

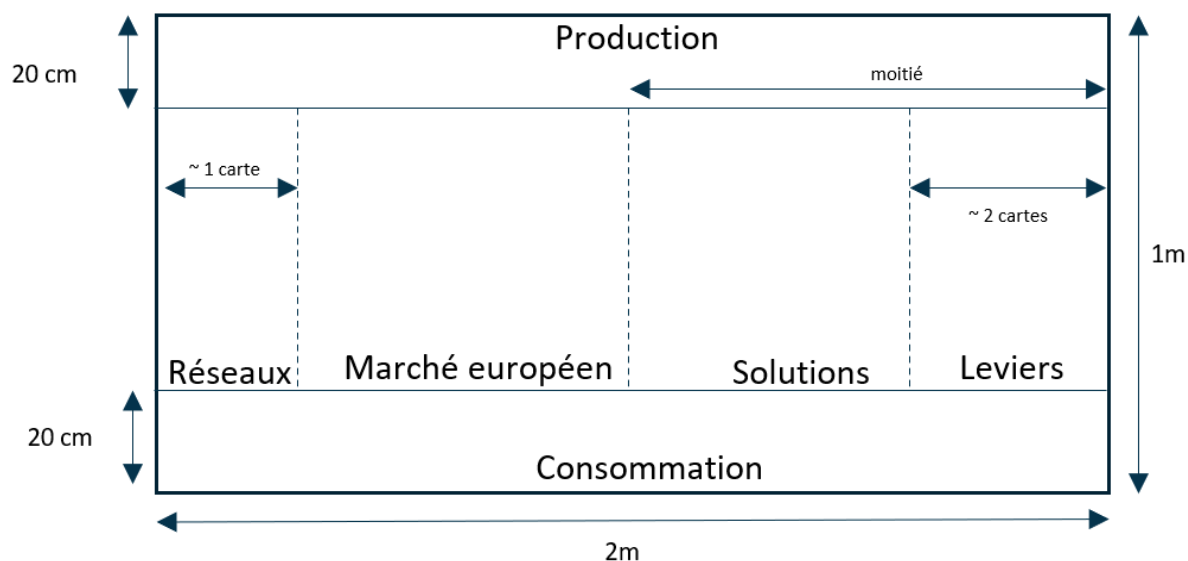
Guide d'animation de la Fresque de l'Électricité

Table des matières

Préparation du support	2
Points d'attention sur l'animation	2
Introduction (15 min)	2
Lot 1 - Réseaux – Aspects pratiques (35 min).....	3
Lot 1 - Réseaux – Messages clefs.....	3
Lot 2 – Production – Aspects pratiques (35 min)	4
Lot 2 – Production – Messages clefs	6
Lot 3 – Marché européen – Aspects pratiques (30 min)	7
Lot 3 – Marché européen – Messages clefs	7
Lot 4 - Consommation – Aspects pratiques (15 min)	9
Lot 4 - Consommation – Messages clefs.....	10
Lot 5 – Leviers et solutions - Aspects pratiques (35 min)	11
Lot 5 – Leviers et solutions – Messages clefs.....	11
Fin de la Fresque (15 min)	11
ANNEXE : Détails des éléments abordés dans le lot 5	13
A. Les leviers.....	13
B. Les solutions électriques.....	14



Préparation du support



Points d'attention sur l'animation

- **L'animation doit être bienveillante**, c'est-à-dire que la personne en charge de l'animation doit veiller à préserver un **juste équilibre entre les interventions de chaque personne au sein du groupe**, d'un côté pour contenir celles qui monopoliseraient trop la parole, et de l'autre côté pour interpeller directement des personnes qui parlent peu. L'objectif est bien que les concepts clés soient compris par tout le monde. Astuce : sur certains concepts ne pas hésiter à dire « est-ce que ce concept est clair pour tout le monde ? » et si le retour est un « oui » timide ou uniquement de quelques personnes, alors rebondir en disant « est-ce que quelqu'un pourrait l'expliquer aux autres ? ».
- La personne en charge de l'animation souhaite partager un maximum d'infos car il/elle est passionné·e, mais **il faut être capable de jauger le niveau du groupe et parfois de se contenir**, à la fois pour respecter le temps imparti mais surtout pour éviter de trop noyer les personnes sous des tonnes d'informations qui dilueraient les messages clés.
- Les durées de chaque phase sont indiquées à titre indicatif, avec notamment pour objectif de garder suffisamment de temps pour le lot 5. Astuce : ne pas hésiter à lancer un chrono au début de chaque phase.

Introduction (15 min)

Présentation de l'animateur·trice

Présentation de la Fresque de l'Électricité :

« La Fresque de l'Électricité a été créée par l'Union Française de l'Électricité en 2022, dans le contexte des débats de l'élection présidentielle d'où il est ressorti une nécessité de partager plus largement les éléments factuels relatifs au fonctionnement du système électrique et au rôle que joue l'électricité dans la lutte contre le changement climatique ».

Demander aux participant·es qui a déjà fait une Fresque du Climat ou d'autres fresque. Cela permet de jauger le volume d'explications à donner pour manipuler les cartes mais aussi et surtout d'estimer s'il y aura un besoin élevé ou non de cadrer les échanges (partage du temps de parole, écoute...).

Indiquer ensuite, qu'à l'image d'une Fresque du Climat, l'objectif va être de positionner progressivement plusieurs cartes sur la table en les reliant entre elles. Les cartes sont distribuées par lot avec à chaque fois l'objectif qu'elles soient partagées, c'est-à-dire que chaque personne est invitée à lire à haute voix ce qui est indiqué sur sa carte et à partager ce qu'elle en comprend ou ce qu'elle ne comprend pas.

Puis enfin, rapide présentation de chaque participant/participante et de leurs attentes.

Lot 1 - Réseaux – Aspects pratiques (35 min)

Distribution des cartes (Production, Transport, Distribution¹, Consommation) puis lecture recto/verso par les participants.

Placer les cartes du lot sur la partie gauche de la feuille et tracer des flèches selon le sens de circulation de l'électricité et expliciter les liens sur les flèches

L'objectif est que les participants « oublient » de tracer certains traits : production vers distribution (éolien terrestre, photovoltaïque, petite hydroélectricité), transport vers consommation (industriels électro-intensifs), production vers consommation directement (ou un cercle sur consommation) pour illustrer l'autoconsommation². Pour être totalement exhaustif on peut également ajouter distribution vers transport (remontées de flux en cas de surplus de production ENR³) et transport vers production (besoin lors d'opérations de maintenance dans les centrales nucléaires par exemples).

Nb : la vision proposée ici correspond au système électrique continental, les DOM TOM ou certaines îles bretonnes ne sont pas raccordées au réseau de transport⁴.

Lot 1 - Réseaux – Messages clefs

- **Le système électrique est d'abord une infrastructure physique : centrales de production, réseau de transport (RTE) composé de lignes à haute tension⁵ (63 000 et 90 000 volts) et à très haute tension (225 000 et 400 000 volts), réseau de distribution (Enedis à 95% et les ELDs) composé de lignes à moyenne tension (20 000 volts) et à basse tension (230 volts et 400 volts).**
- **Historiquement, il a d'abord été très centralisé** (grosses centrales de production hydrauliques, thermiques et nucléaires à l'exception du petit hydraulique directement raccordé au réseau de distribution) **et unidirectionnel** des centrales de production vers le consommateur.
- **A l'avenir le système sera amené à être de plus en plus :**

¹ Les réseaux de transport et de distribution sont des monopoles naturels dans le sens où ils ne peuvent être répliqués à un coût raisonnable, du fait d'économies d'échelles extrêmement importantes. En d'autres termes, il est plus efficace d'avoir un seul réseau partagé par tous plutôt qu'une juxtaposition de nombreux réseaux individuels. Ces monopoles publics sont régulés par la Commission de Régulation de l'Énergie de façon à assurer leur juste rémunération et neutralité vis-à-vis des autres acteurs du système électrique. Les réseaux publics de distribution sont les propriétés des communes, tandis que le réseau de transport est la propriété de RTE.

² Autoconsommation : consommation sur un périmètre donné de l'électricité produite sur ce même périmètre.

³ Le refoulement du réseau public de distribution vers le réseau de transport est en hausse : 29 TWh en 2023 contre 13 TWh en 2018 (Source délibération CRE TURPE 7).

⁴ Attention à l'amalgame avec les ZNI (Zones Non Interconnectées) car la Corse en fait partie or elle est reliée au réseau de transport italien.

⁵ L'utilisation de la haute et très haute tension permet de limiter les pertes en ligne dues à l'effet Joule (dégagement de chaleur)

- **Décentralisé** : éolien terrestre et solaire PV raccordés au réseau de distribution ce qui nécessite des investissements réseau massifs
- **Bidirectionnel** : autoconsommation, véhicules électriques réinjectant l'électricité de leurs batteries sur le réseau de distribution...
- **L'électricité se stockant mal, il est nécessaire que le système électrique soit équilibré en permanence** (c'est-à-dire que la consommation soit égale à la production). C'est le gestionnaire du réseau de transport RTE qui garantit cet équilibrage physique en temps réel et s'assure de l'adéquation à long terme (bilans prévisionnels).

À la fin de l'exercice, donner la carte « sécurité d'approvisionnement » qui permet d'illustrer le message clé précédent. Cette carte est à relier à la carte « Transport » (RTE est en charge de la sécurité d'approvisionnement).

Résumé lot 1 :

- **Le système électrique est d'abord une infrastructure physique.** Historiquement très centralisé et unidirectionnel, il est amené à être plus décentralisé et bidirectionnel.
- **L'électricité se stockant mal, le système électrique doit être équilibré** (c'est-à-dire que la consommation est égale à la production) **en permanence.**

Lot 2 – Production – Aspects pratiques (35 min)

Demander aux participants de nommer des moyens de production et distribuer les cartes correspondantes (sans lire le verso). Distribuer les cartes restantes qui n'auraient pas été nommées.

Si manque de temps : distribuer les cartes face recto, et demander que les participants ne les retournent pas.

Lancer un chrono de 1 ou 2 minutes et demander à placer les cartes du lot sur la partie « production » de la feuille :

- D'abord dans l'ordre du **mix de production mondial** (cf. aide-mémoire ci-dessous, colonne énergie produite. La colonne puissance installée ne sert que si un participant aborde le sujet de la différence entre puissance et énergie, et donc permet d'évoquer si besoin la notion de facteur de charge, voir « **Pour aller plus loin** »)
- Puis dans l'ordre du **mix de production français** (cet ordre restera sur la table jusqu'à la fin pour être cohérent avec le périmètre des cartes des autres lots).

Erreur quasiment systématique : la carte "fioul" est souvent placée trop haute dans les classements, pourtant le fioul n'est que peu utilisé pour produire de l'électricité car les dérivés du pétrole sont fléchés pour d'autres usages comme la mobilité (vraisemblablement pour des raisons économiques).

Aide-mémoire pour 2022 & 2023 & 2024 :

		MONDE 2022		MONDE 2023		MONDE 2024	
		Electricité produite	Puissance installée (en GW)	Electricité produite	Puissance installée (en GW)	Electricité produite	Puissance installée (en GW)
Charbon	1	36 %	2 107	35 %	2 156	34 %	2 175
Gaz naturel	2	23 %	1 964	23 %	2 010	22 %	2 056
Hydraulique	3	15 %	1 257	14 %	1 268	14 %	1 283
Nucléaire	4	9 %	396	9 %	396	9 %	399
Éolien	5	7 %	903	8 %	1 020	8 %	1 133
Solaire	6	5 %	1 061	5 %	1 414	7 %	1 865
Fioul	8	3 %	326	2 %	318	3 %	318
Autres	7	2 %	123	4 %	125	2 %	129

		France 2022		France 2023		France 2024	
		Electricité produite	Puissance installée (en GW)	Electricité produite	Puissance installée (en GW)	Electricité produite	Puissance installée (en GW)
Nucléaire	1	63 %	61,4	65 %	61,4	67,1%	61,4
Hydraulique	2	11 %	25,9	12 %	25,7	13,9%	25,7
Éolien	3	9 %	21,2	10 %	22,6	8,7%	22,9
Solaire	4	4 %	15,7	4 %	19,0	4,6%	24,3
Gaz	5	10 %	12,8	6 %	12,6	3,2%	12,6
Autres	6	2 %	2,3	2 %	2,2	2%	2,3
Fioul	7	<1 %	3,1	<0,2 %	3,0	0,3%	3,0
Charbon	8	<1 %	1,8	<0,5 %	1,8	0,1%	1,8

Sources : Monde énergie : Energy institute, Monde puissance : Ember / France 2022 & 2023 : Bilans électriques de RTE

Actu : En 2024 le PV est passé devant le gaz en France (RTE, données provisoires janvier 2025)

Pour aller plus loin : En France, les **facteurs de charges** moyens annuels sont de 23 % pour l'éolien, de 13 % pour le photovoltaïque, 25 % pour l'hydraulique, 62 % pour le nucléaire, 34 % pour le gaz, 13 % pour le charbon et 7 % pour le fioul⁶. Le facteur de charge correspond au ratio entre l'énergie réellement produite sur une période donnée et l'énergie maximale qui aurait été produite si l'installation avait fonctionné à 100 % du temps à pleine puissance. On distingue des facteurs de charges « techniques » des facteurs de charge « économiques » : les premiers reflètent le caractère variable d'un moyen de production, les deuxièmes reflètent l'optimisation du fonctionnement d'une installation pilotable du point de vue économique.

Nb : Une éolienne tourne entre 80 et 95 % du temps, mais pas à pleine puissance, d'où un facteur de charge inférieur⁷. Ce sont deux notions à bien distinguer.

⁶ Moyennes des facteurs de charge annuels entre 2019 et 2022 (RTE)

⁷ https://www.libération.fr/checknews/est-il-vrai-que-les-eoliennes-fonctionnent-seulement-25-du-temps-comme-laffirme-stephane-bern-20210602_40TLBNG25FBCPBUN3GJIHFIAXI/

En s'aidant maintenant de la lecture du dos des cartes quels sont les points communs et différences entre les différents moyens de production ?

Les principaux sont listés ci-dessous (si vous êtes pris par le temps durant l'animation seuls les deux premiers points peuvent être abordés) :

- **Bas-carbone** (nucléaire et renouvelables) **VS fossiles** => on ne dit pas « décarboné » mais « bas-carbone » car analyse de cycle de vie
- **Pilotable** (nucléaire, thermique et hydraulique avec réservoir) **VS variables** => Certaines sources de production d'électricité sont dites "variables", c'est-à-dire que leur production instantanée et leur durée de fonctionnement sont conditionnées au niveau de vent ou d'ensoleillement. Note : utiliser le mot « variable » plutôt qu'« intermittent » car l'intermittence renvoie à un état binaire de production (tout ou rien, comme un interrupteur sur lequel on appuierait pour éclairer une pièce), éloigné de la réalité physique de l'éolien et du photovoltaïque (production qui croît ou décroît de façon progressive, sans forcément atteindre zéro ou sa pleine puissance) et qui omet les progrès constants en termes de prévision de la production via l'analyse des données météo.
- **Stock⁸** (uranium, pétrole, gaz, charbon, STEP) **VS flux** (EnR) => permet de rappeler la définition d'une énergie renouvelable⁹
- **Centralisés**, c'est-à-dire raccordés au réseau de transport (nucléaire, fossiles et certaines ENR (hydraulique et éolien en mer) **VS décentralisés**, c'est-à-dire raccordés au réseau de distribution (solaire, éolien terrestre et petite hydro)
- Moyens à **forte intensité capitalistique ou CAPEX** (nucléaire, EnRs) vs moyens à **forts coûts variables ou OPEX** (moyens de production thermiques fossiles avec leurs coûts de combustible)

Présenter l'application Electricity Maps pour illustrer les différents mix de production d'électricité : [Émissions CO₂ de la consommation électrique en temps réel | App | Electricity Maps](#)

Lot 2 – Production – Messages clefs

- **Les mix électriques varient fortement d'un pays à l'autre** : à ce titre, la France fait figure d'exception avec une très forte part de nucléaire. Dans une moindre mesure, en Suède la part du nucléaire était de 43 % en 2021, le reste étant des énergies renouvelables. D'autres pays ont quant à eux une forte production d'électricité d'origine renouvelable Norvège (92% hydro, 6% éolien). De l'autre côté du spectre, la Pologne produit plus de 80% de son électricité à partir de fossile dont 70% de charbon.
- **Cette diversité de mix de production s'explique historiquement par des logiques de dotation en ressources naturelles et géopolitiques ainsi que de souveraineté** : ainsi en 1973, la France est touchée de plein fouet par la crise pétrolière. Elle ne dispose pas de beaucoup de ressources naturelles en charbon (comme en Allemagne) ou en gaz (comme les Pays-Bas) et fait le choix en 1974 avec le plan Messmer de se tourner vers le nucléaire civil ("en France, on n'a pas de pétrole, mais on a des idées »)

⁸ Énergie de stock : toute substance à même de produire à la demande une forme d'énergie, sans dépendances aux conditions météorologiques.

⁹ **Les énergies renouvelables** sont des énergies provenant de sources naturelles qui se renouvellent à un rythme supérieur à celui de leur consommation (Source : Nations Unies).

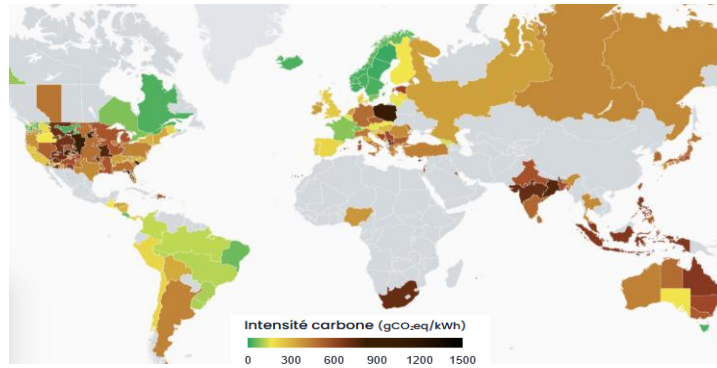


Figure 1 : Comparaison des mix électriques mondiaux en 2022 (Source : Electricity Map)

Poser la carte « Mix électrique » qui synthétise ce propos (sous les différentes cartes des moyens de production)

- Les moyens de productions ont des caractéristiques différentes dont les principales sont :
 - Bas-carbone VS fossiles
 - Pilotable VS variables

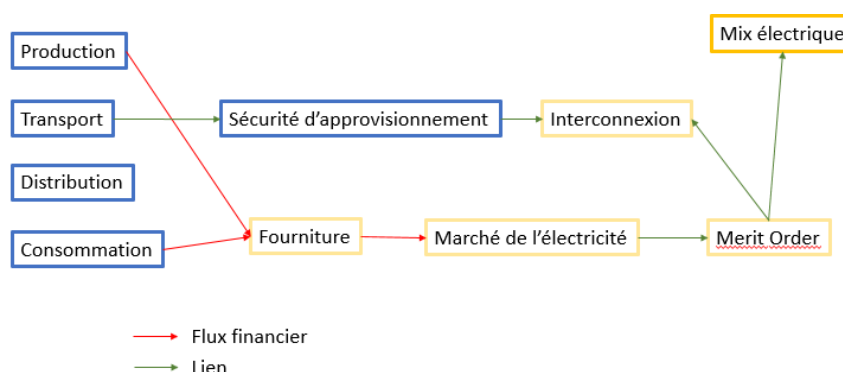
Résumé lot 2 :

- Les mix électriques varient d'un pays à l'autre et sont le fruit de logiques de dotation en ressources naturelles, géopolitiques et de souveraineté. Celui de la France est à plus de 90% bas-carbone.
- Les moyens de production ont des caractéristiques différentes dont notamment :
 - Bas-carbone vs carbonées
 - Pilotable vs variable

Lot 3 – Marché européen – Aspects pratiques (30 min)

Distribuer les 4 cartes fournisseur, marché, merit order, interconnexions. Les placer dans l'emplacement « marché » de la feuille.

L'objectif de cette partie est plus de faire comprendre les rôles des fournisseurs et le fonctionnement du marché européen que de tracer les traits entre les cartes. Néanmoins voici une proposition de positionnement :



Lot 3 – Marché européen – Messages clefs

- Carte fournisseur : l'électricité a aussi une **dimension économique** et son échange repose sur l'**organisation d'un marché**. Depuis la fin des années 90, dans une logique de création d'un marché commun du secteur de l'électricité, **l'Europe a favorisé**

l'ouverture à la concurrence (fin du monopole d'EDF et émergence du nouveau rôle de fournisseur) et **l'intégration des différents marchés nationaux en harmonisant leur régulation** (création d'instances nationales type CRE et européennes type ACER, ENTSOE et d'une réglementation commune).

Le but d'un fournisseur est de couvrir la consommation de ses clients au meilleur prix : le fournisseur fait face à plusieurs inconnues¹⁰ : évolution de son portefeuille, de leur consommation en fonction de la température, volatilité des prix. Ainsi, pour leur stratégie de couverture :

- Les fournisseurs couvrent ainsi l'essentiel de leurs livraisons avec des produits à terme en se prémunissant d'une éventuelle envolée des prix de l'électricité.

Proche de la livraison, ils disposent d'une meilleure visibilité sur la consommation de leurs clients, et acquièrent des produits spot afin d'équilibrer leur portefeuille

- Carte marché :

Le marché européen de l'électricité recouvre plusieurs maturités :

- Les marchés long terme ou à terme (où s'échangent des produits hebdomadaires, mensuels, trimestriels, annuels, jusqu'à maximum 3 ans)
- Les marchés court terme ou spot (où s'échangent les produits J-1 jusqu'à H-1)

Les échanges peuvent se faire :

- sur des bourses : Epex Spot France (produits spot), EEX (produits à terme)
- de gré à gré intermédié (via un courtier) ou directement (bilatéral pur)

- Carte merit order : sur le marché spot de l'électricité, le prix est fixé selon le principe du **merit order** : les unités de production électrique sont classées, pour chaque heure, dans **l'ordre croissant de leur coût marginal variable** (faire le lien entre l'interclassement des moyens et la distinction CAPEX/OPEX du lot précédent). Les unités de production les moins chères sont retenues jusqu'à ce que la demande agrégée soit épuisée. **Les transactions sont alors réglées au prix de la dernière unité de production sélectionnée** : cette fixation de prix est appelée **tarification marginale** (ou "pay-as-cleared"). Les prix auxquels sont échangés les produits long terme résultent d'une anticipation des prix spot pour l'échéance considérée.

- Carte interconnexions : les interconnexions ont à la fois une dimension physique et une dimension économique :
 - Pour bâtir concrètement cette Europe de l'électricité et aboutir à une convergence des prix¹¹, **les interconnexions sont développées afin de mutualiser ces offres de vente et d'achat d'électricité entre les pays**. Les producteurs d'électricité français bénéficient de ce marché intégré, la France étant le premier pays exportateur européen d'électricité.
 - Les interconnexions permettent aussi **d'optimiser la gestion de l'équilibre offre-demande** pour chaque pays en mutualisant la production au niveau européen.

Résumé lot 3 :

¹⁰ Pour les aider, les fournisseurs disposent d'abaques fournies par les GRD comprenant des courbes de consommation types par catégories de ménages. Ils peuvent affiner leur prévision grâce au traitement des données remontées par les compteurs communicants à un pas de temps fin (environ 15 à 30 min), sous réserve de l'accord du consommateur.

¹¹ Les prix de deux zones de marchés adjacentes sont identiques tant que les interconnexions entre celles-ci ne sont pas saturées.

- L'électricité a une dimension économique et repose sur l'organisation d'un marché intégré au niveau européen. Les interconnexions ont ainsi une dimension physique (mutualiser les capacités pour optimiser la gestion de l'équilibre offre-demande) et financière (aboutir à une convergence des prix afin de mutualiser les offres de vente et d'achat d'électricité entre les pays).
- Pour couvrir la consommation de leur portefeuille de clients, les fournisseurs ont accès sur ce marché à plusieurs maturités (de plusieurs années à l'avance jusqu'à 1 heure avant la livraison de l'électricité).

Lot 4 - Consommation – Aspects pratiques (15 min)

Pour favoriser l'interactivité, l'animation du lot est structurée autour d'un petit quiz.

L'animateur pose la question 1 et distribue ensuite la carte « part de l'électricité dans le mix énergétique », à poser à côté de la carte « consommation du lot 1 » en bas de la Fresque.

- 1) **Quelle est la part de l'électricité dans l'énergie consommée en France ?** Même si elle occupe une large place dans le débat public français (qui se résume malheureusement souvent à une opposition nucléaire-renouvelable, l'électricité ne représente actuellement qu'1/4 de la consommation d'énergie finale en France comme dans le monde (à comparer avec près de 40% pour le pétrole et 20% pour le gaz).

L'animateur pose les questions 2 et 3.

- 2) **En regardant la carte « part de l'électricité dans le mix énergétique », quelle est la première énergie consommée en France et pourquoi ?** Le pétrole en raison de sa haute densité énergétique, de sa polyvalence d'utilisation dans de nombreux secteurs (transport, industrie, chauffage, etc.) et de sa disponibilité relativement abondante sur les marchés mondiaux. Plus largement, si l'on prend en compte également les différentes sources d'énergies pour produire l'électricité, les énergies fossiles dominent largement le mix énergétique primaire mondial en 2022 à hauteur de 82 %¹².
- 3) **Quel est le problème posé par la prédominance des énergies fossiles ?** Elles contribuent au changement climatique, créent une dépendance économique et géopolitique, détruisent les écosystèmes, la biodiversité et, enfin, leur exploitation aura une fin car les réserves vont finir par s'épuiser.
- 4) **On imagine que vous connaissez l'accord de Paris, pourriez-vous en résumer la teneur ? De quand date-il, quel est l'objectif poursuivi, pour quand, par rapport à quand et où en est-on aujourd'hui ?**
 - Pour respecter les Accords de Paris, les signataires se sont engagés lors la COP21 à limiter le réchauffement à 2°C, voire 1,5°C, d'ici 2100 par rapport à l'ère préindustrielle (période 1850-1900), il faut **atteindre la neutralité carbone à horizon 2050** aux niveaux français et européen, **c'est-à-dire que les émissions résiduelles de chaque secteur soient compensées par les puits de carbone (forêts, prairies...).**
 - Aujourd'hui, les engagements climatiques pris par les pays du monde entier placent la planète sur une trajectoire de réchauffement allant de 2,5 à 2,9 °C au cours de ce siècle, a évalué le Programme de l'ONU pour

¹² 32 % pétrole, 27 % charbon, 23 % gaz, hydraulique 7 %, autres renouvelables 7 %, nucléaire 4 %. Source : Energy Institute

l'environnement (PNUE) dans son rapport annuel avant la COP 28 à Dubaï, si les engagements actuels des Etats sont tenus.

L'animateur distribue la carte Accords de Paris, à placer en bas à droite (pas forcément besoin de lire si besoin de gagner du temps).

- **Si la consommation d'électricité française est largement bas-carbone, ce n'est pas le cas de la consommation d'énergie des différents secteurs** (transport, industrie, résidentiel et tertiaire et agriculture). Ainsi, dans l'objectif de limiter le changement climatique, la question centrale dans le débat public ne devrait pas être nucléaire vs renouvelable mais énergies bas-carbone vs énergies carbonées

Distribution des 4 cartes sectorielles et demander aux participants de les classer dans l'ordre du secteur qui consomme le plus d'électricité à celui qui en consomme le moins (en effet les graphiques ne donnent qu'une vision relative, en pourcentages, pas une vision en valeur absolue).

Consommation d'électricité finale en France - Données France 2023¹³:

1/ Bâtiment	2/ Industrie	3/ Transport	4/ Agriculture	TOTAL
290 TWh (70 %)	104 TWh (25 %)	11 TWh (3 %)	8 TWh (2 %)	413 TWh

Si besoin de mettre en perspective : production d'électricité en 2023 = 495 TWh¹⁴.

Lot 4 - Consommation – Messages clefs

Si la consommation d'électricité française est largement bas-carbone, ce n'est pas le cas de la consommation d'énergie des différents secteurs (transport, industrie, résidentiel et tertiaire et agriculture). Ainsi, dans l'objectif de limiter le changement climatique, la question centrale dans le débat public ne devrait pas être nucléaire vs renouvelable mais énergies bas-carbone vs énergies carbonées

Résumé lot 4 :

- **Si la consommation d'électricité est largement bas-carbone en France, ce n'est pas le cas de la consommation énergétique française et mondiale qui repose encore à près de 58% sur des sources fossiles.** Ces dernières, très présentes dans la consommation énergétique des secteurs des transports, de l'industrie et du bâtiment sont à l'origine du dérèglement climatique et de l'effondrement de la biodiversité et posent des problèmes de souveraineté énergétique.
- **Dès lors, pour tendre vers les objectifs de l'accord de Paris d'une limitation de la température à 2°C d'ici 2100, la question centrale dans le débat public ne devrait pas être nucléaire vs renouvelable mais comment réduire drastiquement et au plus vite la consommation d'énergie fossile.**

⇒ **Transition lot 5 : quels sont les leviers pour réduire cette part du fossile ?**

¹³ SDES, données corrigées des variations climatiques

¹⁴ RTE. L'écart avec la consommation s'explique par les exportations et les pertes réseaux.

Lot 5 – Leviers et solutions - Aspects pratiques (35 min)

Distribuer et lire recto/verso uniquement les 3 cartes « sobriété », « efficacité énergétique » et « énergies bas-carbone »¹⁵.

Les placer dans l'emplacement « leviers » à droite de la feuille, avec de bas en haut : sobriété, efficacité énergétique puis bas-carbone, ce qui permet d'insister sur la priorisation des leviers.

Demander aux participants de définir la sobriété et l'efficacité énergétique et d'en donner des exemples par secteur (transports, bâtiment...) et en distinguant les actions individuelles des actions collectives. Ecrire ces exemples dans l'emplacement laissé à droite des cartes dans l'emplacement « leviers ».

Puis, distribuer et lire recto/verso uniquement la carte « Electrification des usages » qui est LE grand message, la carte principale de la Fresque.

Finir par distribuer et lire recto/verso les 5 cartes avec les solutions (chaleur industrielle, transport de personnes, transport de marchandises, hydrogène, pompes à chaleur), et les relier entre « sobriété », « efficacité énergétique » et « énergies bas-carbone » d'un côté et entre les 4 secteurs de l'autre (bâtiment, agriculture, transport et industrie).

L'objectif est que les participants « oublient » de relier les cartes « pompes à chaleur » et « hydrogène décarboné » au secteur de l'agriculture (pourtant utiles pour décarboner respectivement le chauffage des serres et la production d'engrais).

⇒ Se référer à l'annexe spécifique au lot 5 pour plus de détails sur l'ensemble de ces points.

Lot 5 – Leviers et solutions – Messages clefs

Résumé lot 5 :

- Atteindre l'objectif de l'Accord de Paris nécessite prioritairement de réduire notre consommation d'énergies fossiles grâce la sobriété et à l'efficacité énergétique.
- Dans le même temps, il faut développer toutes les énergies bas-carbone pour produire suffisamment d'énergie afin d'assurer le fonctionnement de notre société.
- L'électricité a un rôle clé à jouer : l'électricité représentera la moitié de l'énergie consommée en 2050, contre un quart aujourd'hui.
- Il existe d'ores et déjà de nombreuses solutions électriques qui permettent de décarboner l'ensemble des secteurs : il est nécessaire d'accélérer leur déploiement.

Fin de la Fresque (15 min)

- a) Synthèse de la fresque
 - S'il reste suffisamment de temps : 5 personnes pour résumer chacune un lot

¹⁵ Les 4 énergies représentées sont : l'électricité (l'éclair), la biomasse, le solaire thermique et enfin les réseaux de chaleur (un vecteur d'énergie plutôt qu'une source d'énergie, mais nous choisissons volontairement de le mettre en avant ici). Voir en annexe pour la définition du réseau de chaleur.

- Si manque de temps : synthèse globale par l'animateur/animatrice, en reprenant les résumés des lots à chaque fois
- b) Ouverture sur différents enjeux :
- « Reboucler » lot 5 & lot 2 : Dans les prochaines années, électrifier les usages nécessitera de produire plus d'électricité. Il faut donc faire en sorte d'accroître la production tout en gardant un mix bas-carbone. Quels moyens de production installer ? quels impacts sur le marché ?
 - Autres enjeux qui n'ont pas été abordé dans la fresque faute de temps : disponibilité des ressources, recyclage, empreinte au sol et acceptabilité des projets, biodiversité, adaptation du système électrique au changement climatique...
- c) Pour aller plus loin sur le climat : les travaux du GIEC et la Fresque du climat
- d) Pour aller plus loin sur l'électricité : fiches OIE, rapports RTE, Ademe, CRE...
- e) **Une chose apprise aujourd'hui, un étonnement, un commentaire que vous souhaitez partager ?**

ANNEXE : Détails des éléments abordés dans le lot 5

A. Les leviers

Définition de la sobriété : « **La sobriété désigne toutes les mesures et pratiques du quotidien qui permettent d'éviter l'utilisation d'énergie, de matériaux, de terres et d'eau tout en garantissant le bien-être de tous dans le cadre des limites planétaires** » (GIEC)

Définition de l'efficacité énergétique : « **L'efficacité correspond [...] à la diminution de consommations énergétiques d'un dispositif technique pour un service rendu équivalent. Si l'efficacité s'avère complémentaire à la sobriété, cette dernière vise, au-delà de la seule amélioration de l'efficacité des matériels, à interroger plus fondamentalement les modes de production et de consommation.** » (RTE)

Bien que réel, l'impact de l'efficacité énergétique sur la baisse de la consommation d'énergie est cependant atténué par « l'effet rebond ». Ce dernier met en exergue la situation paradoxale selon laquelle l'innovation, qui permet de consommer un bien ou un service en utilisant moins d'énergie, conduit *in fine* à une augmentation de la consommation de ce bien ou service. Il est qualifié de direct lorsque les gains d'efficacité provoquent une réduction du prix de la ressource (électricité, essence etc.) et par conséquent une hausse de sa demande, ou d'indirect lorsque les mêmes gains d'efficacité engendrent un gain monétaire dépensé sur des biens ou services à plus fort impact énergétique et donc climatique. Ces effets rebonds peuvent être difficiles à identifier et à anticiper dans le cadre de la mise en œuvre de la planification écologique¹⁶.

Dit autrement : la sobriété, c'est réduire l'utilisation d'un service qui consomme de l'énergie, alors que l'efficacité, c'est réduire la consommation d'énergie du service. Les deux faces d'une même pièce.

Exemples de gestes de sobriété et d'efficacité dans les différents secteurs de l'économie

	Sobriété énergétique	Efficacité énergétique
Transport	Réduction des déplacements et choix des transports collectifs terrestres et de la mobilité douce.	Passage du moteur thermique au moteur électrique ¹¹ .
Bâtiment	Baisse de la température de consigne de chauffage et hausse de la température de consigne de climatisation.	Remplacement de systèmes de chauffage anciens (chaudières, convecteurs ...) par des pompes à chaleur ¹² .
Industrie	Extinction de l'éclairage à l'intérieur des usines lors des périodes de fermeture.	Déploiement de LED ou d'éclairage basse consommation.
Agriculture	Réduction du recours aux engrais azotés grâce à une rotation des cultures comprenant des légumineuses.	Remplacement des chaudières par des pompes à chaleur pour le chauffage des serres.

Figure 2 : Observatoire de l'Industrie Electrique, "Comprendre la sobriété énergétique et ses enjeux", mars 2024

¹⁶ OIE, « Comprendre la sobriété énergétique et ses enjeux », mars 2024

Exemple d'énergies bas-carbone autres que les sources de production d'électricité du lot 2 : le chauffage urbain¹⁷, les biocarburants¹⁸, la biomasse¹⁹ ...

De façon globale, le volet économique et la question du pouvoir d'achat ressortent très largement comme la préoccupation principale. L'enjeu de solutions adaptées aux situations de chacun, économiquement mais aussi territorialement, et perçues comme « justes », sont parmi les clés de l'électrification.

B. Les solutions électriques

Décarbonation des bâtiments et pompes à chaleur (PAC) :

La consommation d'énergies fossiles dans les bâtiments (gaz et fioul) est en grande partie liée au chauffage, et dans une moindre mesure à l'eau chaude sanitaire et à la cuisson. La stratégie de décarbonation de ce secteur repose sur 2 piliers principaux :

- **L'amélioration de la performance énergétique et climatique du bâti**, via des normes plus strictes pour la construction neuve et la rénovation des bâtiments anciens (ordre de grandeur : environ 80 % du parc immobilier de 2050 existe déjà, la priorité est donc la rénovation plus que la construction neuve).
- **Le remplacement progressif des installations de chauffage alimentées par des combustibles fossiles (gaz ou fioul) par des solutions bas-carbone électriques** et performantes, comme les PAC, et par un recours accru à la biomasse et aux réseaux de chaleur vertueux.

Au-delà de l'aspect purement climatique, les économies d'énergies permettent également de lutter contre la précarité énergétique. Stratégiquement il est donc primordial de commencer par rénover les logements les plus énergivores, émetteurs et qui concentrent les populations les plus précaires, à savoir les 4,8 millions de « passoires énergétiques » (logements des classes F et G).

Une pompe à chaleur fonctionne comme un frigo mais à l'envers. Plus concrètement, elle délivre 3 à 5 fois la quantité d'énergie qu'elle consomme pour fonctionner. Pour y parvenir, elle utilise l'aptitude physique de certains fluides à capter et restituer de la chaleur via des phases de compression et de détente permettant un changement d'état du fluide de gaz à liquide et réciproquement. Ce cycle thermodynamique en circuit fermé se répète à l'infini. La chaleur renouvelable est captée localement dans l'air, l'eau ou le sol.

Décarbonation de l'industrie (PAC et hydrogène) :

L'électricité joue un rôle dans la décarbonation de l'industrie de deux façons :

- **Une partie des procédés industriels peuvent être directement électrifiés** (utilisation de pompes à chaleur à haute température et de fours électriques). Néanmoins, pour d'autres procédés, comme pour la production d'acier, cela est plus difficile.

¹⁷ **Le chauffage urbain** consiste à produire de la chaleur centralisée dans des centrales de cogénération ou des installations de récupération de chaleur, puis à distribuer cette chaleur via un réseau de chauffage pour chauffer les bâtiments et fournir de l'eau chaude sanitaire

¹⁸ **Les Biocarburants** produits à partir de matières organiques renouvelables telles que les cultures énergétiques, les résidus agricoles ou les déchets organiques utilisés comme substituts des carburants fossiles dans les transports

¹⁹ **L'énergie biomasse** est produite à partir de la combustion ou de la fermentation de matières organiques renouvelables telles que le bois, les résidus agricoles ou les déchets organiques pour produire de la chaleur, de l'électricité ou des biocarburants.

- **Une autre solution envisageable pour la décarbonation de certains procédés repose sur le recours à l'hydrogène décarboné²⁰**, dont la production par électrolyse représente également un enjeu pour le système électrique dans les prochaines décennies.

De plus, grâce au mix électrique déjà largement bas-carbone, la France possède un avantage comparatif (économique et climatique) en matière de production d'électricité : les perspectives de réindustrialisation du pays permettraient de diminuer l'empreinte carbone de la France (et donc les émissions mondiales).

- **Les technologies de captage, stockage et valorisation du CO2 (CCUS-Carbon Capture, Use and Storage)** consistant à capter le CO2 dès sa source de production, à le stocker dans le sous-sol et/ou à le valoriser (production de carburants synthétiques, utilisation comme fertilisant dans l'agriculture ...) constitue également une piste pour réduire les émissions de CO2 de l'industrie. Mais elles doivent encore faire la preuve qu'elles peuvent être industrialisées à un coût acceptable.

Décarbonation de la mobilité (électrification et hydrogène) :

Le transport routier est responsable d'un tiers des émissions de gaz à effet de serre en France. Sa décarbonation implique d'abord des changements de comportement (vélo, report modal, etc.). En parallèle, de nombreuses études ont mis en évidence la pertinence d'énergies alternatives comme l'électricité, les bio-carburants, l'hydrogène et les e-carburants :

- **Electrification de la mobilité : le véhicule électrique est la technologie la plus mature pour décarboner le transport routier²¹** (véhicules légers, les véhicules utilitaires légers, autobus et poids-lourds) **que ce soit en matière d'émissions de gaz à effets de serre, de coûts, de pollution atmosphérique mais aussi de disponibilité de l'énergie.** Avec plus d'1,2 millions de véhicules électriques et hybrides rechargeables en circulation, la France est déjà en bonne voie pour répondre à ce défi mais une accélération est nécessaire. Les autres énergies présentent des résultats contrastés en fonction des usages.
- **Hydrogène et mobilité :**
 - **Concept clé : l'hydrogène décarboné est une ressource rare, qui nécessite beaucoup d'électricité pour être produite (55 kWh d'électricité pour produire 1 kg H2). L'hydrogène décarboné doit donc être utilisé en priorité dans les secteurs pour lesquels il n'existe pas d'alternative technico-économique, soit pour certains usages industriels et les transports lourds** (flottes de camions et de bus caractérisés par leur autonomie étendue, leur densité énergétique et leurs circuits réguliers réduisant le besoin en infrastructure).
 - La filière est en concurrence avec le bioGNV, un gaz naturel pour véhicules produit par méthanisation.

Décarbonation de l'agriculture :

- Les émissions liées à la consommation d'énergies fossiles (tracteurs, engins agricoles et chaudières au gaz pour chauffer les serres) représentent seulement 13 % de celles

²⁰ **L'hydrogène décarboné** regroupe l'hydrogène renouvelable et l'hydrogène bas-carbone (cf. livre VIII du code de l'énergie pour plus de précisions). Il est principalement produit par électrolyse, c'est-à-dire par la dissociation des atomes d'hydrogène et d'oxygène contenus dans la molécule d'eau, grâce à un courant électrique.

²¹ cf [Le véhicule électrique est la technologie la plus mature pour le transport routier de demain - Union Française de l'Electricité \(ufe-electricite.fr\)](https://www.uefelectricite.fr/)

du secteur. L'essentiel des émissions de GES de l'agriculture est constitué de méthane (élevage) et de protoxyde d'azote (engrais).

- Pour autant, l'électrification de l'agriculture *via* les « **pompes à chaleur** » et « **hydrogène décarboné** » restent utiles pour décarboner respectivement le chauffage des serres²² et la production d'engrais²³.

²² Aujourd'hui majoritairement effectué via des chaudières gaz. L'info en plus : récupérer le CO2 de ces chaudières et l'injecter dans la serre chauffée permet de réguler le taux de CO2 et de contrôler la croissance des plantes. Remplacer les chaudières gaz par des PAC implique donc de trouver un autre moyen de s'approvisionner en CO2 (via un site industriel à proximité par exemple).

²³ **Les engrais minéraux** sont constitués d'ammoniac de formule NH3 fabriqué à partir d'Hydrogène H2.