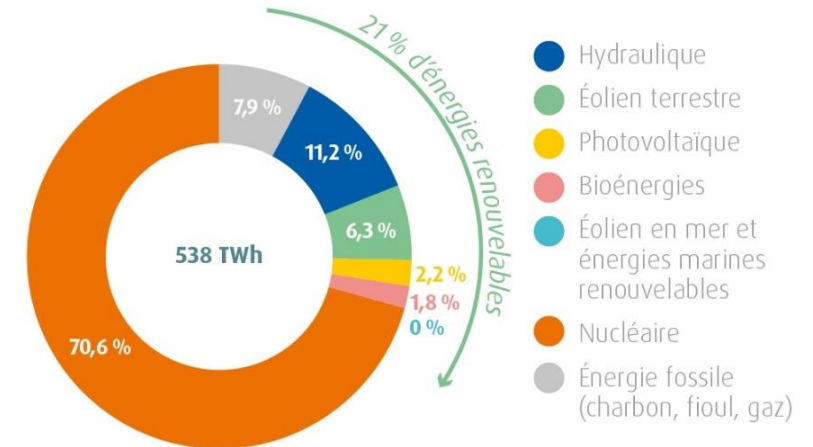
■ Eolien onshore ■ Eolien offshore ■ PV
■ Méthanisation ■ Biomasse ■ Hydraulique

x 2,5
Capacités
installées
d'éolien terrestre

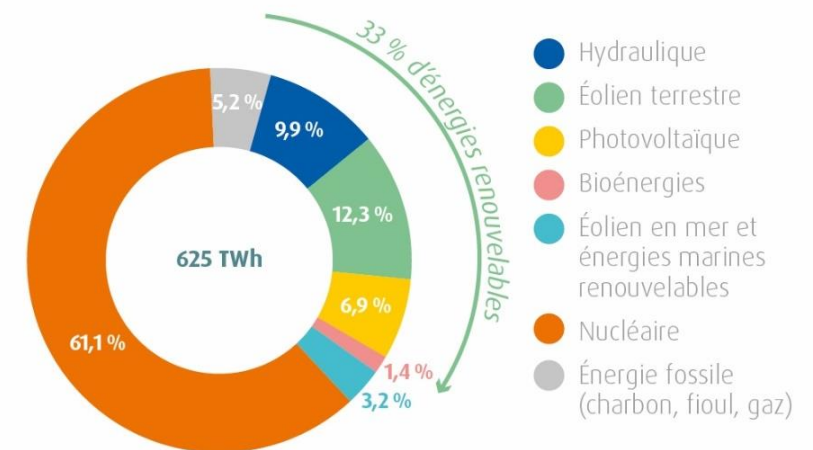
x 5 à 6
Capacités
installées de
photovoltaïque

Focus sur les perspectives du mix électrique

Production d'électricité en France en 2019



Production d'électricité en France en 2028



Le développement de l'éolien en mer en France

Un développement indispensable pour atteindre l'objectif de 40% d'électricité d'origine renouvelable en 2030

- L'éolien en mer offre de nombreux potentiels :
 - son **gisement est important** car le vent est plus fort et plus régulier qu'à terre
 - les espaces en mer permettent d'installer **des éoliennes plus puissantes**

L'emplacement des projets éoliens en mer issus des précédents appels d'offres en France



Le développement de l'éolien en mer en France

Un développement planifié par la Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE)

Date d'attribution de l'AO	2019	2020	2021	2022	2023	>2024
Eolien flottant			250 MW <i>Bretagne Sud</i> (120 €/MWh)	2 x 250 MW <i>Méditerranée</i> (110 €/MWh)		1 000 MW par an, posé et/ou flottant, selon les prix et le gisement, avec des tarifs cibles convergeant vers les prix de marché sur le posé
Eolien posé	600 MW <i>Dunkerque</i> (45 €/MWh)	1 000 MW <i>Manche Est</i> <i>Mer du Nord</i> (60 €/MWh)*	500 – 1 000 MW <i>Sud-Atlantique**</i> (60 €/MWh)		1 000 MW (50 €/MWh)	

* Pour ce projet, la date de 2020 est la date de lancement de la procédure de mise en concurrence.

** Dans ce cadre, un projet éolien en mer au large d'Oléron pourrait être attribué.

ÉOLIENNES FLOTTANTES AU SUD DE LA BRETAGNE

La transition énergétique en Bretagne

Jonathan Morice, Directeur du climat, de
l'environnement, de l'eau et de la
biodiversité
Région Bretagne

Contexte énergétique breton

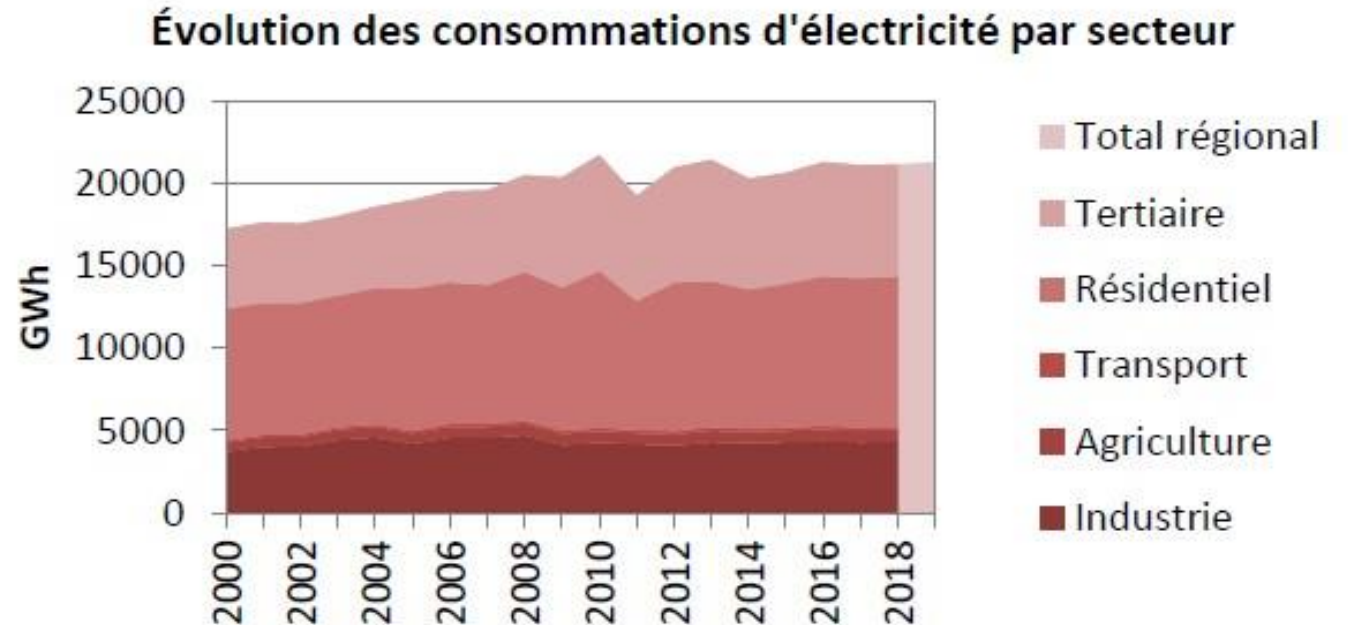
Une production locale électrique fortement dépendante des imports d'électricité (82% de l'électricité importée en 2019) qui augmente grâce au développement de l'éolien terrestre.

En 2019, 75% de l'électricité produite en Bretagne était issue des énergies renouvelables.

Attractivité et croissance économique et démographique supérieures aux moyennes nationales

Consommation d'électricité en hausse entre 2000 et 2015 avec une stagnation sur la dernière période

Pics de consommation électrique élevés et une tendance à la hausse



Sources : OEB 2020

Contexte énergétique breton

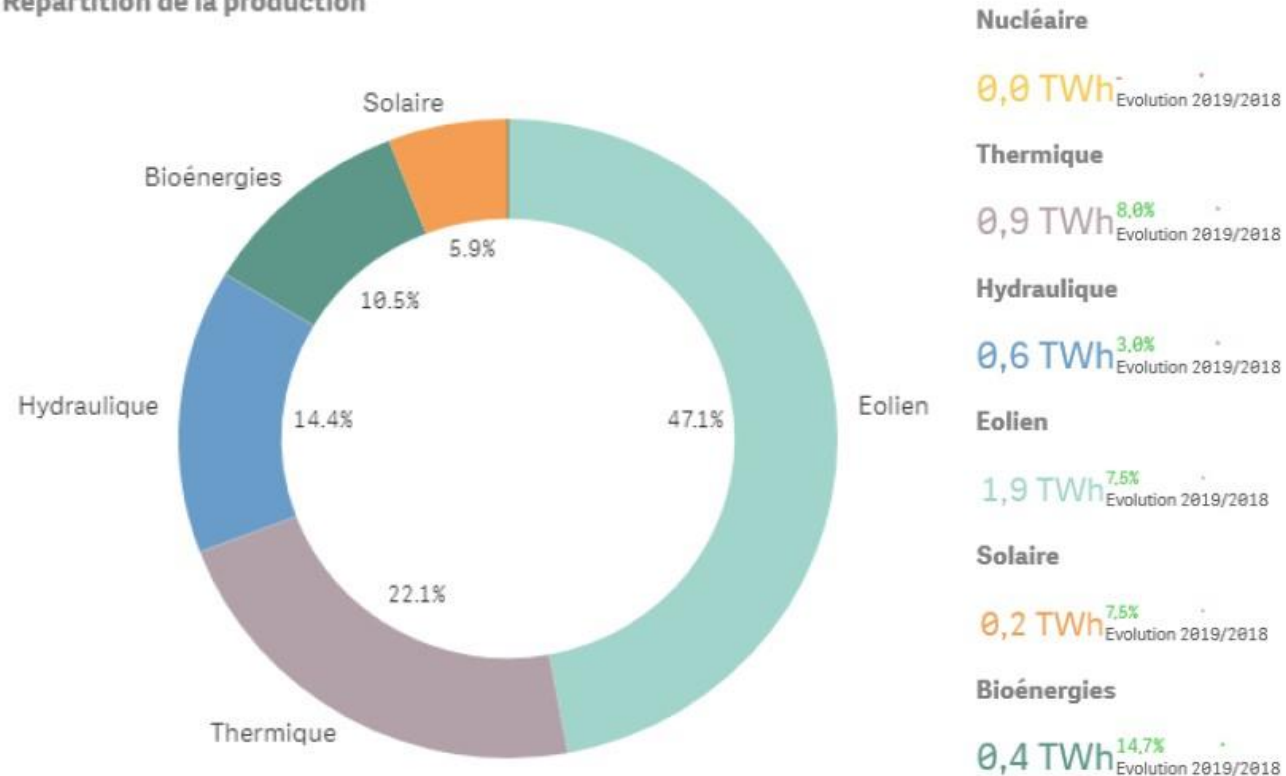
En 2018, la région Bretagne a produit **3,85 TWh**, le solde importateur s'est établi à **18,8 TWh**.

Pour couvrir ses besoins, la région a importé depuis le réseau national.

La production d'électricité en Bretagne a couvert **17 % de la consommation régionale**.

L'électricité produite en Bretagne

Répartition de la production



Sources: RTE 2019

Une mobilisation régionale sur le développement des énergies renouvelables depuis 2010

Installation de la Conférence bretonne de l'énergie (CBE)

2010

Signature du Pacte électrique breton (PEB)

Élargissement de la CBE en Conférence bretonne de la transition énergétique

2013

Adoption du SRCAE

2017

Décembre : vote du projet de SRADDET par la Région et adoption la feuille de route régionale énergie climat (scénario Transition)

2019

Juin : Breizh Cop

Élaboration par la CBTE d'une étude prospective énergie-climat à horizon 2040 pour alimenter le SRADDET

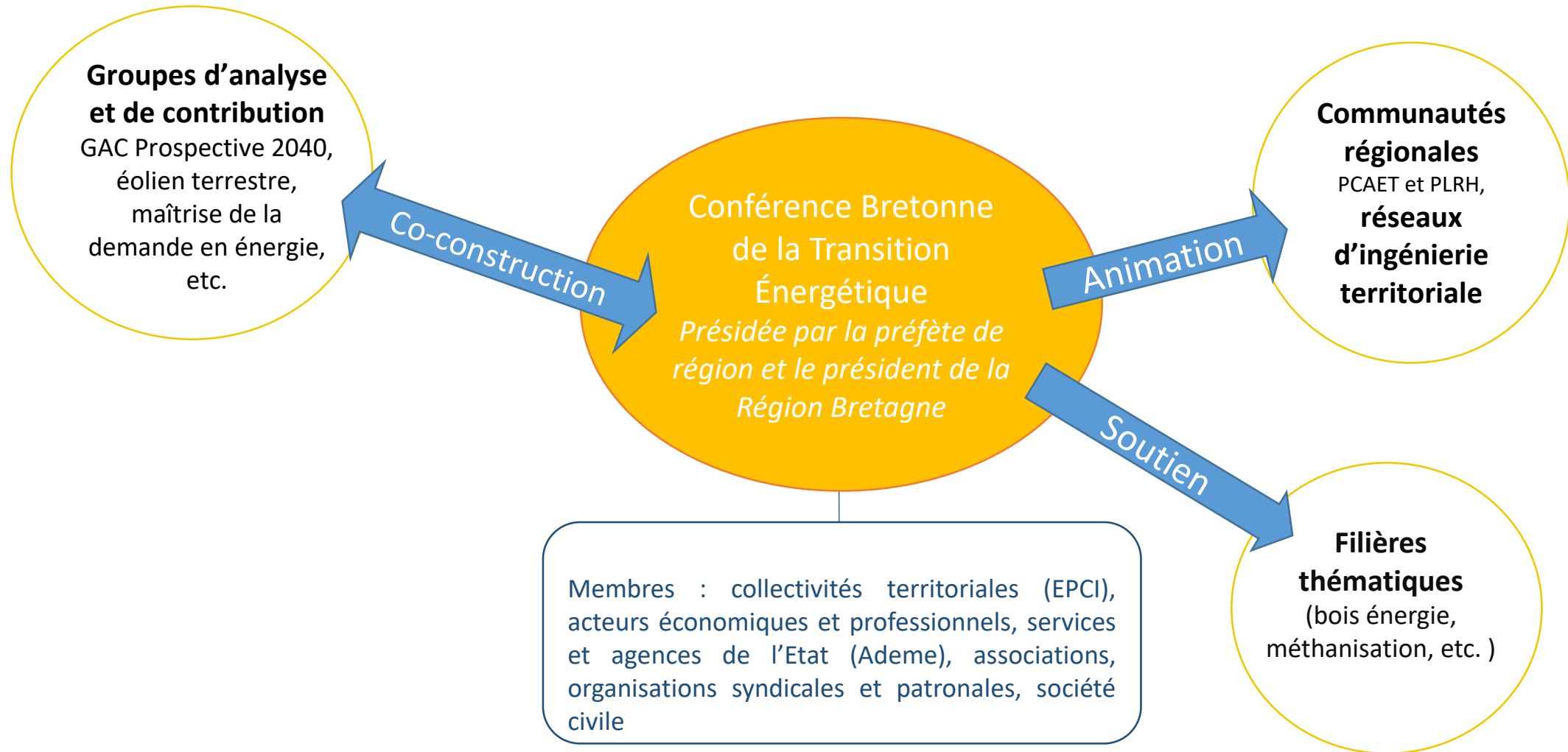
2020

Enquête publique SRADDET

SRCAE : Schéma régional climat air énergie

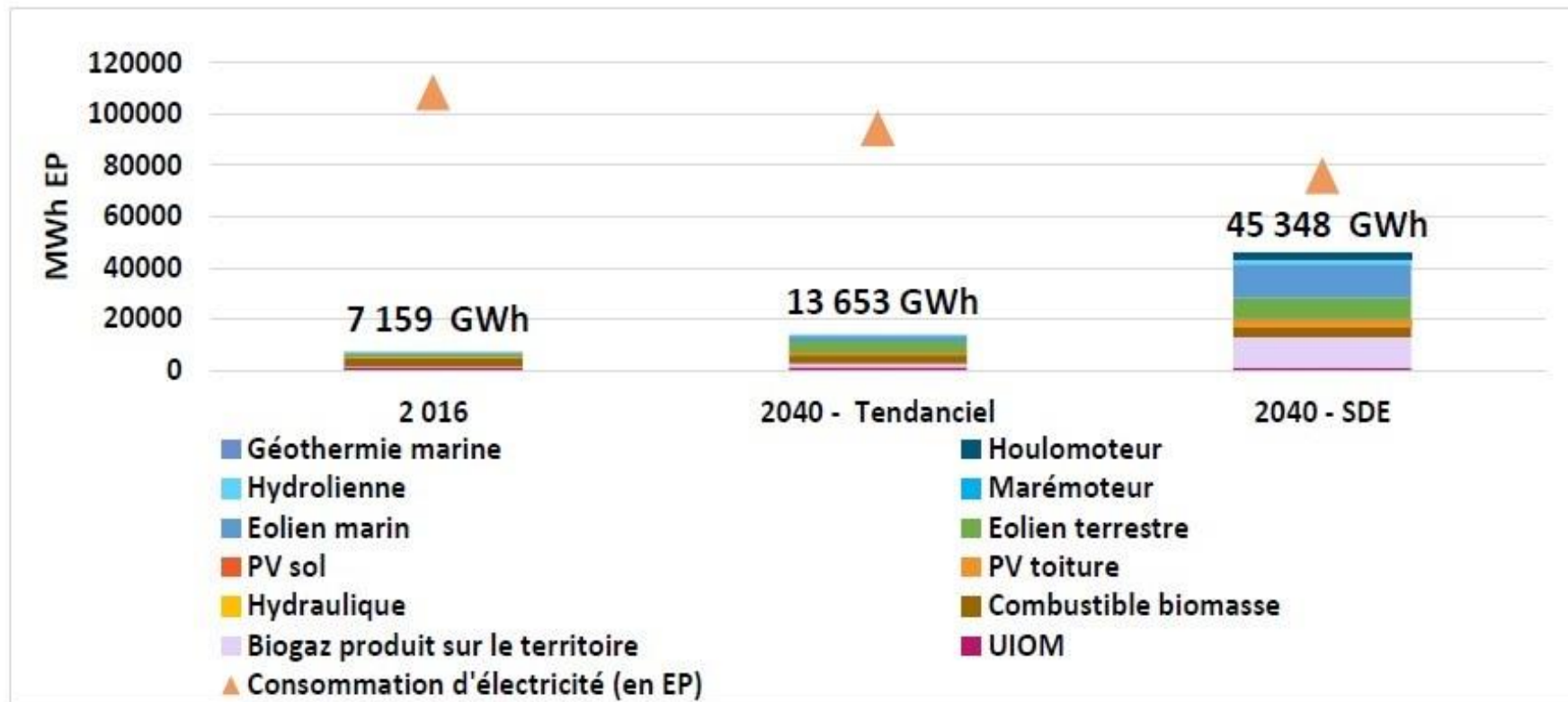
SRADDET : Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires

La co-construction des scénarios régionaux de transition énergétique



Le scénario transition du SRADDET

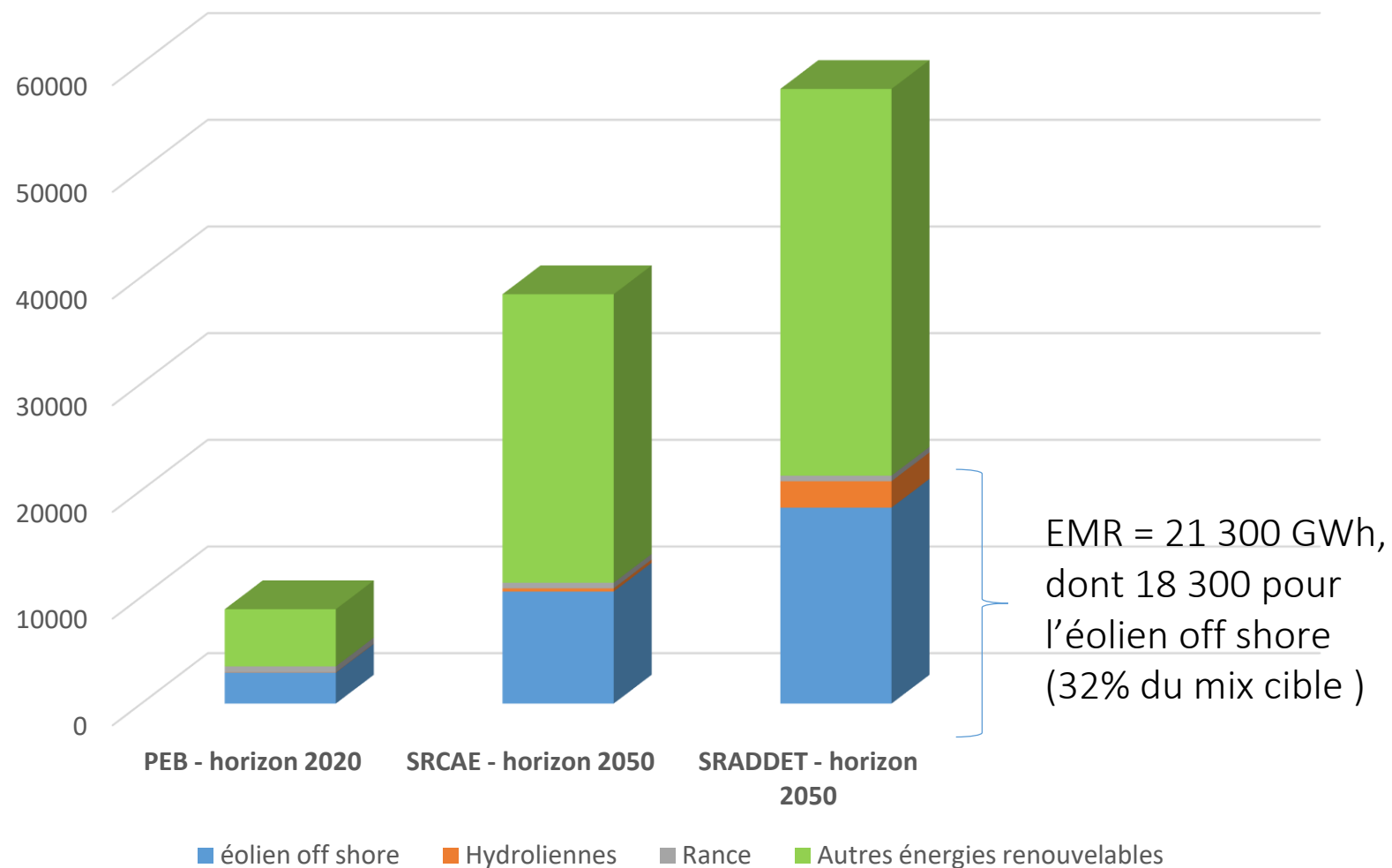
- Multiplier par 6,3 la production renouvelable du territoire entre 2016 et 2040
- La part de la production locale d'ENR&R dans la production en énergie primaire passe de 84 % en 2016 à **95 %** en 2040.
- La part de la production locale d'ENR&R dans la consommation en énergie primaire passe de 7 % en 2016 à **60 %** en 2040.



Production d'énergie primaire sur le territoire. Les triangles en orange correspondent à la consommation en énergie primaire.

Sources: Artélys 2020

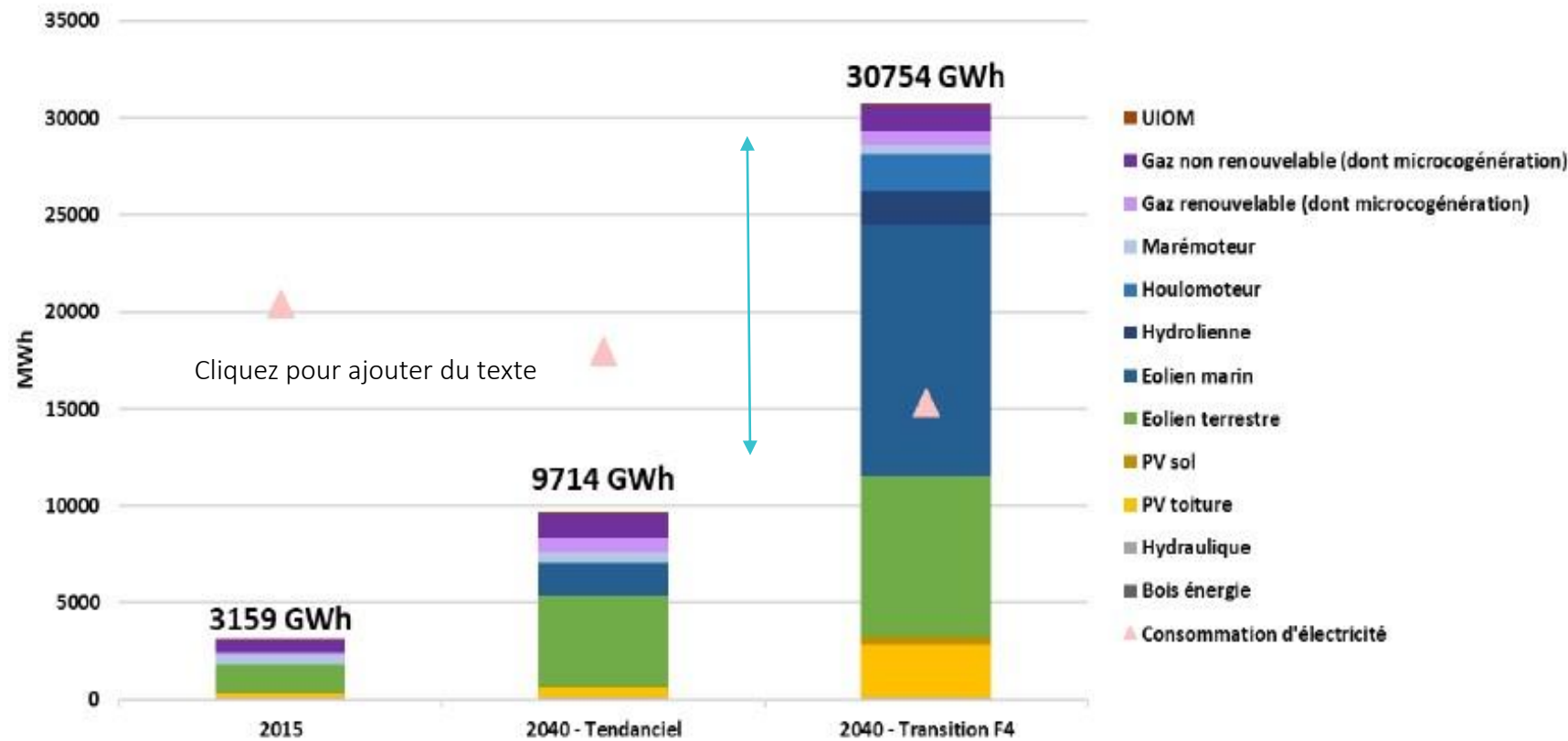
Une part croissante des énergies marines dans les objectifs régionaux de production EnR



Le scénario transition du SRADDET

Une place déterminante des énergies marines dans le bouquet électrique breton

Dans le bouquet électrique 2040, les énergies marines renouvelables représentent plus de 50% de la production renouvelable bretonne



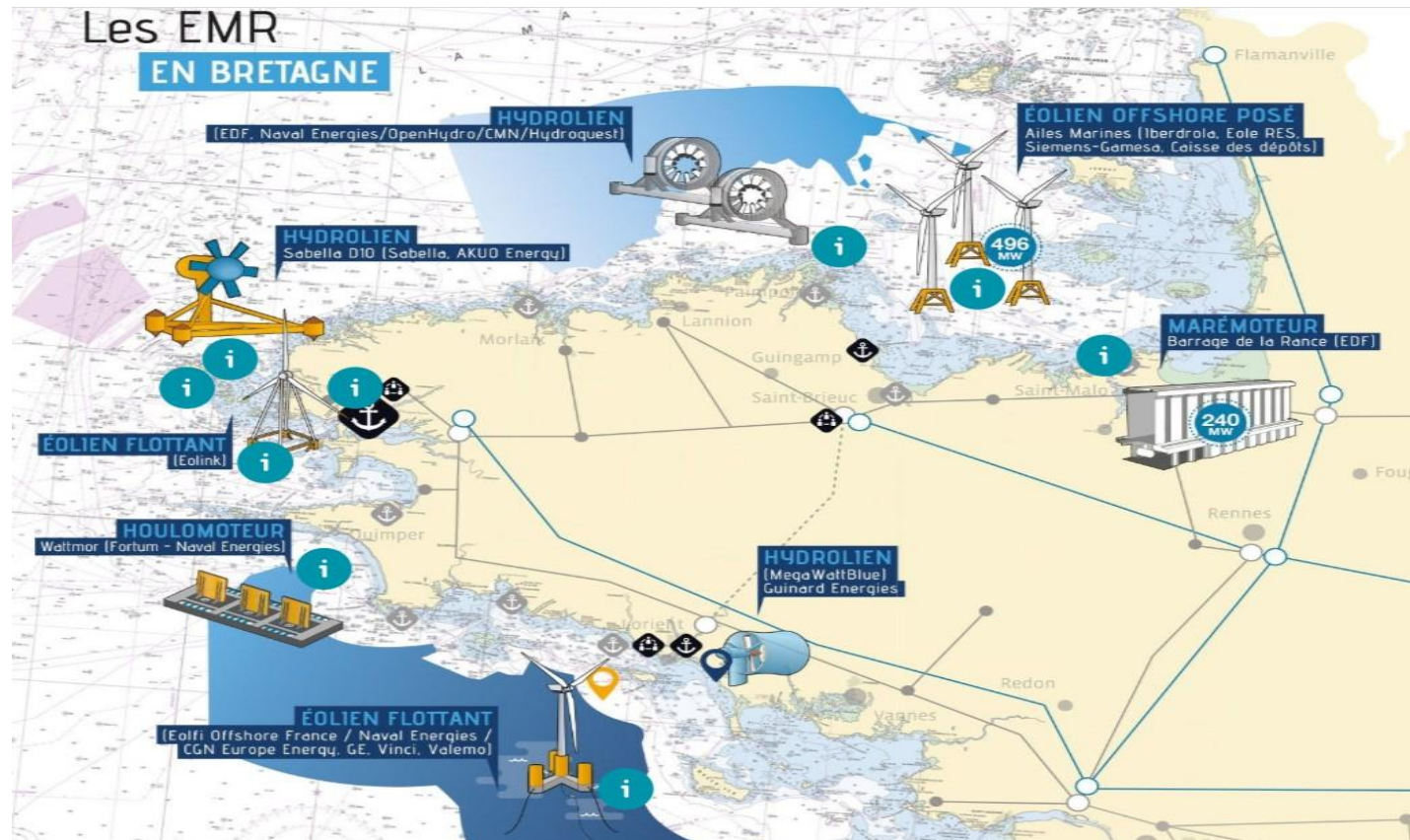
Evolution de la production d'électricité du territoire

Sources: Artélys 2020

Le scénario transition du SRADDET

Les objectifs détaillés du scénario relatif à l'éolien en mer :

- Baie de Saint-Brieuc: **500 MW** avec une mise en service envisagée en 2022-2023
 - Groix et Belle-Île : **24 MW** avec une mise en service envisagée en 2021
 - 3 fermes commerciales éoliennes flottantes de 500 MW à horizon 2030 pour une puissance globale installée de 1,5 GW avant 2030
- => **objectif scénario transition = 4 GW en 2040**



ÉOLIENNES FLOTTANTES AU SUD DE LA BRETAGNE

Échanges avec la salle



ÉOLIENNES FLOTTANTES AU SUD DE LA BRETAGNE

Les avantages de l'éolien au large

Vincent Guénard, Animateur Pôle éolien et
énergies marines, en charge du suivi de la
filière éolienne en mer

ADEME, Agence de la transition écologique,
Service Réseaux et Energies Renouvelables
(en visioconférence)

Sommaire

- 1. Notions utiles sur la production d'électricité**
- 2. Les avantages de la localisation en mer**
- 3. Les bénéfices énergétiques des parcs bretons**
- 4. Conclusions et perspectives**
- 5. Références**

1. Quelques notions utiles sur l'électricité (1/2)

❑ La puissance électrique

C'est le produit de la quantité d'électricité qui traverse le conducteur (Intensité du courant en ampères [A]) et de la tension (en volts [V]). $\text{Puissance} = \text{Intensité} \times \text{Tension}$

Elle s'exprime en Watt [W], kilowatts (1 kW = 1000 W), mégawatts (1 MW = 1 000 000 W), gigawatts (1 GW = 1 000 MW), térawatts (1 TW = 1 000 000 MW).

❑ L'énergie électrique correspond à une puissance électrique consommée ou produite pendant une unité de temps.

Elle s'exprime en wattheures [Wh] ou kilowattheures [kWh] ou megawattheures (MWh) ou gigawattheures (GWh) ou terawattheures (TWh)

Ex : Une ampoule de 40 W fonctionnant pendant 1 heure consomme une énergie de 40 Wh. La même ampoule qu'on éteindrait au bout ½ h a besoin de 20 Wh

❑ La capacité installée d'une centrale électrique est sa puissance nominale

❑ Le facteur de charge (en %) est le rapport entre le nombre d'heures de fonctionnement en équivalent pleine puissance et le nombre d'heures de fonctionnement théorique dans l'année (8 760 h). C'est le rapport entre l'énergie que produit l'éolienne sur une période donnée et l'énergie qu'elle aurait produite durant cette période si elle avait constamment fonctionné à puissance nominale.

1. Quelques notions utiles sur l'électricité (2/2)

❑ Courbe de puissance d'une éolienne

C'est la fonction de transfert reliant l'énergie mécanique du vent à l'énergie électrique produite par une éolienne, On représente la puissance (ou le facteur de charge) en fonction de la vitesse du vent à la nacelle

Courbe de puissance typique d'une éolienne offshore. L'éolienne produit entre 3 ms^{-1} ($\sim 6 \text{ kts}$) et 25 ms^{-1} ($\sim 50 \text{ kts}$). Sa puissance nominale (facteur de charge 100 %) est obtenu à partir de 13 ms^{-1} ($\sim 25 \text{ kts}$). La puissance nominale des éoliennes est leur puissance maximale.

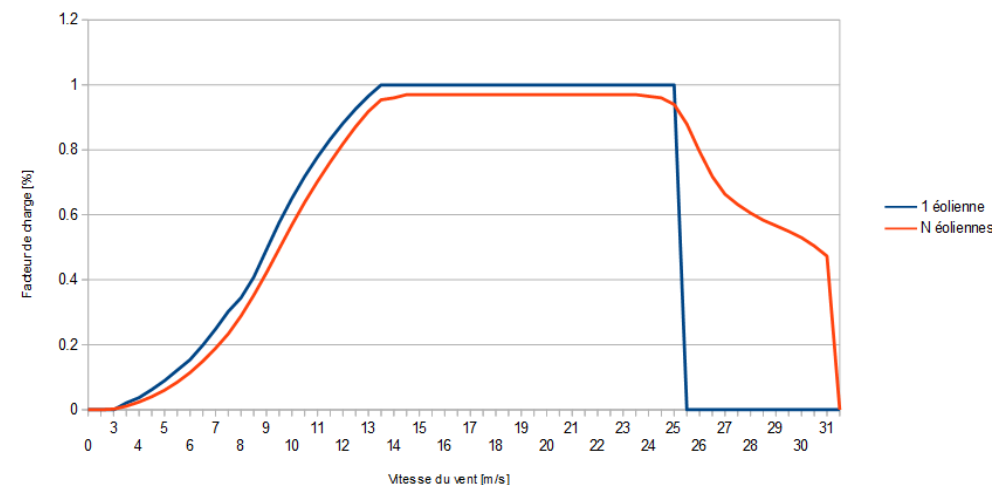
❑ Taux de disponibilité d'une éolienne

C'est la durée où l'éolienne est en fonctionnement et prête à produire rapporté à une année. Il s'établit entre 90 et 98 % (dépend d'éventuelles pannes, des périodes de maintenance et du fonctionnement du réseau d'électricité). La durée de production d'une éolienne dépend aussi des conditions de vent du site (de l'ordre de 70 à 80 % pour un parc en mer).

❑ Courbe de puissance d'un parc

Un ensemble d'éoliennes n'a pas tout à fait le même comportement qu'une éolienne seule. On peut observer des effets de lissage et de sillage qui induisent des variations de puissance beaucoup moins brutales que sur une éolienne seule et donc beaucoup plus intégrables dans le réseau d'électricité (courbe rouge)

Comparaison entre la courbe de puissance d'une éolienne et celle d'un parc d'éoliennes



2. Les avantages de la localisation en mer pour la production d'électricité (1/5)

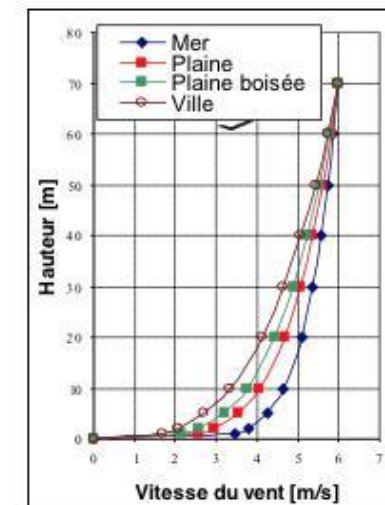
- ☐ Selon l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), l'éolien en mer présente un potentiel technique mondial de 36 000 TWh alors que la demande mondiale annuelle en électricité est de 23 000 TWh). L'éolien offshore pourrait couvrir la demande mondiale. **L'AIE fait de l'éolien en mer un des piliers de la Transition Energétique**
- ☐ Même si l'éolien en mer présente un potentiel quasi illimité, **il ne remet pas question la diversification du mix électrique** et des bénéfices des complémentarités entre les énergies nucléaires, fossiles et renouvelables (EnR).
- ☐ Cependant, on peut constater les EnR terrestres (notamment l'éolien, la biomasse, le PV, l'hydroélectricité) sont beaucoup contestées ce qui pousse à exploiter les ressources en mer
- ☐ Un des avantages de l'éolien en mer est **de rapprocher les moyens de production aux zones de consommation** : plus de 20 % de la population mondiale vit actuellement à moins de 30 km des côtes, plus de 50 % dans les zones côtières à moins de 100 km du rivage)

2. Les avantages de la localisation en mer pour la production d'électricité (2/5)

❑ La mer offre de plus grands espaces qu'à terre et donne accès à une ressource de meilleure qualité

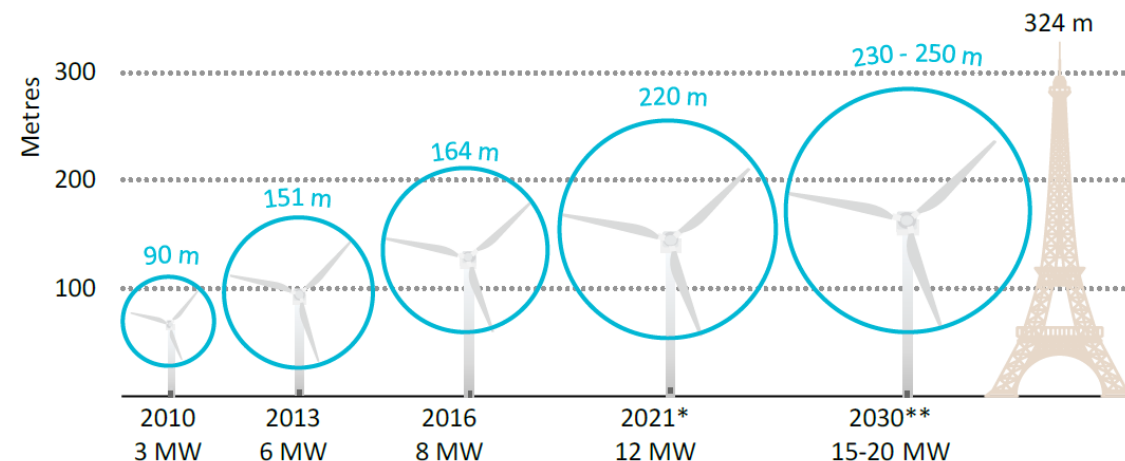
- Le profil du vent en mer est beaucoup plus homogène qu'à terre du fait de la rugosité de la surface plus faible en mer → il n'est donc pas utile de chercher le vent très haut comme pour l'éolien terrestre

❑ En parallèle, les éoliennes offshore sont beaucoup plus puissantes qu'à terre : à l'heure actuelle autour de 8 – 10 MW, bientôt de 12-15 MW. A terre, elles culminent à 5 MW au grand maximum.



❑ Bien que les éoliennes en mer soient plus grandes et plus puissantes, elles n'ont pas besoin d'être installées à des hauteurs importantes au dessus de la mer ce qui les rend **beaucoup moins visibles que sur terre** (d'autant qu'on les éloigne entre 15 et 30 km des côtes)

- Une éolienne terrestre de 4,5 MW (diamètre 150 m) s'installe à une hauteur de 125 m (soit 200 m en bout de pale)
- Les 3 éoliennes de Groix et Belle-Ile de 9,5 MW (diamètre 164 m) seront installées à 105 m (soit 187 m en bout de pale)



2. Les avantages de la localisation en mer pour la production d'électricité (3/5)

☐ La production de l'énergie en Bretagne à partir des sources renouvelables

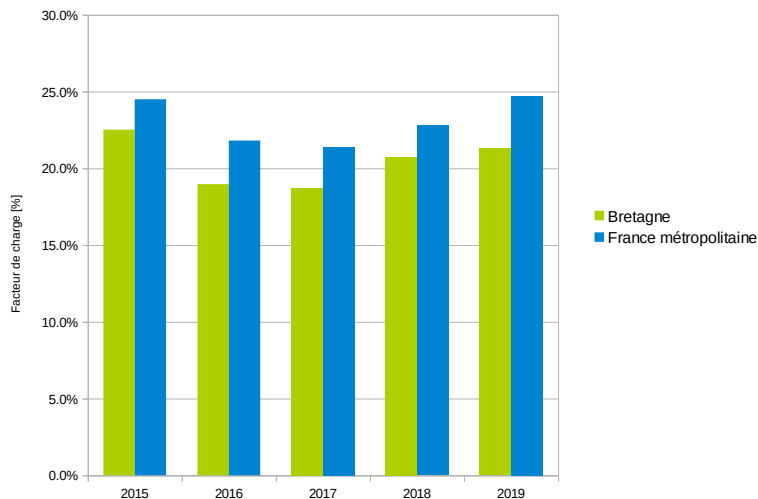
- Analyse du facteur de charge des centrales éoliennes et PV en Bretagne
- Le facteur de charge des éoliennes terrestres s'établit entre 19 % et 22 % entre 2015 et 2019 et entre 7 % et 12 % pour l'énergie photovoltaïque

☐ Pour ces 2 filières, le facteur de charge est inférieur à la moyenne nationale (- 2 %)

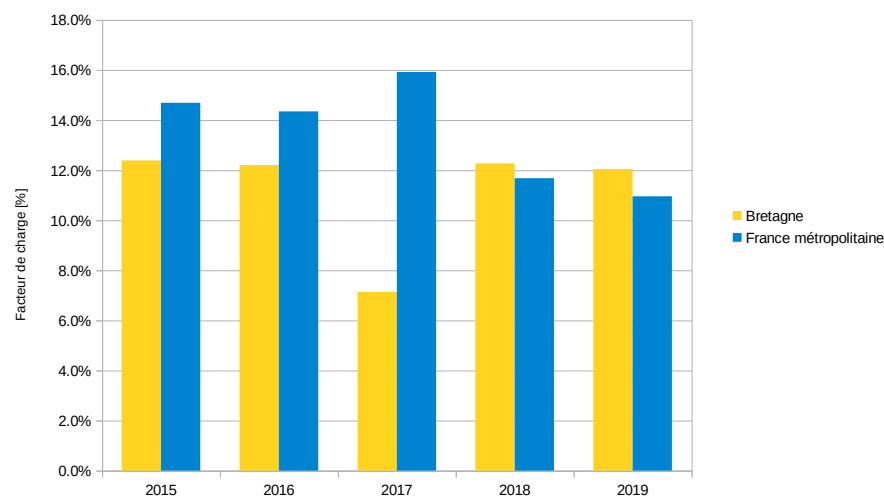
☐ Contrairement aux idées reçues, l'éolien terrestre en Bretagne n'est pas si productif qu'on pourrait le penser

☐ **Produire de l'électricité à partir de sources renouvelables nous incite à exploiter les ressources en mer**

Facteur de charge éolien terrestre de 2015 à 2019



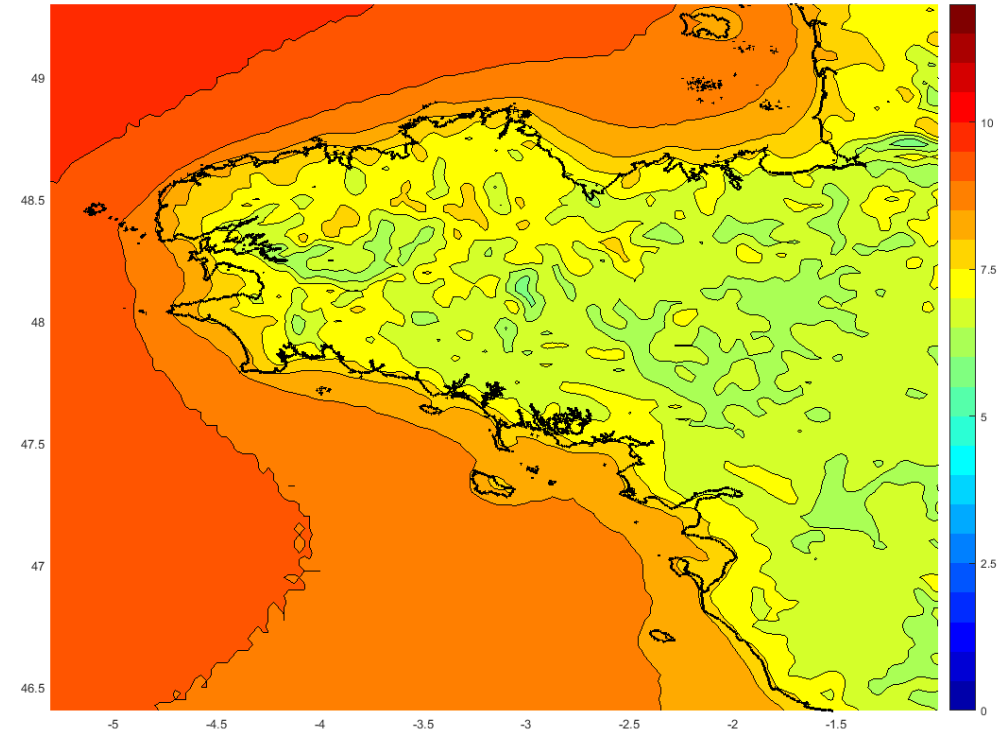
Facteur de charge photovoltaïque de 2015 à 2019



2. Les avantages de la localisation en mer pour la production d'électricité (4/5)

- ❑ La ressource éolienne en mer est plus abondante avec des vents plus réguliers et moins turbulents qu'à terre
- ❑ D'après le modèle de Météo-France, le vent à 100 m est :
 - supérieur à $8,5 \text{ ms}^{-1}$ en mer
 - environ 7 ms^{-1} en zone littorale
 - inférieur à 7 ms^{-1} à l'intérieur des terres

→ d'où l'intérêt d'aller en mer

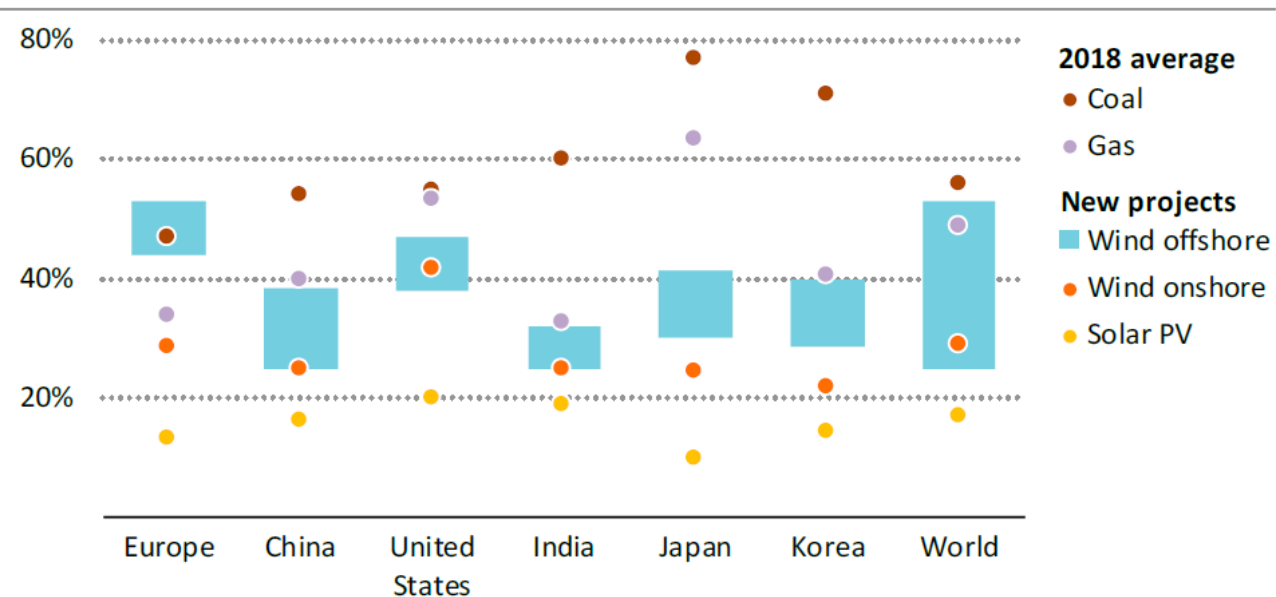


Source : Météo France, modèle AROME 2,5 km période 2000-2014

2. Les avantages de la localisation en mer pour la production d'électricité (5/5)

- ❑ Les facteurs de charge de l'éolien en mer sont nettement plus importants qu'à terre. Les parcs offshore en Europe présentent des facteurs de charge de 30 à 40 % (voire 55 % pour la ferme pilote éolienne flottante HyWind Scotland en 2019).
- ❑ L'Agence Internationale de l'Energie prévoit que **le facteur de charge de l'éolien en mer va encore augmenter** avec l'amélioration des performances des éoliennes **pour atteindre des valeurs supérieures aux énergies fossiles en Europe** (entre 45 % et 55 %).
- ❑ **Le facteur de charge espéré pour les 2 parcs bretons (250 et 500 MW) sera au minimum de 40 %**

Figure 4 ▶ Indicative annual capacity factors by technology and region



Source : Agence Internationale de l'Energie, 2019

3. Bénéfices énergétiques des parcs bretons

- ❑ Pour le projet Bretagne Sud avec des machines de 12 MW, on peut espérer des facteurs de charge supérieurs à 40 %
 - 20 éoliennes de 12 MW = 240 MW produit environ 840 GWh/an avec un facteur de charge 40 %
 - Pour produire une quantité d'électricité équivalente avec des éoliennes terrestres, il faudrait installer une capacité totale de 480 MW ce qui représente 160 éoliennes de 3 MW de 150 m de hauteur en bout de pales
 - **Finalement, un parc en zone Bretagne Sud nécessite 8 fois moins d'éoliennes qu'à terre pour produire une quantité énergie électrique équivalente**
- ❑ **Cette production équivalut à la consommation de 170 000 foyers soit près de 400 000 habitants** soit environ la moitié des habitants du Morbihan ce qui ne signifie pas que le parc est une solution d'autonomie énergétique du Morbihan. L'électricité se stockant difficilement, la connexion du parc avec d'autres moyens de production au sein du réseau d'électricité est toujours nécessaire

4. Conclusions et perspectives

- ❑ **L'éolien en mer est une vraie opportunité de développer des moyens de production de grande envergure en Bretagne** sans remettre en cause la diversification des moyens de productions renouvelables notamment sur terre
- ❑ Il permet de **valoriser les importantes ressources en mer de la Bretagne** qui vont bien au-delà de ce qu'on est en mesure de générer sur terre
- ❑ **Le parc participe à une réduction de la fragilité électrique de la Bretagne** sans remettre en cause le système électrique national ni régional. D'autres vecteurs de stockage de l'énergie peuvent être discutés dans le débat **de manière prospective** compte tenu de la maturité de ses solutions (production en mer d'hydrogène ou d'ammoniac).
- ❑ **Cette opportunité s'accompagne aussi d'autres retombées positives** décrites dans d'autres ateliers thématiques.

ÉOLIENNES FLOTTANTES AU SUD DE LA BRETAGNE

La gestion de la variabilité de la
production électrique éolienne

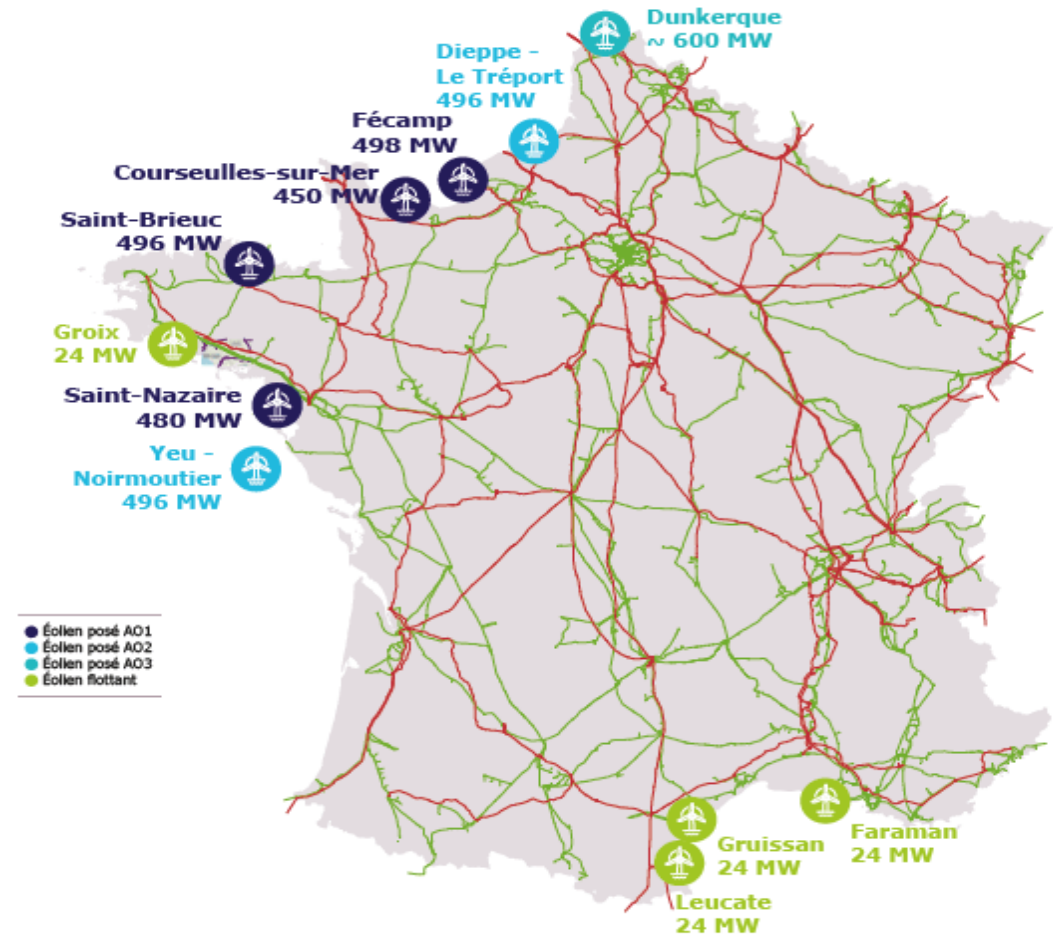
Gro Waeraas de Saint-Martin, Directrice
de programme RTE-France

Les missions de RTE

Assurer l'accès à une alimentation électrique économique, sûre et propre, 7j/7, 24h/24

Maintenir et exploiter le réseau

Développer les infrastructures de demain, électriques et digitales



Puissance ou énergie ?

Capacité d'une centrale de production à produire de l'électricité (MW)



PUISSANCE

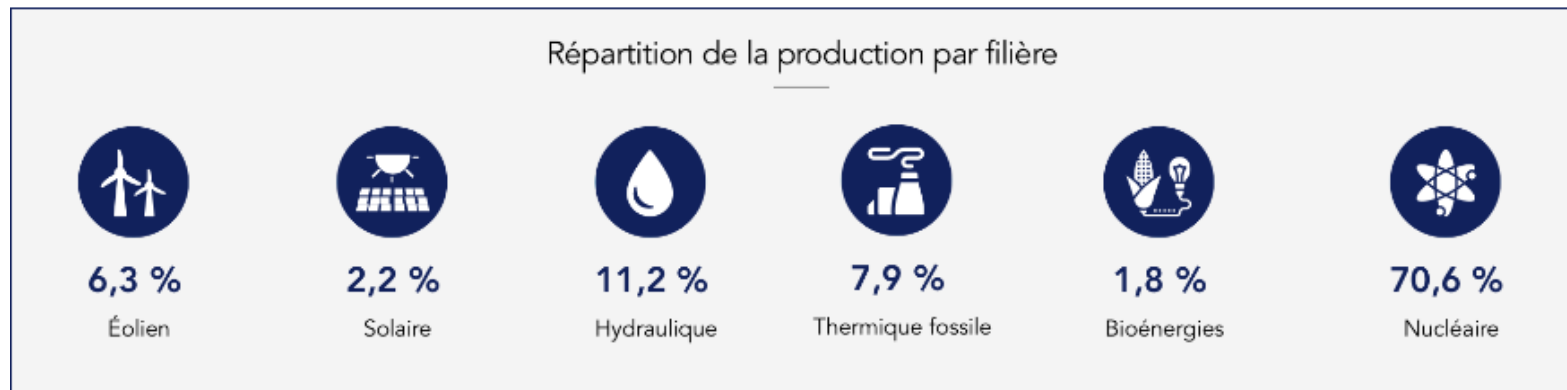
La production d'électricité pendant une heure (MWh)



ÉNERGIE

La part des EnR a fortement augmenté depuis 5 ans

- L'éolien terrestre et le PV représentent **20%** du parc électrique français et **8,5%** de la production électrique
- Cette part a **doublé** depuis 2013, à la fois pour le PV et l'éolien terrestre

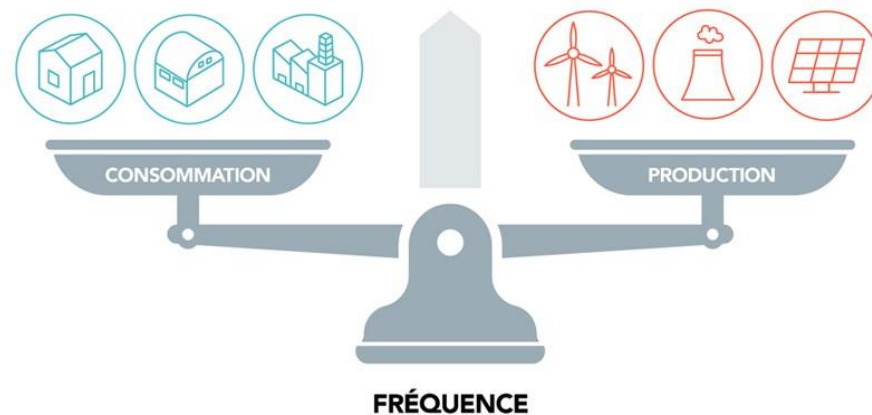


L'éolien, c'est 16,5 GW de puissance installée aujourd'hui



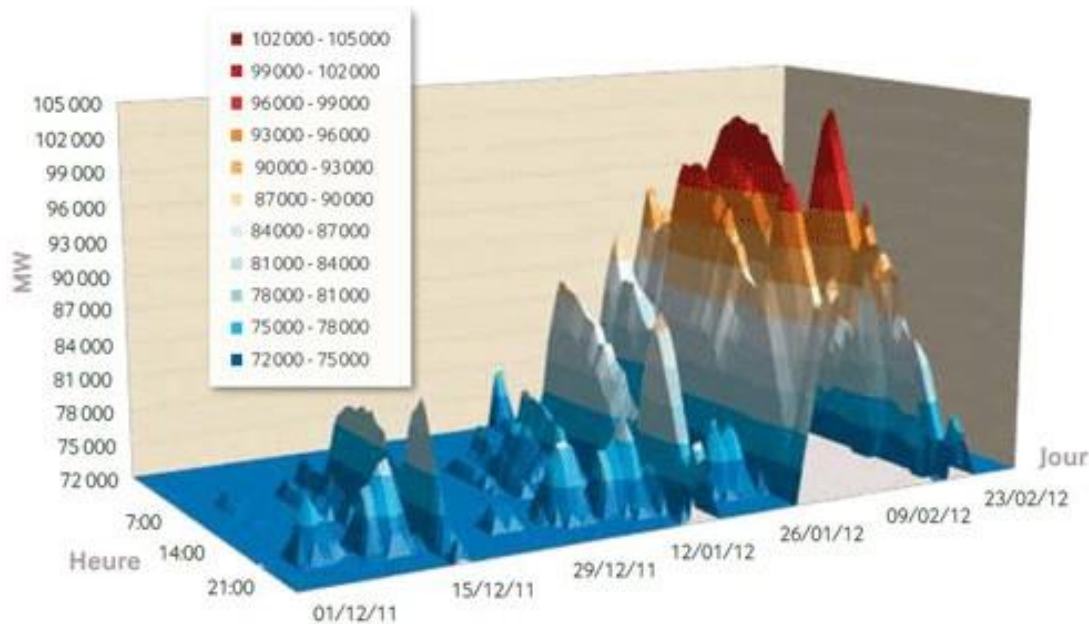
La transition énergétique va accélérer cette évolution

- A horizon 2035 (scénario PPE) : **l'éolien et le PV représenteront plus de 50% de la puissance installée et 35% de la production électrique française**
 - Le parc thermique baisse et ne représentera plus que 2 %
 - Il y aura des périodes de faible vent
- Comment RTE va-t-il gérer cette variabilité croissante ?



Le système électrique : plusieurs éléments variables

1. La consommation : une variabilité connue qui va évoluer avec les usages de l'électricité



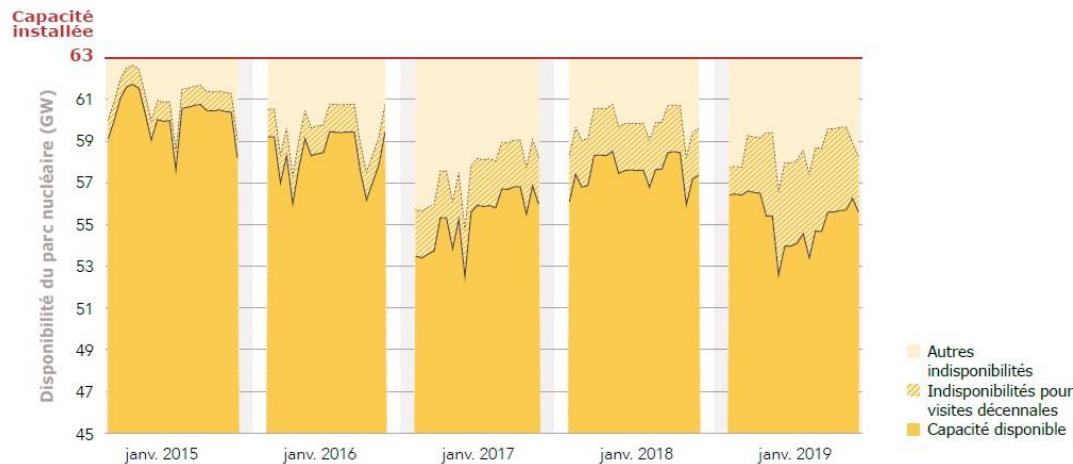
- **Une périodicité saisonnière** : été vs hiver du fait de la thermosensibilité de la demande
- **Une périodicité hebdomadaire** : jours ouvrés vs week-end
- **Une périodicité journalière** : pointe de consommation en matinée et en soirée vs des creux la nuit très marqués
- **Des flexibilités possibles** : effacement de consommation industrielle, pilotage du chauffage ou de la recharge du véhicule électrique....

5. La gestion de la variabilité de la production électrique éolienne

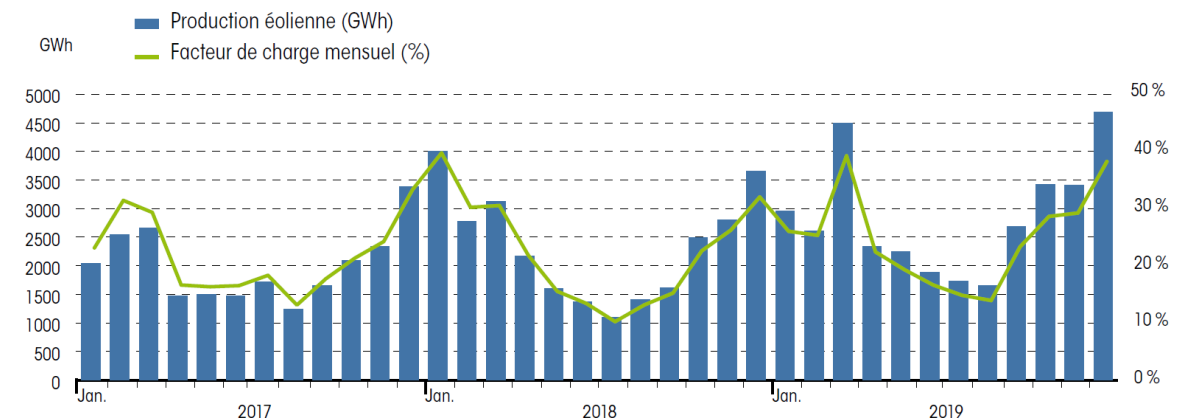
Le système électrique : plusieurs éléments variables

2. La production : une variabilité en hausse

- **L'éolien** : production plus abondante en hiver qu'en été, avec une variabilité d'une journée sur l'autre plus importante que la production solaire
- **Le solaire** : production moins abondante en hiver qu'en été, nulle la nuit et importante en milieu de journée
- **Le nucléaire** : une disponibilité fonction des visites décennales, des arrêts pour maintenance et de la température, ainsi que des arrêts fortuits (problèmes matériels)
- Des modulations possibles de la production thermique, nucléaire et hydraulique – et de l'éolien !



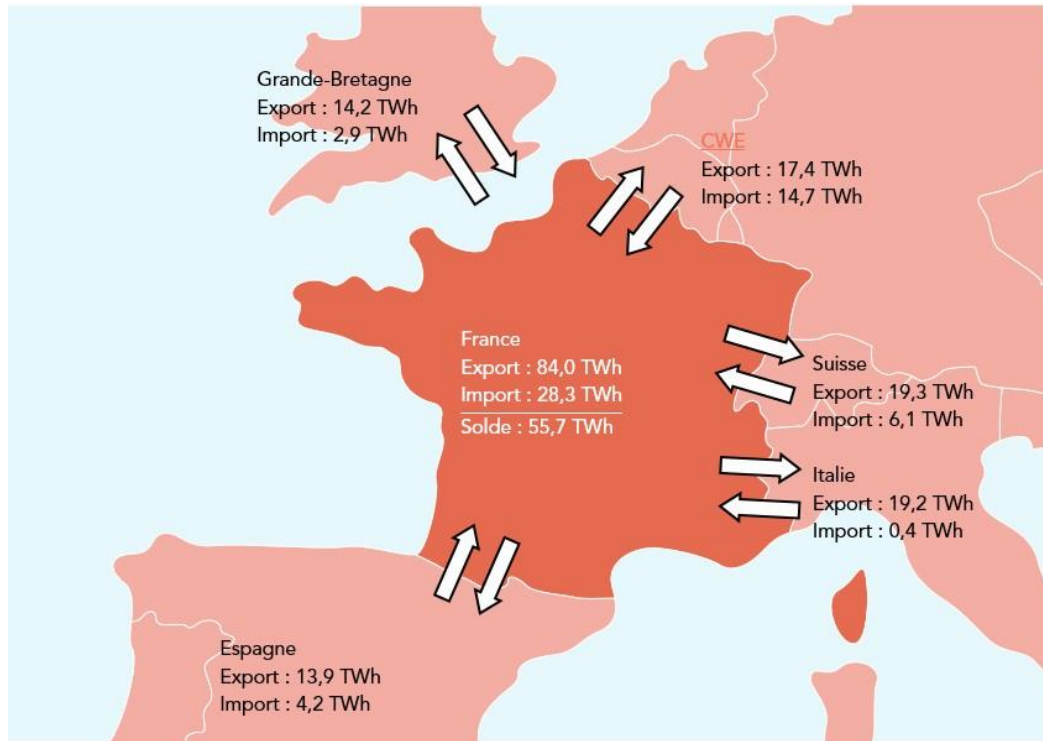
Production éolienne (GWh) et facteur de charge mensuel (%)



5. La gestion de la variabilité de la production électrique éolienne

Le système électrique : plusieurs éléments variables

3. Les échanges : une souplesse de 27 GW pour le système



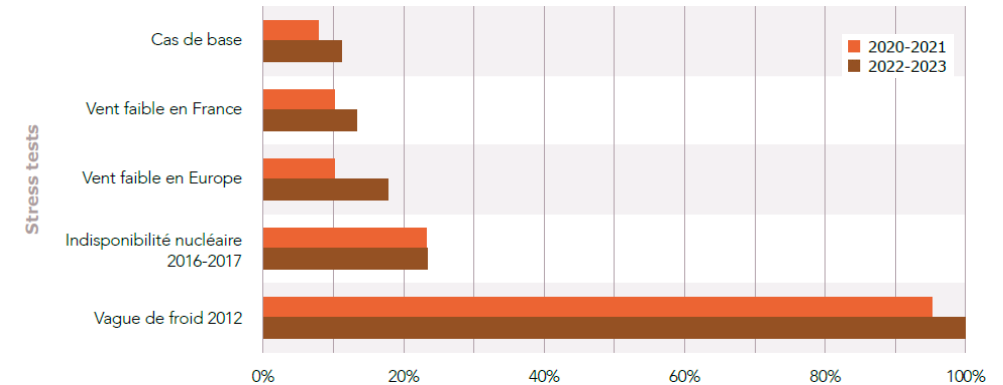
- Les échanges varient en fonction des prix de marché et de l'équilibre offre demande dans les pays voisins
- Ils restent très volatils tout au long de l'année
- En 2019 : solde variant entre 9,3 GW en import le 19 novembre à 9h à 17,4 GW en export le 22 février à 16h

L'évaluation de la sécurité d'approvisionnement dans le système électrique actuel réalisée par RTE

— L'évaluation de la sécurité d'approvisionnement :

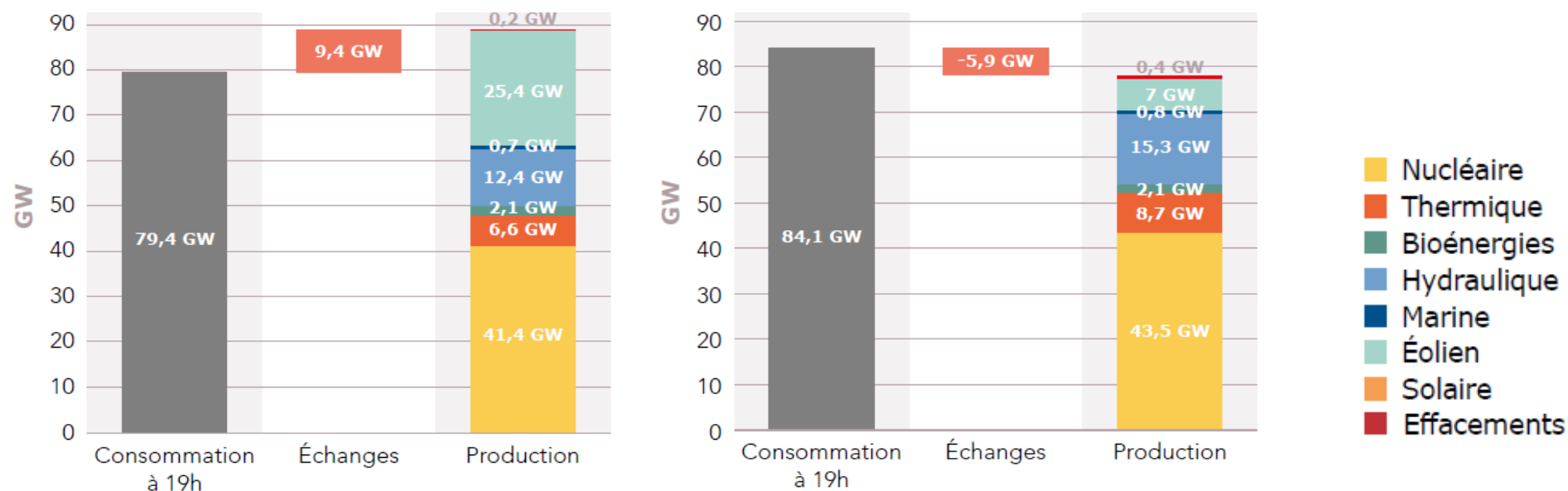
- Réalisée par RTE et publiés chaque année dans le **Bilan prévisionnel**
- Une **analyse dite « probabiliste »** évaluant les risques de défaillance en simulant l'équilibre offre-demande sous un très grand nombre de configurations
- Complétée par des **stress tests** pour évaluer la robustesse dans les situations les plus tendues (faible dispo nucléaire, pointe extrême de consommation, vent faible, ...)
- **Aujourd'hui**, l'essentiel des risques de déséquilibre entre l'offre et la demande concentré sur **des situations extrêmes de vague de froid ou d'indisponibilités simultanées affectant le parc nucléaire**
- **A terme**, une **évolution des enjeux** (ex : période de vent faible + nuit ou faible ensoleillement)

Probabilité de survenue d'au moins une heure de défaillance la semaine la plus critique de l'hiver (2e semaine de janvier)



La production éolienne contribue positivement à la sécurité d'approvisionnement

Contribution moyenne des filières, scénario Ampère 2035, une journée de janvier normale (gauche) puis froide (droite)



Dans les situations **froides et avec peu de vent***, on constate que :

- La consommation est plus forte
- La contribution de l'éolien est 3,5 fois plus faible mais reste néanmoins substantielle, de l'ordre de 7 GW
- La production thermique est mobilisée et on importe

* Moyenne des consommations et contributions des filières autour du 1^{er} décile de la monotone de facteur de charge éolien

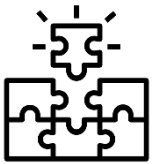
L'intégration de la production variable à horizon 2035 est techniquement réalisable et économiquement pertinente

Selon les analyses du Bilan Prévisionnel 2017 : à horizon 2035, **l'intégration de la production EnR variable jusqu'à 50% est techniquement faisable et économiquement pertinente**

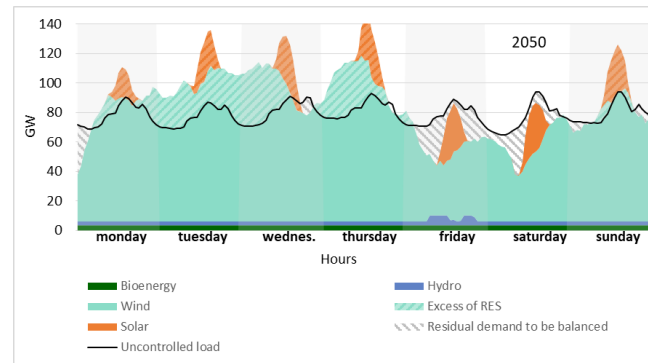
A cet horizon et **à plus long terme**, dans un contexte de diversification forte du mix, la gestion du système électrique reposera sur **un équilibre global** entre :

- les capacités installées en **EnR** (solaire et éolien) ;
 - le développement du **stockage** : batteries, barrages hydrauliques, hydrogène et gaz de synthèse...;
 - le pilotage de la consommation : **effacements, véhicules électriques, power-to-gas, ...**
 - la mise en service de nouvelles **centrales thermiques** ;
 - les capacités d'**échanges aux frontières**.
- *A la demande de la ministre de la transition écologique, RTE élabore avec l'Agence Internationale de l'Energie un rapport visant à établir les conditions de la faisabilité technique d'un mix avec jusqu'à 100% EnR*

L'intégration massive des EnR est possible en s'adossant à des flexibilités et des moyens de production pilotables



- L'ensemble de ces leviers sont complémentaires
- RTE coordonne l'ensemble et évalue différentes combinaisons de flexibilité pour assurer la sécurité d'approvisionnement
- Les questions de faisabilité concernent aussi la faisabilité industrielle, l'acceptabilité / désirabilité sociale, et l'impact environnemental au-delà des émissions de CO2



Exemple de semaine hivernale en 2050 – 100% renouvelable

ÉOLIENNES FLOTTANTES AU SUD DE LA BRETAGNE

Échanges avec la salle



ÉOLIENNES FLOTTANTES AU SUD DE LA BRETAGNE

Conclusion
CPDP

Pour aller plus loin

- Les ressources en ligne



ÉOLIENNES FLOTTANTES AU SUD DE LA BRETAGNE

Rappel des prochaines rencontres

- Le 23 septembre : économie de l'électricité éolienne
- Le 25 septembre : réunion d'information à Groix
- Le 6 octobre : réunion d'information à Belle-Île
- Le 9 octobre : les retombées économiques attendues



ÉOLIENNES FLOTTANTES AU SUD DE LA BRETAGNE

MERCI DE VOTRE ATTENTION



ÉOLIENNES FLOTTANTES AU SUD DE LA BRETAGNE