



Groupe de travail sur la « scénarisation »

Réunion du 2 juillet 2019



Contexte et objectifs

L'horizon 2050 : enjeu actuel du débat public sur l'évolution du mix énergétique

- La politique énergie-climat de la France est aujourd'hui axée sur la réduction des émissions de GES avec un objectif de neutralité carbone à horizon 2050, découlant de l'accord de Paris.
 - Il s'agit également d'un horizon central de la politique climatique à l'échelle européenne (cf. communication de la Commission, appel de 9 états membres à atteindre la neutralité carbone...) et internationale (GIEC...). Nombre d'acteurs contribuent au débat sur les mesures à mettre en place d'ici 2050.
 - Jusqu'à 2035, la trajectoire du mix électrique français est aujourd'hui balisée par la PPE, et des scénarios précis et chiffrés existent à cette échéance (BP 2017).
 - À horizon 2050, la SNBC donne des mesures permettant d'atteindre la neutralité carbone, ainsi que des trajectoires globales d'évolution de la demande en énergie mais pas de trajectoires détaillées sur l'évolution du mix électrique.
- RTE est régulièrement interrogé sur le fonctionnement du mix à horizon 2050 : pour y répondre, les prochains scénarios de long terme iront jusqu'à 2050.



La gouvernance des travaux pilotée par l'exigence de l'exercice

Lancement d'une large concertation sur la scénarisation et les hypothèses des scénarios

pour cibler les points d'intérêt du débat public, renforcer la pertinence et la légitimité des scénarios, et accroître la transparence sur les hypothèses

La CPSR

Une instance de cadrage stratégique des travaux et d'arbitrage des orientations

Des groupes de travail

Des instances de partage des hypothèses et résultats au niveau technique

Une consultation publique

Des appels à contribution qui viendront enrichir les échanges initiés en groupes de travail

Les GT seront lancés dès juin, avant une consultation publique très large qui aura lieu dans un second temps (automne) et pourra ainsi s'appuyer sur une première matière technique issue des GT

Objectif du groupe de travail sur la scénarisation

- **Dans une démarche de transparence et de co-construction, l'élaboration des prochains scénarios de long terme du Bilan prévisionnel vise à être réalisée en concertation avec l'ensemble des parties prenantes**
- L'analyse des scénarios se basera sur des éléments de cadrage déjà présentés au cours de la dernière réunion plénière de la CPSR
 - la définition des scénarios s'inscrira dans les grandes orientations de la SNBC et l'atteinte de la neutralité carbone ;
 - la construction des scénarios intégrera une trajectoire détaillée et une identification des jalons-clés afin d'estimer les valeurs d'options ou les regrets de certains mix technologiques ;
 - les scénarios seront analysés sous quatre angles principaux : fonctionnement technique du système, enjeux sociétaux et acceptabilité, enjeux environnementaux et analyse économique ;
 - plusieurs scénarios contrastés seront élaborés et constitueront des ensembles cohérents de paramètres définissant la production et la consommation



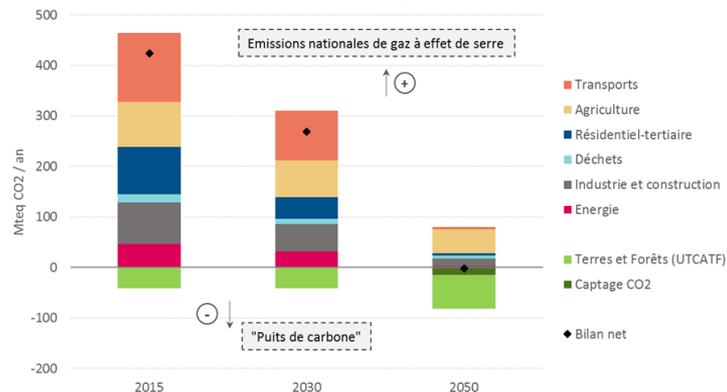
2

Cadrage des scénarios de long terme du Bilan prévisionnel

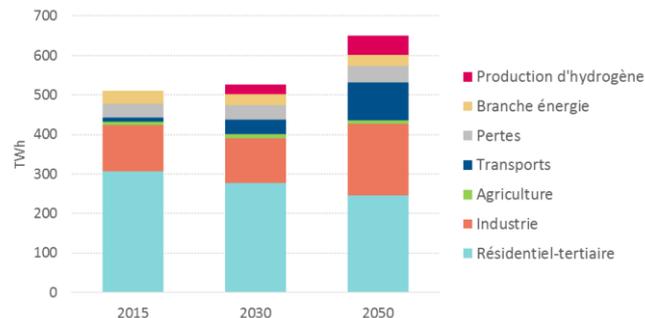
Les scénarios de long terme seront basés sur un principe d'atteinte de la neutralité carbone en 2050

- La France est désormais fortement engagée sur l'atteinte de l'objectif de neutralité carbone. La SNBC donne le cadrage de la trajectoire énergétique la France à horizon 2050 pour atteindre cet objectif
- **Le cadrage général des prochains scénarios de long terme de RTE sera articulé autour de la SNBC**
- **Des variantes sont possibles**, notamment sur les économies d'énergie et la consommation d'électricité... mais sans refaire le débat de la SNBC
- Ces variantes pourront s'inspirer des différentes études existantes : étude accompagnant la communication du 28 novembre 2018 de la Commission européenne, scénarios du GIEC, scénarios TYNDP communs ENTSO-G / ENTSO-E, autres études (ADEME, Eurelectric, Foratom, Greenpeace, NégaWatt, SFEN...)

Trajectoire d'émissions de gaz à effet de serre (SNBC)

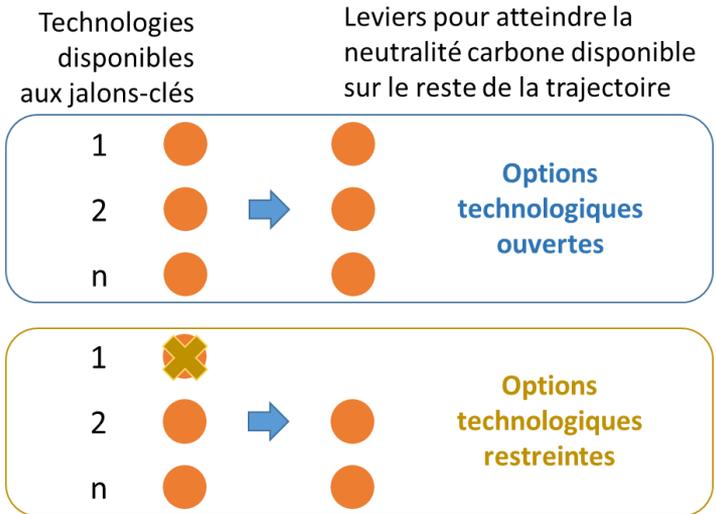


Trajectoire de consommation d'électricité (SNBC)



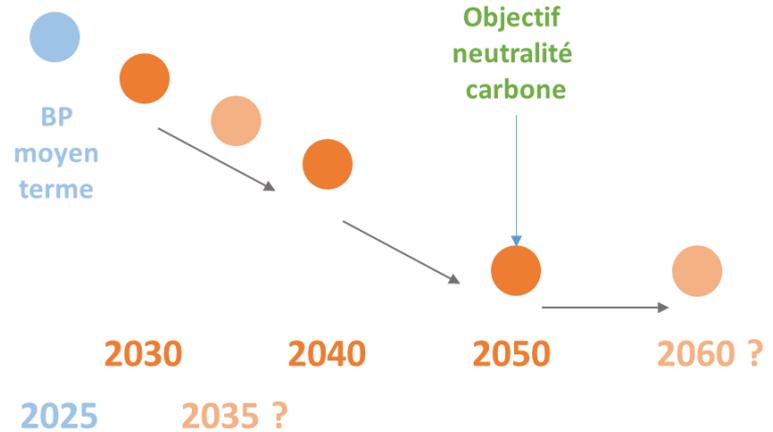
Des défis industriels qui impliquent de pouvoir anticiper certaines décisions structurantes sur le mix électrique

- La construction des « scénarios cibles » à l'horizon 2050 doit également **décrire le / les chemins pour y arriver afin de pouvoir identifier les jalons clés** :
 - à quel moment faut-il décider / investir pour assurer le maintien de l'équilibre du mix électrique ?
 - quelle est la valeur d'option associée à certaines technologies ?
 - comment limiter les regrets tant s'agissant des coûts échoués que des déviations par rapport à la cible ?



Le choix des échéances d'étude pour les trajectoires de long terme

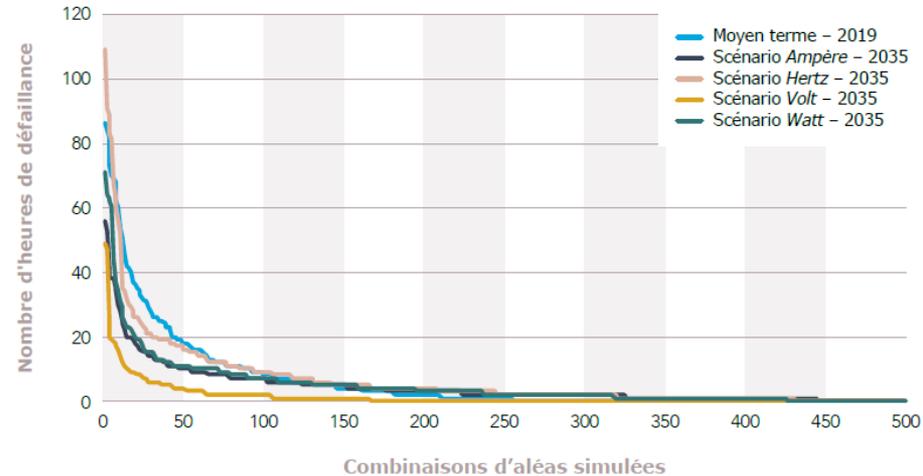
- Les scénarios de long terme du Bilan prévisionnel décriront des **trajectoires** d'atteinte de la neutralité carbone à l'échelle du système électrique, notamment les **échéances de 2030, 2040 et 2050**
- **Deux échéances supplémentaires**, correspondant aux horizons **2035 et 2060**, pourraient également faire l'objet d'analyses si besoin
 - L'échéance 2035 pourrait présenter de l'intérêt car elle correspond à un jalon-clé de la politique énergie-climat de la France, avec l'objectif de 50% de nucléaire à cet horizon
 - Il pourrait être utile de mettre en avant les évolutions jusqu'en 2060 pour illustrer les incertitudes associées à l'horizon 2050 et les conséquences ultérieures des décisions à cette échéance



Des enjeux techniques de transformation du système électrique

- De nouvelles technologies se développent au sein du système électrique ou sont appelés à se développer
 - Du côté de la production : nouveau nucléaire, renouvelables, etc.
 - Du côté de la consommation : électromobilité, *power-to-gas*, flexibilisation de la consommation, etc.
- Leur intégration soulève plusieurs enjeux techniques pour l'équilibre du système et du réseau :
 - La **sécurité d'approvisionnement** et le paysage de défaillance
 - La **fourniture des réserves ou des marges** d'exploitation dans les volumes requis
 - La fourniture de nouveaux services pour assurer la **stabilité de la fréquence**
 - La **gestion des flux** sur le réseau électrique et son développement

Monotones des heures de défaillance pour 1000 configurations simulées, dans les différents scénarios du Bilan prévisionnel 2017



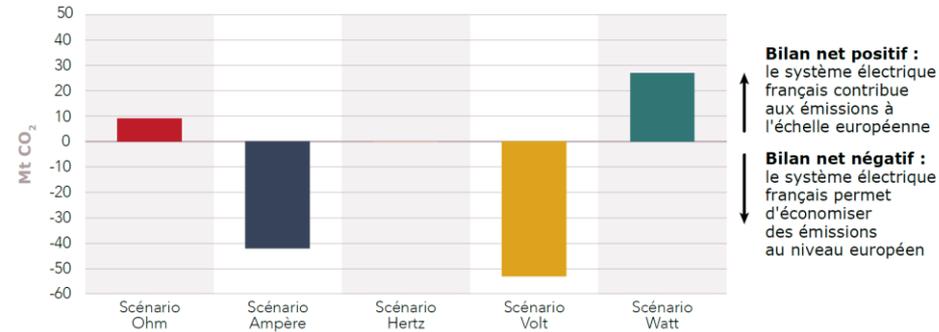
Des enjeux [d'acceptabilité sociétale]

- L'atteinte de la neutralité carbone emporte des changements qui peuvent être significatifs pour le système électrique et ses utilisateurs :
 - Des investissements (production, réseau, efficacité énergétique) qui peuvent induire des coûts mais également des impacts environnementaux (visuels, artificialisation des surfaces) ;
 - Une modification du consentement des consommateurs par rapport au critère de défaillance (3h/an en espérance) voire une individualisation de la sécurité d'approvisionnement (chacun choisissant son niveau de couverture) ;
 - Une évolution des modes de vie et des changements de comportements (sobriété, flexibilité, nouveaux usages, ...) qui peuvent faciliter ou au contraire rendre plus difficile la transition écologique
- **Ces paramètres doivent être proprement décrits et partagés. Par exemple, des variantes pourront prévoir une acceptation plus ou moins forte de l'éolien, une flexibilisation de la consommation plus ou moins poussée, etc.**
- *N.B. : suite à des remarques remontées en CPSR, le terme « d'acceptabilité sociétale » est ici volontairement mis entre crochets, en l'attente d'une formulation adaptée.*

Des enjeux environnementaux au-delà des émissions de gaz à effet de serre

- La réduction des émissions de gaz carbonique mais aussi plus généralement des gaz à effet de serre est le principal défi afin de contenir le changement climatique
- Dans le même temps, l'impact environnemental du système électrique peut être mesuré sur d'autres dimensions, notamment
 - l'**utilisation des ressources** et des sols (minéraux, métaux, combustibles fossiles),
 - l'**impact sur la qualité des écosystèmes**, en particulier des sols ou de l'eau pour l'accueil de la vie
 - et sur la **santé humaine** (pollution de l'air, couche d'ozone, effets cancérigènes)
- Tous les impacts environnementaux doivent s'apprécier tant lors de l'exploitation du système électrique que sur le cycle de vie de ses composants
- **Considérer l'ensemble des enjeux environnementaux permet de mettre en lumière qu'ils ne se résument pas aux seules émissions de gaz à effet de serre et de différencier davantage les scénarios**

Bilan net CO₂ du système électrique français à l'horizon 2035
(2025 pour Ohm) – Bilan prévisionnel 2017



Les scénarios de transition du système électrique répondant aux dimensions techniques, sociétales et environnementales feront l'objet d'un chiffrage économique concerté

- Une fois menée à bien la description des scénarios sur les plans technique, environnemental et sociétal, une analyse économique pourra être réalisée afin d'estimer le coût de l'atteinte de la neutralité carbone en 2050 dans les différents scénarios
- La base de coûts sur laquelle l'analyse économique sera construite sera concertée et enrichie afin d'évaluer plus largement les coûts, par exemple, afin d'intégrer
 - Les coûts d'efficacité énergétique, d'électrification et de flexibilisation
 - L'incertitude sur les trajectoires de coûts des différentes technologies

Coûts annualisés nets de la balance commerciale – Bilan prévisionnel 2017 - Moyenne 2031-2035



Une approche fondée sur l'étude détaillée de scénarios contrastés, notamment s'agissant du mix de production et de flexibilité

- Compte tenu des incertitudes sur de nombreuses dimensions, une approche par optimisation consistant à évaluer le « mix optimal en 2050 » apporterait un éclairage partiel aux questions du débat public
- Pour analyser différentes trajectoires possibles du mix électrique, l'approche proposée par RTE consiste
 - à **élaborer différents scénarios contrastés**, notamment sur l'évolution de la part des différentes technologies de production et de flexibilité dans le mix,
 - et de **les décrire de manière détaillée, dans leur fonctionnement technique et dans leurs implications**

Industrielle

Technique

Environnementale

Sociétale

Economique



3

**Identification des paramètres
définissant les scénarios et de leur plage
de valeurs possibles**

Des paramètres de consommation pourront être figés dans les scénarios et faire l'objet de variantes pour capter leurs effets

- Suite aux demandes des parties prenantes à l'issue du Bilan prévisionnel 2017, il est proposé de figer certains paramètres de consommation dans les scénarios afin de faciliter leur comparaison
- Ces paramètres pourront néanmoins faire l'objet de variantes, comme celles proposées ci-dessous

Paramètres de consommation	Valeur de référence pour tous les scénarios, d'après la SNBC	Sensibilités envisagées
Population	Scénario central INSEE (d'après la SNBC)	Haute ou basse
PIB et niveau de l'industrie	D'après la SNBC	En fonction du niveau d'investissement du scénario
Base climatique	Base climatique à déterminer parmi les référentiels présentés en GT « base climatique » : 2050 RCP4.5 ou 2050 RCP8.5 ou 2025	
Electrification de la mobilité	D'après la SNBC	A établir
Electrification de la chaleur	D'après la SNBC	A établir

Les paramètres de consommation différenciant et définissant les scénarios (1/2)

- Le cadrage donné par la SNBC pour l'efficacité et la sobriété énergétiques est exposé dans le tableau ci-dessous
- Les paramètres détaillés correspondants feront l'objet de discussions spécifiques dans le cadre du groupe de travail sur la consommation

Paramètres de consommation	Hypothèse retenue dans les projets de la SNBC ou de la PPE
Efficacité énergétique	<ul style="list-style-type: none"> • 205 000 constructions neuves/an • 1 millions de rénovations en 2050 • Gains unitaires de conso. d'électricité spécifique de 15% à 60% d'ici 2050 (en fonction des appareils) • Gains d'efficacité énergétique de 20 à 40 % d'ici 2050 dans les filières industrielles
Sobriété / rationalisation des usages	<ul style="list-style-type: none"> • Baisse de 1°C dans l'ensemble des bâtiments • Changement important des modes de consommation sans perte de confort
Industrie	<ul style="list-style-type: none"> • Electrification de l'industrie passant de 38% en 2015 à 74% en 2050

Les paramètres de consommation différenciant et définissant les scénarios (2/2)

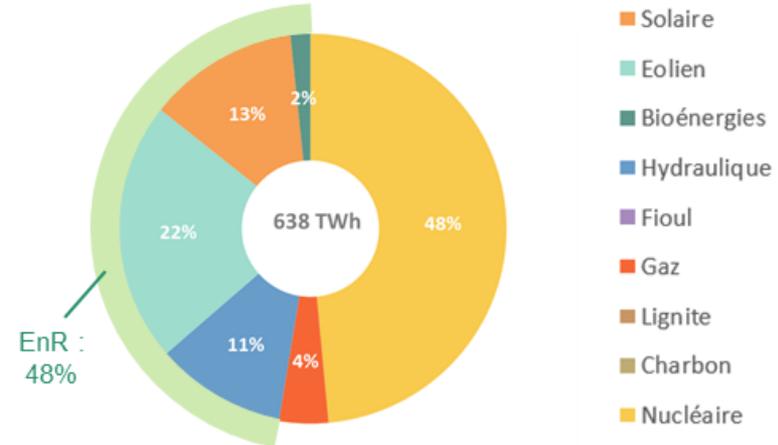
- Les autres paramètres définissant la consommation (cf. ci-dessous) sont discutés en séance

Paramètres de consommation	Hypothèse retenue dans les projets de la SNBC ou de la PPE	Proposition de fourchettes de valeurs												
Power-to-gas	50 TWh de consommation électrique	Entre 0 et 100 TWh ? Consommation supposée flexible												
Echanges aux interconnexions	Non précisée, supposément nuls	Entre 0 et 150 TWh d'exports ?												
Flexibilité de l'électromobilité	Objectif chiffré non précisé	Une fourchette fondée sur le rapport sur l'électromobilité <table border="1"> <thead> <tr> <th>Flexibilité</th> <th>Limitée</th> <th>Renforcée</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Scénario</td> <td><i>Forte</i></td> <td><i>Opera</i></td> </tr> <tr> <td>Recharge</td> <td>40% pilotée</td> <td>80% pilotée</td> </tr> <tr> <td>V2G</td> <td>0%</td> <td>20%</td> </tr> </tbody> </table>	Flexibilité	Limitée	Renforcée	Scénario	<i>Forte</i>	<i>Opera</i>	Recharge	40% pilotée	80% pilotée	V2G	0%	20%
Flexibilité	Limitée	Renforcée												
Scénario	<i>Forte</i>	<i>Opera</i>												
Recharge	40% pilotée	80% pilotée												
V2G	0%	20%												
Flexibilité du reste des autres consommations	Objectif de la PPE : 6,5 GW en 2028 Non précisée dans la SNBC	Entre 3 et 10 GW d'effacement												

Les paramètres de production différenciant et définissant les scénarios

- Les scénarios 2050 peuvent aussi se distinguer en fonction du mix de production considéré. Celui-ci peut être défini par le niveau de production :
 - Nucléaire,
 - D'éolien terrestre,
 - D'éolien offshore,
 - D'électricité à base de biomasse ou de biogaz,
 - De *gas-to-power* (à partir de méthane *a priori* décarboné ou d'hydrogène),
 - A base de cogénération (basée sur de la biomasse, biogaz ou *gas-to-power*),
 - Des unités de production rejetant du CO2 équipées de système de captation et séquestration,
 - Et plus généralement, du mix de production électrique européen.
- D'autres technologies de production ?
 - Photovoltaïque,
 - Hydraulique,

Bilan électrique projeté à horizon 2035
(projections RTE sur la base du projet de PPE)



Les paramètres de production différenciant et définissant les scénarios (1/3)

Paramètres définissant les scénarios	Gisement identifié dans la PPE ou la SNBC	Objectif PPE 2028	Proposition de fourchette
Eolien terrestre	De 120 à 170 GW (fct. de la technologie)	Entre 34,1 et 35,6 GW	Entre 40 et 80 GW
Eolien en mer posé + flottant	<ul style="list-style-type: none"> Gisement technique : 90 + 155 GW Avec conciliation : 16 + 33 GW 	Entre 4,7 et 5,2 GW	De 10 GW à 50 GW
Photovoltaïque au sol	776 GW	Entre 20,6 et 25 GW	Entre 40 et 200 GW
Photovoltaïque sur toitures	350 GW	Entre 15 et 19,5 GW	Entre 20 et 80 GW
Hydraulique	Capacités additionnelles entre 3,8 et 4 GW	Entre 26,4 et 26,7 GW	Autour de 26 GW

Les paramètres de production différenciant et définissant les scénarios (2/3)

Paramètres définissant les scénarios	Gisement identifié dans la PPE ou la SNBC	Objectif PPE 2028	Proposition de fourchette									
Biomasse électrique	Non précisé	1,4 GW	De 1 GW à 5 GW en pointe & cogénération ?									
<i>Gas-to-power</i>	Hypothèses SNBC 2050	Estimation RTE sur la base du projet de PPE : 13 GW de capacités installées restantes	De 0 à 25 GW Technologies à préciser : TAC, CCG ou piles à combustible ?									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>TWh</th> <th>H₂</th> <th>CH₄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energie gaz</td> <td>20</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Prod. élec.</td> <td>12</td> <td>15</td> </tr> </tbody> </table>			TWh	H ₂	CH ₄	Energie gaz	20	25	Prod. élec.	12	15
	TWh			H ₂	CH ₄							
Energie gaz	20	25										
Prod. élec.	12	15										
Captation et séquestration de gaz carbonique	Hypothèse SNBC : 10 MtCO ₂ captées sur des centrales biomasse = émissions négatives	Non précisé	Entre 0 et 10 MtCO ₂ ? Association à de la production biomasse ?									

Les paramètres de production différenciant et définissant les scénarios (3/3)

Paramètres définissant les scénarios	Gisement identifié dans la PPE ou la SNBC	Objectif PPE 2028	Proposition de fourchette
Nucléaire	-	Dans le projet de PPE : 50% en 2035 avec la fermeture de 16 réacteurs (dont ceux de Fessenheim)	Entre 0 et 50% de la production électrique
Stockage	Non précisé	+ 1,5 GW de STEP entre 2030 et 2035 Batteries sans objectif chiffré	<ul style="list-style-type: none"> • STEP: de 0 à +1,5 GW • Batteries : fonction des analyses sur l'intérêt de l'autoconsommation



Premières discussions de scénarios de long terme

Des scénarios d'emblée incompatibles avec les enjeux de l'atteinte de la neutralité carbone



- Certaines combinaisons de paramètres (production et consommation) peuvent conduire à des scénarios incohérents. Ils peuvent être :
 - incompatibles avec les enjeux de l'atteinte de la neutralité carbone, notamment d'un point de vue :



- technique,



- environnemental



- ou en termes d'acceptabilité sociétale



- ou peu probables d'un point de vue économique

Paramètres décrivant un scénario

Consommation

Efficacité énergétique

Sobriété

Power-to-gas

Flexibilité

Echanges

Consommation électrique en Europe

Production

Nucléaire

Eolien terrestre

Eolien en mer

Photovoltaïque

Captation de carbone

Hydraulique

Gas-to-power

Biomasse électrique

Mix européen

Deux familles de scénarios seront considérées dans l'étude

- L'approche retenue consiste à étudier de façon détaillée des scénarios contrastés, notamment s'agissant du mix de production et de flexibilité
- A cet effet, deux familles de scénarios seront considérées et séparées d'emblée par hypothèse :

① Scénarios avec l'option nouveau nucléaire ouverte

② Scénarios avec l'option nouveau nucléaire fermée

Paramètres décrivant un scénario

Consommation	Efficacité énergétique
	Sobriété
	<i>Power-to-gas</i>
	Flexibilité
	Echanges
	Consommation électrique en Europe
Production	Nucléaire
	Eolien terrestre
	Eolien en mer
	Photovoltaïque
	Captation de carbone
	Hydraulique
	<i>Gas-to-power</i>
	Biomasse électrique
	Mix européen

The logo for Rte, consisting of the letters 'Rte' in white, centered within a solid blue circle.

Rte

Calendrier des groupes de travail

Le calendrier des premiers groupes de travail thématiques

GT base climatique
A partir de juin 2019

**GT modélisation
production**
2nd semestre 2019

GT consommation
Depuis mars 2019

GT multi-énergies
2nd semestre 2019

**GT hydrogène
et P2X**
2nd semestre 2019

GT flexibilités
2nd semestre 2019

GT stabilité
1^{er} semestre 2020

**GT acceptabilité
sociale**
2nd semestre 2019

**Atelier technique
scénarios TYNDP**
2nd semestre 2019

GT scénarisation
A partir de juillet 2019

...