



Futurs énergétiques 2050

Bilan de la Phase I

Synthèse et enseignements
issus de la consultation publique

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Futurs énergétiques 2050

Bilan de la Phase I

Synthèse et enseignements
issus de la consultation publique

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

« Futurs énergétiques 2050 » : pourquoi, quand, comment ?

Dans le cadre de ses missions légales (Bilan prévisionnel) et en réponse à une saisine du Gouvernement, RTE a lancé en 2019 une large étude sur l'évolution du système électrique intitulée «Futurs énergétiques 2050».

Ce travail intervient à un moment clé du débat public sur l'énergie et le climat, au cours duquel se décident les stratégies nécessaires pour sortir des énergies fossiles, atteindre la neutralité carbone en 2050 et ainsi respecter l'objectif fixé lors de la COP 21 à Paris. Cela implique une transformation profonde de l'économie et des bouleversements dans le secteur des transports, de l'industrie et du bâtiment aujourd'hui encore très dépendants du pétrole, du charbon et du gaz d'origine fossile. Cette transformation doit être menée à bien en seulement trois décennies et même accélérer de manière substantielle d'ici 2030. Elle modifiera les logiques industrielles, mobilisera des capitaux considérables, aura des implications sociales importantes et entrera en résonance voire en conflit avec d'autres objectifs environnementaux.

Différentes options sont sur la table pour y parvenir. Elles présentent des points communs (baisse de la consommation d'énergie, augmentation de la part de l'électricité, recours aux énergies renouvelables) mais également des différences importantes (rythme d'évolution et la structure de la consommation, part de l'industrie, avenir du nucléaire, rôle de l'hydrogène, etc.). L'étude «Futurs énergétiques 2050» répond au besoin de les documenter en décrivant les modifications sur le plan technique, chiffrant les coûts associés, dégagant les conséquences environnementales au sens large et explicitant les impacts sur les modes de vie.

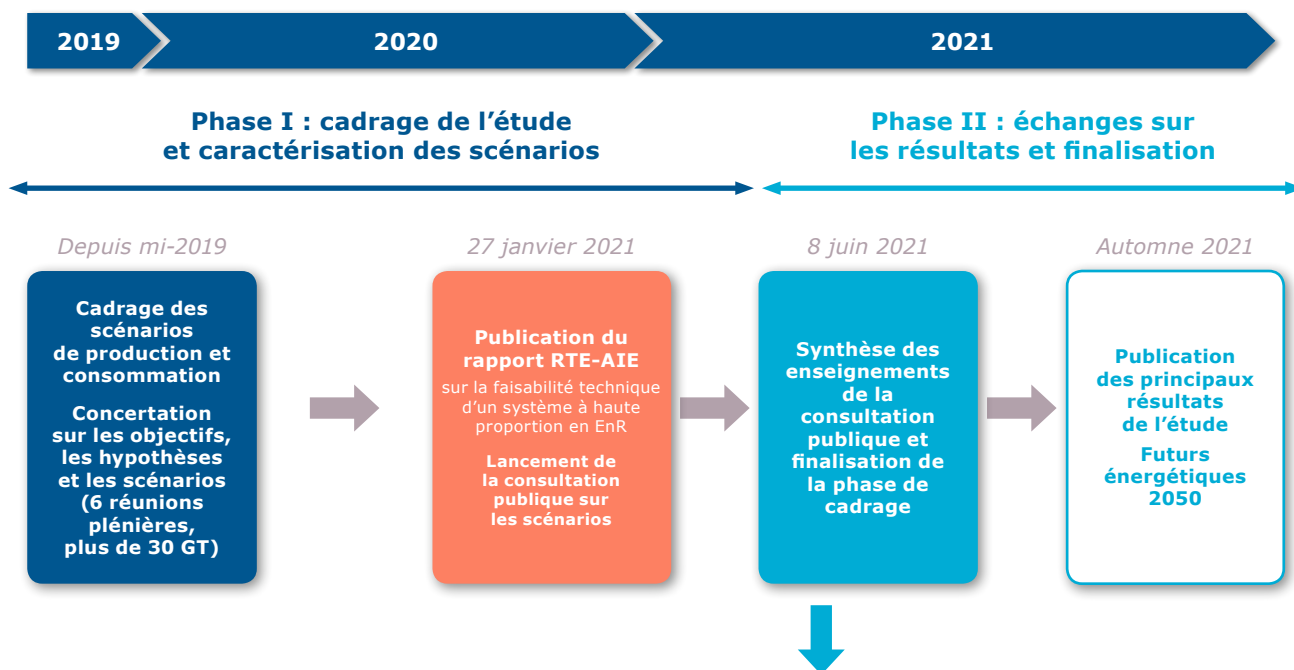
L'étude consiste, en premier lieu, en un travail technique d'une ampleur inédite, qui nécessite un très lourd effort de simulation et de calcul pour caractériser de manière rigoureuse l'ensemble des systèmes électriques permettant d'atteindre la neutralité carbone en 2050. Le dispositif de concertation est complété d'un conseil scientifique qui sera amené à fournir un avis indépendant sur les travaux réalisés dans la phase II.

Elle implique également une démarche inédite en matière de concertation : les scénarios sont élaborés au grand jour, tous les paramètres de l'étude sont discutés, tracés et débattus dans des groupes de travail et dans le cadre d'une instance plénière de concertation, selon une méthode ouverte et transparente visant à ce que chaque partie intéressée puisse s'exprimer et être entendue. Le planning de l'étude a notamment évolué pour prendre en compte les remarques et enrichir le dispositif en intégrant de nombreux scénarios et variantes qui n'étaient pas initialement prévus.

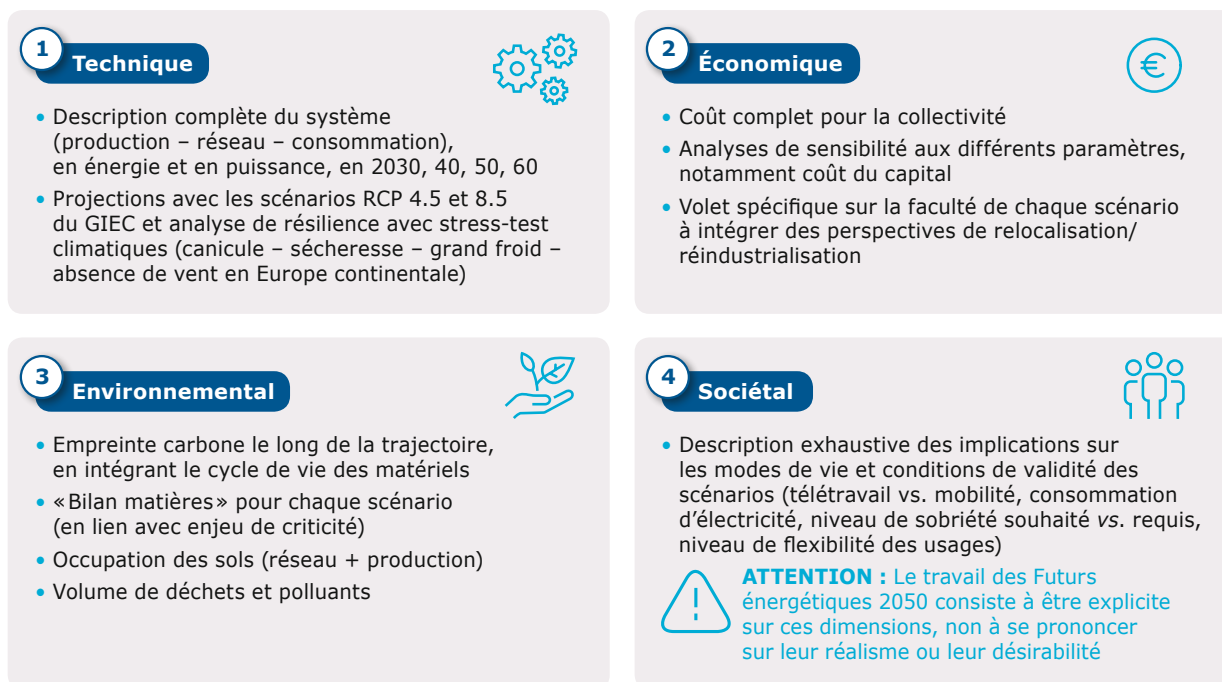
La phase I de l'étude, consacrée au cadrage des objectifs, des méthodes et des hypothèses, s'est achevée au premier trimestre 2021. Elle a été ponctuée d'une large consultation publique, qui a suscité des réponses bien au-delà du cercle des «parties prenantes expertes» habituellement concernées par ce genre d'exercices : concrètement, près de 4 000 organisations et particuliers ont participé, à travers des contributions spécifiques très détaillées, lettres ouvertes, pétitions et cyberactions.

Le présent document en présente un bilan résumé, public et préliminaire, alors que s'ouvre la phase II de l'étude qui durera jusqu'à l'automne.

Figure 1 La séquence globale de l'étude



Une évaluation des scénarios en selon quatre axes



Un cadre de référence stabilisé

La consultation publique permet de dégager un socle largement partagé sur la plupart des éléments de cadrage de l'étude :

1. L'objet d'étude est la **neutralité carbone en 2050**. Par construction, tous les scénarios doivent atteindre cet objectif, et des trajectoires cohérentes doivent être articulées pour y parvenir, en prévoyant qu'une partie importante de l'effort doit être réalisé dès la décennie 2020-2030. La méthode proposée par RTE consiste ainsi à préciser des trajectoires détaillées et pas uniquement un éclairage sur l'année 2050.
2. L'analyse du système électrique doit être complète, systématique, et décrire de manière exhaustive les scénarios envisageables. Elle repose sur une grille d'analyse en «4 cadrans» qui est désormais validée : étude technique, chiffrage économique, analyse environnementale, description des impacts sur les modes de vie.
3. Le changement climatique est une réalité ; il se poursuivra quoiqu'il arrive au cours des prochaines années et affectera les infrastructures énergétiques qui seront exploitées. Ceci plaide pour qu'un volet «adaptation au changement climatique» soit ajouté au volet «atténuation du changement climatique». Ainsi, pour la première fois, **l'analyse prospective des scénarios s'accompagnera d'une analyse de résilience aux chocs climatiques**, fondée sur des scénarios contrastés du GIEC.
4. Les scénarios à l'étude partagent des traits communs, conformes à tous les exercices internationaux cherchant à décrire les moyens d'atteindre la neutralité carbone : ils impliquent de **diminuer la consommation d'énergie totale, d'accroître la part de l'électricité dans la consommation d'énergie finale**. Pour atteindre la neutralité carbone, le recours à l'électricité doit en effet se développer pour remplacer les énergies fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) sur de très nombreux usages, sans préjudice de l'inflexion très importante attendue sur la biomasse et sur les vecteurs qui l'utilisent (chaleur, gaz vert). Au-delà des débats d'experts sur les trajectoires précises, les besoins d'électrification rapide dans le secteur des transports, ainsi que dans l'industrie et le bâtiment, sont clairs. De même, il est certain que cette électricité bas-carbone sera assurée par des énergies renouvelables dans des proportions bien plus importantes qu'aujourd'hui, même en cas de relance du nucléaire, car les réacteurs actuels devront à terme être arrêtés pour des raisons d'âge et qu'il n'apparaît pas possible de les remplacer au rythme (exceptionnel selon les standards internationaux) auquel ils ont été construits. Ceci se traduit, dans les scénarios centraux présentés à l'étude, **par une part des énergies renouvelables comprise entre 50 et 100 % de la production nationale d'électricité en 2050**.
5. À l'origine un thème d'étude parmi d'autres, **la question de la réindustrialisation et des fuites de carbone** s'est imposée comme un enjeu central du travail en cours. Depuis 30 ans, la France est parvenue à réduire ses émissions de gaz à effet de serre mais, dans le même temps, son empreinte carbone n'a pas diminué : ce paradoxe s'explique par la désindustrialisation du pays et un recours croissant aux produits manufacturés importés, dans un contexte d'augmentation de la consommation. Bien que l'empreinte carbone ait également été orientée à la baisse sur la dernière dizaine d'années, les produits manufacturés importés ont toujours une intensité carbone nettement plus importante que s'ils avaient été produits en France et pèsent dans l'empreinte carbone du pays. Ce phénomène est contre-productif du point de vue climatique alors que la France bénéficie d'une électricité bas-carbone et

affiche sur ce terrain l'une des meilleures performances au monde (au même niveau de pays comme la Norvège ou la Suède en Europe). Pour renseigner sur les liens entre émissions en France, émissions importées et coûts d'approvisionnement en électricité, RTE a proposé de construire une variante et un dispositif d'analyse spécifique. Les scénarios vertueux du point de vue de la maîtrise de l'empreinte carbone du pays imposent une **reconstruction de l'appareil productif autour de solutions bas-carbone**, dès les prochains cycles d'investissement, et ceci nécessite que l'électricité bas-carbone soit compétitive par rapport aux alternatives carbonées proposées hors de France.

6. Parmi les livrables de l'étude «Futurs énergétiques 2050» figurent des variantes spécifiques sur la consommation d'électricité. Au-delà des travaux sur la réindustrialisation, deux variantes («sobriété» et «hydrogène+») apparaissent particulièrement attendues. D'une part, **une plus grande sobriété dans les modes de vie et de consommation permet de relâcher la pression sur le rythme nécessaire de développement des énergies bas-carbone** : cela élargit ainsi la gamme des options techniques et le degré d'effort nécessaire pour atteindre la neutralité carbone. Les implications sur les modes de vie seront explicités et problématisés à l'issue d'ateliers dédiés. D'autre part, **certains acteurs fondent de nombreux espoirs dans la perspective d'une révolution dans l'usage de l'hydrogène, notamment dans l'industrie (sidérurgie verte) ou la mobilité lourde. La variante «hydrogène+»** permettra d'en approfondir les conditions concrètes de mise en œuvre, que ce soit via le maintien du principe d'une production domestique ou l'import via les grands réseaux de gaz.
7. L'évolution des modes de production d'électricité en France constitue une question centrale de l'analyse. Le parc de production d'électricité français repose aujourd'hui en large partie sur des réacteurs nucléaires de seconde génération. Cette infrastructure de production – totalement

atypique à l'échelle internationale – a permis une production d'électricité compétitive et **une performance CO₂ exceptionnelle, qui n'est égalée dans le monde que par des pays ou régions disposant de ressources hydrauliques uniques** (Norvège, Suède, Islande, Québec). Cependant, les réacteurs ont été mis en service pour la plupart entre la fin des années 1970 et le début des années 1990. Même si l'échéance de leur fin d'exploitation peut être discutée en fonction du programme de prolongation de la durée de fonctionnement des réacteurs et des décisions de l'Autorité de sûreté nucléaire, il n'en reste pas moins que **ces réacteurs devront être massivement fermés entre 2030 et 2060, pour des raisons industrielles et non politiques**. En retenant une période d'étude longue, l'étude «Futurs énergétiques 2050» se confronte résolument à cette problématique et au remplacement du système actuel par un nouveau système de production, d'acheminement et de consommation d'électricité.

8. Pour cela, RTE a proposé d'emblée un choix méthodologique clair, articulé autour de la distinction entre deux familles de scénarios selon que les nouveaux investissements dans le parc se portent uniquement sur les énergies renouvelables (scénarios M) ou sur un mix bas-carbone, c'est-à-dire une combinaison d'énergies renouvelables et de nouveaux réacteurs nucléaires (scénarios N). Cette représentation met ainsi l'accent sur l'importance de la décision de relance ou non d'un parc électro-nucléaire, qui engagera le pays sur le temps long et résultera d'un choix politique ayant des implications techniques, économiques et sociétales très larges. Cette méthode apparaît très largement confortée par la phase I de la concertation. Elle conduit à décrire deux types de systèmes électriques différents de celui d'aujourd'hui, qui nécessitent tous les deux sur des investissements massifs. Cependant, **il ne doit pas s'agir de l'unique clé de lecture des scénarios, une distinction trop forte entre scénarios M et N masquant les proximités techniques** (forte part des

énergies renouvelables variables) **ou économiques** (prépondérance des investissements sur les coûts de fonctionnement) entre certains scénarios.

9. Les conditions de réussite des scénarios sont différentes et portent sur de nombreux aspects qui sont par nature incertains (contexte social et macroéconomique, degré de maîtrise technologique des différents maillons de la chaîne, etc.). Ainsi, la perspective d'un système électrique composé à 100% d'énergies renouvelables implique le franchissement de barrières technologiques et la maîtrise de solutions non encore testées en grandeur réelle. Les scénarios N comportant du nouveau nucléaire, quant à eux, nécessitent de construire de nouveaux réacteurs nucléaires rapidement et à des coûts maîtrisés, et de

nombreux scénarios supposent une prolongation de la durée de vie d'une partie du parc nucléaire actuel alors que cette prolongation au-delà de 50 ans et *a fortiori* de 60 ans n'est pas acquise à ce jour. **Ceci invite à ne pas se contenter d'une analyse « statique » des scénarios, mais à identifier les jalons décisionnels clés qui les caractérisent, les leviers de correction en cas de non-réalisation de certaines de leurs hypothèses, et ainsi les décisions les plus pertinentes pour l'atteinte de la neutralité carbone.** À ce titre, les conséquences sur l'atteinte des objectifs publics d'un non-respect des rythmes d'installation des différentes filières ou d'un écart par rapport aux projections de référence sur la consommation d'électricité feront partie intégrante des analyses, via une approche de type moindres regrets par exemple.

De nombreuses évolutions à l'issue de la consultation publique

La consultation publique conduit RTE à faire évoluer – souvent par l'ajout de nouvelles variantes ou thèmes d'étude – le dispositif initial comme suit :

1. Le point de départ de l'étude est la stratégie nationale bas-carbone (SNBC) adoptée par la France en 2020. Celle-ci partage de nombreux points communs avec les stratégies d'atteinte de la neutralité carbone adoptée récemment par plusieurs pays en Europe. Néanmoins, de nombreux répondants proposent des cadrages différents, soit qu'ils contestent certains choix de la SNBC, soit qu'ils semblent les ignorer. La SNBC a été élaborée entre 2017 et 2020 ; elle a été complétée par plusieurs lois, par un plan de relance de l'économie dans le cadre de la pandémie de la COVID ; elle a été publiée alors que les questions énergétiques soulevaient de vifs débats de société (mouvement des gilets jaunes contre la fiscalité carbone, convention citoyenne sur le climat) ; elle a été suivie d'un approfondissement de la réflexion au niveau européen se traduisant par la volonté d'accroître l'ambition de réduction des émissions à l'horizon 2030 (projet du Green New Deal) ; elle a, enfin, vocation à être actualisée dès 2023. Dès lors, **l'étude « Futurs énergétiques 2050 » reposera sur un cadrage général (trajectoires de référence, variantes et analyses de sensibilité) reposant sur la SNBC et intégrant les enseignements des travaux complémentaires menés depuis sa parution**, et notamment les travaux de l'Agence internationale de l'énergie, de la Commission européenne, et du Haut conseil pour le climat.
2. L'étude présentera une **trajectoire d'accélération de la décarbonation de l'économie dès 2030**. En effet, la trajectoire d'atteinte de la neutralité carbone de la France passe pour le moment par un jalon 2030 correspondant à

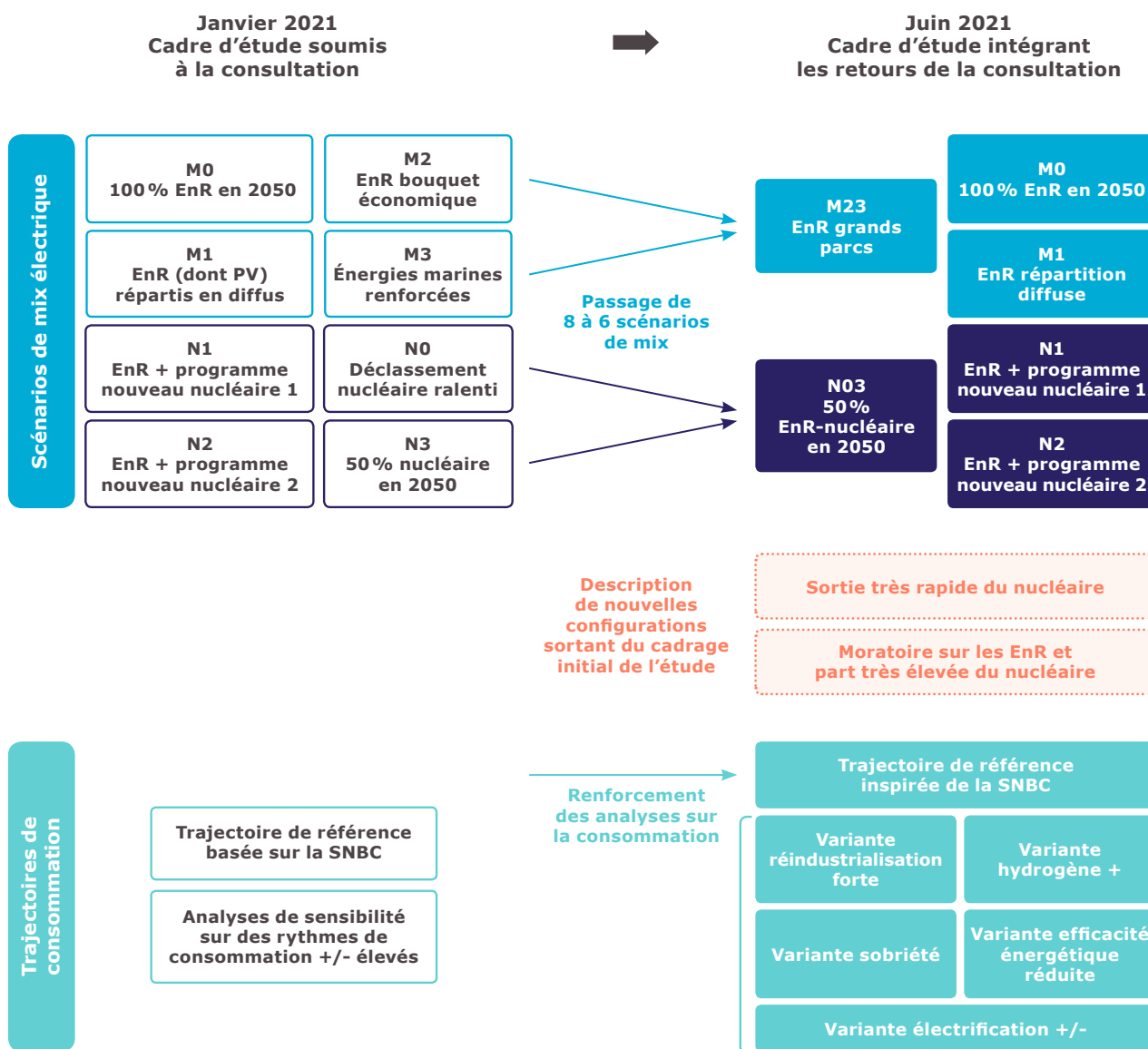
une diminution des émissions de gaz à effet de serre de 40 % par rapport à 1990. Or les États européens sont en train d'adopter une trajectoire renforcée en 2030, avec un objectif de -55 % des émissions nettes au niveau européen qui devra être décliné par pays mais conduira nécessairement à un relèvement de l'ambition pour la France. Dès lors, **la faculté des différents scénarios testés dans l'étude à permettre une accélération et à atteindre un objectif climatique plus ambitieux en 2030 fera l'objet d'une analyse détaillée**, notamment par le biais de variantes et analyses de sensibilité dédiées.

3. La consultation publique a montré que plusieurs répondants regrettaient que l'étude – ou plus probablement son traitement médiatique – accorde une place trop importante au volet « production d'électricité », au détriment des enjeux sur la consommation qui sont pourtant tout aussi cruciaux. **L'étude comprend bien un volet dédié à l'estimation de l'évolution de la consommation d'électricité à long terme : ce volet sera ainsi renforcé, et comprendra une trajectoire de référence ainsi que cinq variantes** : réindustrialisation forte, sobriété, hydrogène +, efficacité énergétique dégradée, électrification +/-, ainsi que de nombreux tests de sensibilité.
4. **Les scénarios prévoyant à terme un système 100% EnR (« scénarios M ») seront au nombre de trois**. Ils permettent de tester une sortie du nucléaire en 2050 (M0) ou en 2060 (M1 et M23). Leur logique consiste en une répartition diffuse des installations de production avec déploiement massif du solaire (M1) ou alors sur l'idée d'une massification du déploiement des énergies renouvelables autour de grands parcs (éolien en mer, à terre, et solaire photovoltaïque) (M0 et M23).

5. Les scénarios « EnR + nucléaire » (scénarios N) seront également au nombre de trois. Les scénarios N1 et N2 diffèrent par le rythme de construction de nouveaux réacteurs nucléaires de troisième génération : N1 présente un « réinvestissement minimal »

prolongeant le rythme du programme Nouveau Nucléaire Français présenté par EDF à l'État, tandis que N2 adopte le rythme maximal présenté par la filière. Le scénario N03 a pour sa part été largement réécrit autour de l'idée d'un système électrique fondé durablement sur le

Figure 2 Résumé des principaux ajustements des scénarios d'étude à l'issue de la consultation publique



nucléaire. N03 permet d'atteindre 50% pour la part du nucléaire en 2050 en misant (i) sur une trajectoire de fermetures plus lente sur la période 2025-2035, (ii) sur la prolongation de quelques réacteurs au-delà de 60 ans, et (iii) sur d'autres filières que l'EPR 2, comme les SMR (petits réacteurs modulaires ou Small Modular Reactors).

6. La consultation publique a confirmé le caractère extrêmement clivé et passionnel du débat sur le nucléaire et les énergies renouvelables. Les contributions de citoyens reçues dans le cadre de la concertation consistent, en grand nombre, en des demandes d'ajouts de scénarios qui s'éloignent du cadrage initial : des scénarios de sortie rapide du nucléaire (entre « tout de suite » et « d'ici 2030 ») d'une part, des scénarios reposant sur le maintien du *statu quo* actuel et/ou de moratoire sur le développement des EnR

(et notamment l'éolien) d'autre part. **Au titre de l'engagement pris dans le cadre de la concertation, RTE étudiera ces configurations alternatives et décrira les enjeux qu'elles soulèvent notamment en ce qui concerne le respect de la trajectoire climatique de la France.** Les analyses techniques menées à l'issue de la consultation montrent que ces configurations alternatives présentent, à des degrés divers, une ou plusieurs incompatibilités en particulier par rapport à l'objectif de réduction des émissions à l'horizon 2030.

7. RTE a, enfin, pris en compte un grand nombre de remarques et demandes d'études complémentaires : ajustement des hypothèses sur le PIB et la population, usages prospectifs de l'hydrogène, coût des différentes technologies, intégration d'une variante des scénarios M intégrant un déclassement plus lent des réacteurs nucléaires, etc.

Des points de débat qui demeurent très vifs

La consultation publique permet également de mettre l'accent sur des points d'incompréhension ou de non-consensus forts :

1. La SNBC est la trajectoire de référence pour la France, permettant de décliner l'engagement du pays à atteindre l'objectif de neutralité carbone d'ici 2050. Or **ses principales caractéristiques apparaissent mal connues**, que ce soit celles qui la rapprochent des autres stratégies nationales d'atteinte de la neutralité carbone (part de l'électricité dans la consommation finale en nette hausse, part majoritaire des énergies renouvelables, développement de l'utilisation de la biomasse) ou celles qui lui sont propres (recherche d'une forte indépendance énergétique, recours modéré au vecteur hydrogène, importance du biogaz). De nombreuses remarques reçues durant la consultation ne portent ainsi non pas sur les travaux de RTE, mais sur le cadrage de la SNBC.

2. La lecture de la « part de la production française » projetée en 2050 pour chaque filière de production a suscité de très nombreuses réactions. Celles-ci apparaissent très largement conditionnées par le débat politique institué par la loi de 2015, puis par sa révision de 2019, sur la part du nucléaire dans le mix. Ainsi, plusieurs répondants ont interprété le chiffre de 50% pour la part du nucléaire dans la production d'électricité en 2050 comme une contrainte de nature politique. Or ce chiffre résultait bien d'une analyse technique : en intégrant les contraintes sur la durée de vie du parc existant, les rythmes maximaux de renouvellement du parc nucléaire par la construction de nouveaux réacteurs de troisième génération ainsi que l'effort d'électrification nécessaire pour atteindre la neutralité carbone, une part du nucléaire l'ordre de 50% de la production d'électricité en 2050 apparaît comme un maximum. L'atteindre nécessiterait de mobiliser l'ensemble des moyens mentionnés dans le scénario N03 sur la durée de vie des

réacteurs actuels ainsi que sur les réacteurs de troisième génération (en intégrant des SMR).

3. La gestion de la variabilité de l'éolien et du solaire demeure un sujet essentiel de divergence d'appréciations. Les questions des parties prenantes portent ainsi régulièrement sur l'illustration du fonctionnement du système dans des situations météorologiques spécifiques. Pour bien appréhender les conséquences des différents scénarios en matière de sécurité d'approvisionnement électrique, RTE rappelle qu'il présentera, pour les différents scénarios, non seulement une analyse de risque probabiliste en lien avec le critère public de sécurité d'approvisionnement défini dans le code de l'énergie, **mais également une analyse approfondie et une illustration du fonctionnement du système dans certaines situations extrêmes (logique de « stress-tests »)**.

4. L'appariement des variantes de consommation et des scénarios de production soulève un débat méthodologique. Contrairement au Bilan prévisionnel publié en 2017, RTE propose de présenter l'ensemble des scénarios par rapport à la même trajectoire de consommation (trajectoire de référence), dans la mesure où il s'agit de la meilleure façon de pouvoir comparer les options de mix. Certains acteurs proposent une logique différente, où chaque scénario correspond à une « histoire ». Sans méconnaître l'importance du raisonnement par scénario et de construction d'univers cohérents, les appariements alternatifs proposés ne vont pas de soi. À titre d'exemple, rien n'impose que les scénarios de sortie du nucléaire en 2050 doivent par essence se combiner avec plus de sobriété, ou que la volonté de promouvoir une réindustrialisation du pays implique *a priori* un scénario reposant plus largement sur le nucléaire. C'est la raison pour laquelle RTE maintiendra le dispositif initial, qui pourra être complété par des analyses croisées.

Un dispositif d'étude complété

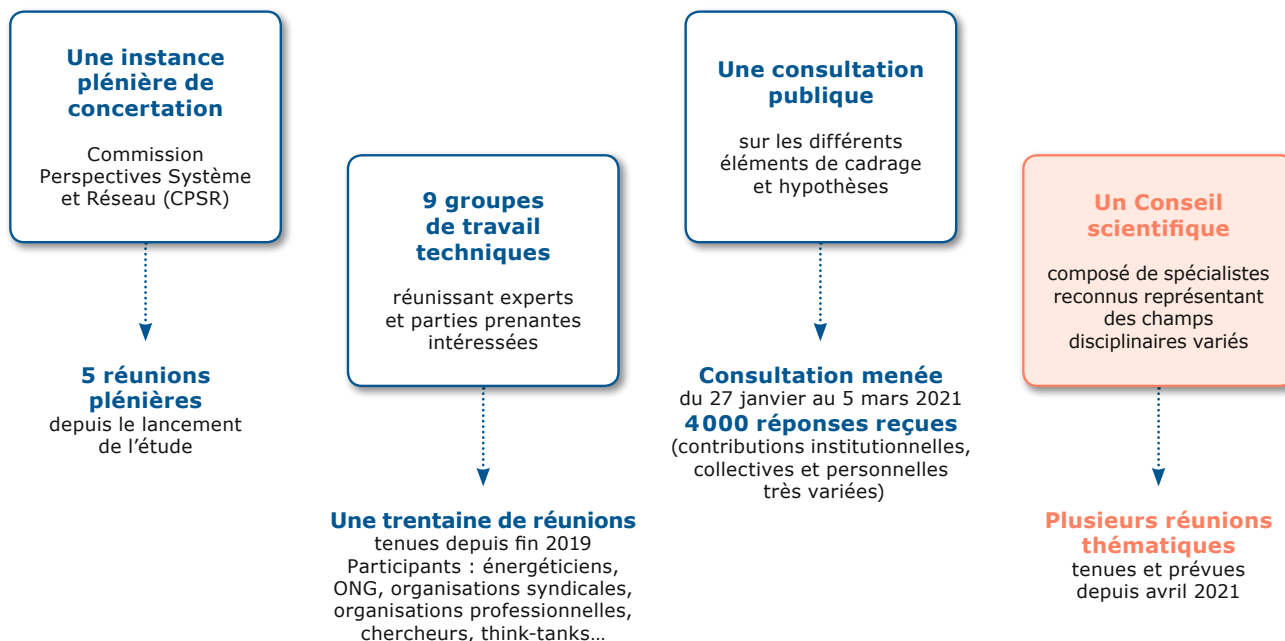
L'adaptation du dispositif d'étude aux demandes issues de la concertation et de la consultation publique conduit à des conséquences pratiques pour la phase II.

1. RTE va **simuler davantage de variantes qu'initialement envisagé**. Indépendamment du temps de calcul et de partage dans les instances de concertation, ceci soulève des enjeux en matière de restitution des résultats.
2. Il n'est pas envisageable de délivrer l'ensemble des scénarios, variantes et analyses de sensibilité en un seul document. **La phase II sera achevée à l'automne** et donnera lieu à la

publication d'un rapport de synthèse, puis d'un rapport détaillé. Elle sera **poursuivie par des études complémentaires au cours de l'année 2022**.

3. **Le dispositif de concertation, qui a fait ses preuves, est complété d'un conseil scientifique qui fournira un avis indépendant sur les travaux réalisés dans la phase II de l'étude**. Le comité est composé de différentes disciplines universitaires (macroéconomie, économie de l'énergie et de l'environnement, philosophie, climatologie, architecture). Le compte-rendu de ses travaux sera rendu public en même temps que celui des études.

Figure 3 Processus de concertation



LES TRAJECTOIRES DE CONSOMMATION* À L'HORIZON 2050 - VERSION JUIN 2021

CADRE DE RÉFÉRENCE

RÉFÉRENCE

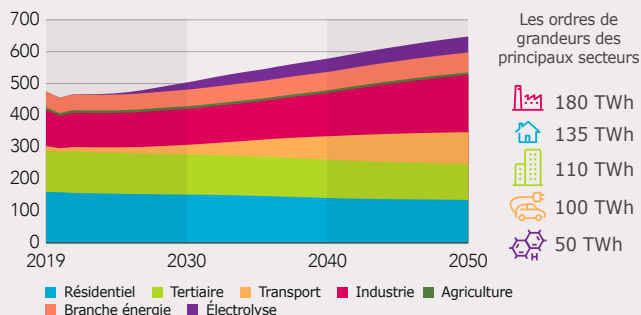
Trajectoire combinant électrification progressive d'usages aujourd'hui dépendants des énergies fossiles et progrès d'efficacité énergétique, selon les orientations générales de la SNBC. La trajectoire repose sur un cadrage macroéconomique réajusté (hypothèse de croissance à 1,3% à partir de 2030 et scénario fécondité basse de l'INSEE) et tient compte des effets escomptés du plan de relance et des politiques publiques sectorielles (RE 2020 et réforme du DPE dans le secteur du bâtiment, stratégie hydrogène, etc.). La trajectoire intègre un effort de réindustrialisation caractérisé par un maintien de la part de l'industrie dans le PIB à son niveau actuel ou des phénomènes comme l'effet rebond dans les logements rénovés.

CONSO EN 2050**

~
645 TWh
(y compris production d'hydrogène)

ÉVOLUTION

Consommation d'électricité dans la trajectoire de référence



LES VARIANTES

HYPOTHÈSES

CONSO 2050**

COMPARAISON par rapport à la référence

Sobriété

Les habitudes de vie évoluent dans le sens d'une plus grande sobriété des usages et des consommations (moins de déplacements individuels au profit des mobilités douces et des transports en commun, moindre consommation de biens manufacturés, économie du partage, etc.), occasionnant une diminution générale des besoins énergétiques, et donc également électriques.

Entre
550 et 600 TWh

-

-

Réindustrialisation forte

Sans revenir à son niveau du début des années 1990, la part de l'industrie manufacturière dans le PIB s'infléchit de manière forte pour atteindre 12-13% en 2050. Le scénario modélise un investissement dans les secteurs technologiques de pointe et stratégiques, ainsi que de la prise en compte de possibles relocalisations de productions fortement émettrices à l'étranger dans l'optique de réduire l'empreinte carbone de la consommation française.

Entre
700 et 750 TWh

+++
=
+
=
+

Efficacité énergétique dégradée

Les hypothèses de progrès de l'efficacité énergétique des matériels électriques généralement retenues ne se matérialisent pas, ou s'accompagnent de phénomènes de surconsommation au-delà de ce qui est prévu dans la trajectoire de référence. Cela se traduit par un rythme de rénovations plus lent mais également par des équipements moins performants dans l'électroménager, les moteurs ou encore l'industrie.

Entre
700 et 730 TWh

+
++
+
+
+

Électrification +/-

La part de l'électricité dans la consommation finale s'accroît de manière plus ou moins forte par rapport à la SNBC. Certains usages basculent plus rapidement ou fortement vers l'électricité (scénario d'adoption très rapide du véhicule électrique et d'électrification de certaines catégories de poids lourds), ou d'autres moins (par exemple dans l'industrie dans le cas où l'électricité ne parvient pas à être compétitive)

Entre
580 et 720 TWh

-
-
-
-
++
+

Hydrogène +

Une «révolution hydrogène» se produit, avec notamment un fort développement de ce vecteur dans l'industrie (sidérurgie verte), la mobilité lourde ou le transport aérien. La consommation d'hydrogène est portée à plus de 120 TWh en 2050, contre de l'ordre de 50 TWh dans la trajectoire de référence. L'approvisionnement en hydrogène nécessite alors de mobiliser plus d'électrolyse en France ou de trouver d'autres modes d'approvisionnement.

Entre
680 et 770 TWh

=
=
=
=
+++

* Trajectoires construites à partir des orientations de la SNBC

** Valeurs provisoires à ce stade des simulations, amenées à évoluer à la suite du bouclage en flexibilités

LES SCÉNARIOS DE MIX DE PRODUCTION* À L'HORIZON 2050 - VERSION JUIN 2021

	NARRATIF	RÉPARTITION DE LA PRODUCTION EN 2050**	CAPACITÉS INSTALLÉES EN 2050 (EN GW)**				
			Solaire	Éolien terrestre	Éolien en mer	Nucléaire historique	Nouveau nucléaire
M0 100% EnR en 2050	Sortie du nucléaire complète en 2050. La fermeture des réacteurs nucléaires existants est accélérée dès 2030, et les rythmes d'installation du photovoltaïque, de l'éolien et des énergies marines sont poussés au maximum.		~ 208 GW (soit x21)	~ 74 GW (soit x4)	~ 62 GW	/	/
M1 EnR répartition diffuse	Système 100% EnR en 2060 articulé autour de la recherche d'une répartition diffuse d'installations renouvelables – majoritairement solaires – de petite taille sur le territoire. Cet essor repose sur une mobilisation systématique des collectivités et acteurs locaux.		~ 200 GW (soit x20)	~ 58 GW (soit x3,5)	~ 45 GW	16 GW	/
M23 EnR grands parcs	Massification du développement des renouvelables via de grands parcs éoliens sur terre et en mer et de grandes centrales solaires. La minimisation des coûts est systématiquement recherchée et conduit à cibler les technologies et les zones bénéficiant des meilleurs rendements et permettant des économies d'échelle.		~ 125 GW (soit x12)	~ 72 GW (soit x4)	~ 60 GW	16 GW	/
N1 EnR + programme nouveau nucléaire 1	Un programme « minimal » de construction de nouveaux réacteurs de troisième génération est lancé, mais le remplacement du parc existant et l'électrification repose en majorité sur les EnR. Les nouveaux réacteurs sont développés sur des sites existants à raison d'une paire tous les 5 ans à partir de 2035.		~ 110 GW (soit x11)	~ 55 GW (soit x3,3)	~ 45 GW	16 GW	13 GW (soit 8 EPR)
N2 EnR + programme nouveau nucléaire 2	Lancement d'un programme plus conséquent et rapide de construction de nouveaux réacteurs nucléaires, à raison d'une paire tous les 3 ans environ à partir de 2035 avec montée en charge progressive. Le développement des énergies renouvelables se poursuit et représente deux tiers de l'électricité produite en 2050.		~ 85 GW (soit x8,5)	~ 50 GW (soit x2,9)	~ 35 GW	16 GW	23 GW (soit 14 EPR)
N03 50% EnR - nucléaire en 2050	Mix de production reposant à part égale sur les renouvelables et le nucléaire à l'horizon 2050. Fonctionnement étendu des réacteurs actuels tant qu'ils respectent les normes de sûreté, construction de nouveaux réacteurs selon un rythme volontariste avec diversification des technologies de troisième génération (EPR 2 + SMR).		~ 70 GW (soit x7)	~ 43 GW (soit x2,5)	~ 22 GW	24 GW	~ 28 GW (soit ~14 EPR + quelques SMR)
Hypothèses communes	 Hydraulique ~29 GW	 Hydrolien + EMR Entre 0 et 3 GW	 Thermique Selon résultats simulations	 Flexibilités (batteries, effacements, power-to-X-to-power) Selon résultats simulations	 Bioénergie dédiée à la production d'électricité ~2 GW		

* Scénarios compatibles avec la SNBC

** Valeurs provisoires à ce stade des simulations, amenées à évoluer à la suite du bouclage en flexibilités

ANNEXE 1 :

ATTRIBUTIONS ET MEMBRES DU CONSEIL SCIENTIFIQUE

Afin d'assurer la pertinence des analyses et de la méthodologie utilisée, RTE a mis en place un conseil scientifique en accompagnement de la réalisation des études et de la concertation.

Le conseil scientifique a pour mission de vérifier la qualité et la rigueur scientifique des études et d'apporter une prise de recul sur les résultats obtenus et leurs conditions de validité. Il est ainsi sollicité pour avis sur la méthodologie d'analyse, les modèles et données utilisés, ou encore pour discuter les résultats à plusieurs reprises au cours de l'année 2021.

Les travaux et avis du conseil scientifique seront rendus publics à l'occasion de la publication de l'étude « Futurs énergétiques 2050 ».

Le conseil scientifique est composé de sept membres, représentant plusieurs disciplines :

Laurence BOONE	<i>Économiste en chef de l'OCDE</i>
Pierre CAYE	<i>Philosophe, directeur de recherche au CNRS, directeur du Centre Jean Pépin (ENS-CNRS-PSL)</i>
Jean-Michel GLACHANT	<i>Économiste, directeur de la Florence School of Regulation à l'Institut universitaire européen de Florence, Président élu de l'IAEE, l'Association Internationale des Économistes de l'Énergie</i>
Christian GOLLIER	<i>Économiste, directeur général de Toulouse School of Economics, Président de l'EAERE, l'Association Européenne des Économistes de l'Environnement</i>
Jan-Horst KEPPLER	<i>Économiste, professeur à l'Université Paris-Dauphine, directeur scientifique de la Chaire European Electricity Markets</i>
Dominique ROUILLARD	<i>Architecte, professeure à l'École Nationale Supérieure d'Architecture Paris-Malaquais, directrice du Laboratoire Infrastructure, Architecture, Territoire (LIAT)</i>
Robert VAUTARD	<i>Climatologue, directeur de l'Institut Pierre-Simon Laplace, coordinating lead author pour le 6^e rapport du GIEC</i>

ANNEXE 2 : ORGANISATIONS AYANT PARTICIPÉ À LA CONSULTATION PUBLIQUE

Liste des organisations ayant répondu à la consultation publique sur les hypothèses et le cadrage de l'étude «Futurs énergétiques 2050» :

- ▶ 350.org
- ▶ 4D
- ▶ Académie des technologies
- ▶ Ademe
- ▶ AFG
- ▶ Agir pour l'environnement
- ▶ Alofa Tuvalu
- ▶ Alternatiba
- ▶ Aquind
- ▶ Arclès
- ▶ Boralex
- ▶ CARE France
- ▶ CCFD – Terre Solidaire
- ▶ CEA
- ▶ Cérémé
- ▶ CFE-CGC
- ▶ CGT
- ▶ CLER
- ▶ EDF
- ▶ Enedis
- ▶ Énergie Partagée
- ▶ Energy pool
- ▶ Enerplan
- ▶ Engie
- ▶ Équilibre des énergies
- ▶ ERG
- ▶ FNAU
- ▶ FNE
- ▶ FNE-Haute provence
- ▶ FNE-Languedoc
- ▶ FNH
- ▶ Force ouvrière
- ▶ France Énergie Éolienne
- ▶ France Hydrogène
- ▶ France territoire solaire
- ▶ FUB
- ▶ GIFEN
- ▶ Global Chance
- ▶ GRDF
- ▶ Greenpeace
- ▶ GRTGaz
- ▶ Hespul
- ▶ IED
- ▶ IESF
- ▶ JPG Conseil
- ▶ Les Amis de la Terre
- ▶ LPO
- ▶ Luciole
- ▶ négaWatt
- ▶ Notre affaire à tous
- ▶ Office français de la biodiversité
- ▶ Orano
- ▶ Oxfam France
- ▶ PNC France
- ▶ REFEDD
- ▶ Réseau Action Climat
- ▶ Réseau Sortir du nucléaire
- ▶ Sauvons le climat
- ▶ Secours Catholique-Caritas France
- ▶ Syndicat des énergies renouvelables
- ▶ SFEN
- ▶ Sortir du nucléaire Bugey
- ▶ The Shift Project
- ▶ TNE Occitanie Environnement
- ▶ Total
- ▶ UARGA
- ▶ UNIDEN
- ▶ Virage Énergie
- ▶ Voix du nucléaire
- ▶ Voltalis
- ▶ WECF
- ▶ WWF
- ▶ Zero Waste France

Cette liste ne comprend pas les contributions émises à titre individuel ni les signataires des lettres ouvertes, pétitions et cyberactions. Toutes les contributions reçues ont toutefois bien été prises en compte dans le processus de consultation publique et sont publiées sur le site de RTE (les contributions individuelles étant anonymisées).

ANNEXE 3 :

ORGANISATIONS AYANT PARTICIPÉ AUX RÉUNIONS DE CONCERTATION

Liste des organisations ayant participé aux réunions de la Commission perspectives système et réseau et aux différents groupes de travail sur l'étude «Futurs énergétiques 2050» :

- ▶ Académie des technologies
- ▶ Acajoo Advisory
- ▶ ADEME
- ▶ AFG
- ▶ Agence des participations de l'État
- ▶ Agora Energiewende
- ▶ Alpiq
- ▶ AlterGrids
- ▶ Arcadia
- ▶ Arcelor Mittal
- ▶ Arkema
- ▶ Artelys
- ▶ Autorité de sûreté nucléaire
- ▶ ATEE
- ▶ AVAIRX
- ▶ AVERE-France
- ▶ BCM Energy
- ▶ Boralex
- ▶ Bouygues Énergie Services
- ▶ Bulane
- ▶ Callendar Climate Intelligence
- ▶ CEA
- ▶ Centrale-Supélec
- ▶ Centre O.I.E.
- ▶ Céréomé
- ▶ Ceren
- ▶ CFDT
- ▶ CFE Énergies
- ▶ CGT
- ▶ CIRED
- ▶ CLER
- ▶ CNR
- ▶ Collectif Paysages de l'après-pétrole
- ▶ Commissariat général au développement durable
- ▶ Compass Lexecon
- ▶ Conseil général de l'économie
- ▶ CRE
- ▶ Direction générale de l'énergie et du climat
- ▶ Direction générale du trésor
- ▶ Dreev
- ▶ EDF
- ▶ ELE
- ▶ Enedis
- ▶ Energy Pool
- ▶ Enerhy
- ▶ Enerplan
- ▶ Enertrag
- ▶ Engie
- ▶ Eqinov
- ▶ Équilibre des énergies
- ▶ Exeltium
- ▶ Flexcity Energy
- ▶ FNE
- ▶ FNH
- ▶ FO Énergie et Mines
- ▶ France énergie éolienne
- ▶ France Hydrogène
- ▶ France Stratégie
- ▶ France Territoire Solaire
- ▶ Gazel Energie
- ▶ GÉRÉDIS
- ▶ GIMELEC
- ▶ GRDF
- ▶ Greenpeace
- ▶ GRTgaz
- ▶ H2V Industry
- ▶ Haut-Commissariat au plan
- ▶ Haya Energy
- ▶ Hespul
- ▶ Iddri
- ▶ IED
- ▶ IESF
- ▶ Institut Jacques Delors
- ▶ Institut Pierre-Simon Laplace
- ▶ Institut Rousseau
- ▶ IRSEM
- ▶ LPO
- ▶ Météo-France
- ▶ négaWatt
- ▶ Next Energy Consumer
- ▶ NovaJoule
- ▶ Orano
- ▶ PFA
- ▶ Planète Oui
- ▶ PNC-France
- ▶ PSA
- ▶ Région Pays de la Loire
- ▶ Renault
- ▶ Renault Trucks
- ▶ RES
- ▶ Réseau Action Climat
- ▶ Sauvons le climat
- ▶ Sciences Po
- ▶ Syndicat des énergies renouvelables
- ▶ SFEN
- ▶ SHEM
- ▶ Solstice
- ▶ Solvay
- ▶ SUD-Énergie
- ▶ SystemX
- ▶ Teréga
- ▶ Tesla
- ▶ The Shift Project
- ▶ Total Direct Energie
- ▶ UFE
- ▶ UFR SEGMI
- ▶ UMR Pacte
- ▶ UNIDEN
- ▶ Union TLF
- ▶ Université Grenoble Alpes
- ▶ Université Nantes
- ▶ URM Metz
- ▶ Vattenfall
- ▶ Virage Énergie
- ▶ Virta
- ▶ Voltalis
- ▶ Watt & Well
- ▶ WISE-Paris
- ▶ WWF
- ▶ Ykems



Le réseau
de transport
d'électricité

RTE
Immeuble WINDOW - 7C Place du Dôme,
92073 PARIS LA DEFENSE CEDEX
www.rte-france.com