



PLANIFIER L'AVENIR DE NOTRE SYSTÈME ÉLECTRIQUE

Fiche thématique 3 - Enjeux écologiques hors climat : biodiversité, sols, pollutions, de multiples enjeux écologiques

Consommation de matières premières

Toutes les infrastructures du système électrique consomment des matières premières lors de leur construction et de leur fonctionnement. On distingue quatre catégories principales :

- Les combustibles fossiles, comme le pétrole, le charbon ou le gaz ;
- Les matières fissiles (uranium, thorium...) ;
- Les métaux, conventionnels (acier, cuivre...) ou rares (néodyme, tellure, lithium, cobalt...) ;
- Les minerais non métalliques, comme le sable, les constituants du ciment.

En France, le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières)¹ fournit une expertise précieuse en matière de gestion des sous-sols et d'approvisionnement. Il a notamment calculé l'empreinte matière de chaque source de production d'électricité afin d'estimer leur impact global sur la consommation de matières premières². Il en ressort que les énergies carbonées ont une empreinte matière beaucoup plus importante en raison des grandes quantités de combustible qu'il faut extraire. De leur côté, les énergies bas carbone se distinguent par leur importante consommation de métaux nécessaires à l'infrastructure technologique.

Cette consommation de ressources est un sujet de préoccupation écologique majeure. Présentes en quantité finie sur terre, des évaluations récentes montrent que certaines ressources indispensables à la bifurcation écologique pourraient venir à manquer³. En outre, la France ayant fermé la plupart de ses mines, elle est vulnérable à des pénuries d'approvisionnement occasionnées par des aléas géopolitiques. Enfin, les mines sont parmi les industries les plus polluantes pour l'environnement et sont souvent corrélées à des conditions de travail très en-deçà des standards français⁴.

¹ Voir le site du [Bureau de Recherches Géologiques et Minières \(BRGM\)](#)

² Minéral Info, [La production mondiale d'électricité : une empreinte-matière en transition](#), 2018

³ Voir Agence Internationale de l'Énergie, [The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions](#), 2021

⁴ Mathieu Brier et Naïké Desquesnes, *Mauvaises mines*, 2018

Dans un des rapports les plus récents et complets sur cette question, l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) fait le point sur le caractère critique de certains métaux indispensables aux technologies bas carbone⁵ (qui ne concernent donc pas uniquement les besoins liés à la transformation des systèmes électriques). Il en ressort que :

- Les moyens de production d'électricité bas carbone requièrent davantage de métaux que les énergies carbonées, en particulier le cuivre, le lithium, le nickel, le cobalt. Par exemple, une éolienne en mer utilise 9 fois plus de métaux qu'une centrale au gaz à puissance comparable.
- Le respect de l'accord de Paris implique au niveau mondial une multiplication par 6 de la demande en minerai métallique d'ici 2040. Pour le lithium en particulier, la demande serait multipliée par 42.
- D'ici 2030, les mines actuellement en service et en projet ne parviendront pas à satisfaire une demande en minerai compatible avec l'accord de Paris. Pour le lithium et le cobalt, la moitié de la demande ne serait pas satisfaite.
- La production de nombreux minéraux est concentrée dans un petit nombre de pays, notamment la Chine, ce qui rend la chaîne d'approvisionnement plus vulnérable aux tensions géopolitiques.
- Les conditions d'extraction mettent en danger les travailleurs et polluent l'environnement local.

Il est donc essentiel de minimiser l'usage de matériaux critiques pour la production électrique, pour réduire notre vulnérabilité à d'éventuelles pénuries ou une volatilité des prix des matériaux de transition, et ne pas fonder les scénarios de transition sur des espoirs immodérés en matière de recyclage ou de découverte de nouveaux gisements.

Encadré : les usages de l'eau. L'eau intervient à de nombreux niveaux de la production d'électricité. Elle constitue par exemple la ressource essentielle des barrages qui retiennent 75% des eaux de surfaces en France⁶. En outre, elle est indispensable au refroidissement des centrales thermiques et nucléaires, ce qui représente 57% des prélèvements d'eau en France. La quasi-totalité de cette eau est restituée, mais ceci s'accompagne de certains risques pour les écosystèmes, liés à la température et aux pollutions. Cette dépendance rend le secteur vulnérable au risque accru de stress hydrique dû au changement climatique.

Encadré : l'uranium. L'industrie nucléaire actuelle dépend entièrement de la disponibilité en uranium. La consommation mondiale annuelle s'élève à 67 500 tonnes pour une capacité électrique totale de 400 GW. À ce rythme, les réserves jugées facilement extractibles pourraient garantir 90 ans d'approvisionnement. L'uranium n'est donc pas un métal sur lequel reposent des risques de pénurie à moyen et court terme, et le risque de tensions d'approvisionnement sur ce métal est quantifié comme étant moindre que pour d'autres métaux critiques, essentiels à la bifurcation écologique, ainsi que sur des énergies fossiles

⁵ AIE, [The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions](#), 2021

⁶ EDF, [Production d'électricité et usage de l'eau](#), consulté en juin 2021

comme le pétrole et le gaz. Comme pour la quasi-totalité des métaux à l'origine de la fabrication des moyens de production d'électricité, l'approvisionnement de la France dépend entièrement des importations, provenant des pays où se concentrent les principales réserves. Concernant l'uranium, il s'agit de l'Australie, du Kazakhstan, du Canada, du Niger, etc.

Destruction de biodiversité

La biodiversité représente la variabilité des écosystèmes, des espèces et des gènes au sein du vivant, ainsi que les interactions des êtres vivants entre eux.

Alors que son déclin est désormais bien documenté, tant au niveau mondial (IPBES)⁷, que national (UICN, MNHN)⁸, l'ensemble des activités d'aménagement contribue à la perte d'espaces naturels et à la rupture des continuités écologiques.

Les aménagements envisagés dans le cadre de la transformation de notre système électrique doivent donc s'inscrire dans une même démarche de lutte contre l'artificialisation des terres et de la destruction de la biodiversité. D'abord en s'orientant préférentiellement vers des installations de moyens de production d'électricité des espaces déjà artificialisés plutôt qu'en consommant de nouveaux espaces naturels. À titre d'exemple, une centrale photovoltaïque aura un impact bien moindre sur la biodiversité sur le toit d'un parking que dans sur une pelouse sèche abritant un cortège d'espèces inféodées à ce type de milieux. Ensuite, en considérant les incidences propres à ces activités sur la biodiversité. Dans un travail de synthèse publié en 2017, Gasparatos et al.⁹ font le bilan des incidences positives et négatives pour de nombreuses filières. Notons notamment que :

- Les installations photovoltaïques consomment des surfaces importantes d'habitats naturels, bien qu'elles autorisent le maintien d'une couverture végétale qui peut être utilisée dans les cycles biologiques de certaines espèces. Les traitements nécessaires à la fabrication des panneaux et leur installation sur les sols peuvent entraîner une pollution des masses d'eau. L'installation des panneaux perturbe le microclimat local et les comportements des communautés d'espèces (attraction des insectes et des oiseaux entraînant des désorientations voire des brûlures...) et le cumul de ces effets peut constituer un piège écologique. Toutefois, l'agrivoltaïsme (recherche de synergies entre l'agriculture et l'installation de panneaux photovoltaïques) pourrait avoir des avantages sur d'autres plans, tels que l'augmentation des rendements agricoles ou la diminution du besoin d'irrigation.
- La production d'énergie hydraulique, outre les incidences sur les écosystèmes liées à l'installation et la mise en eau des barrages, perturbe les continuités écologiques aquatiques en obstruant les voies migratoires de certaines espèces de poissons et a des incidences notables sur la qualité de l'eau, notamment en raison des changements

⁷ BONGAARTS, John. IPBES, 2019. [Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services](#). 2019.

⁸ UICN, [Liste rouge des espèces menacées en France](#), 2021

⁹ Gasparatos, Alexandros, Doll, Christopher NH, Estebant, Miguel, et al. [Renewable energy and biodiversity: Implications for transitioning to a Green Economy](#). Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, vol. 70, p. 161-184

sédimentaires et de ses conséquences sur la turbidité et l'eutrophisation des eaux.

- Les éoliennes peuvent provoquer des collisions avec des oiseaux en vol, des pertes et fragmentations d'habitats ou des perturbations comportementales de ces oiseaux, toutes liées à la présence d'aérogénérateurs et à leurs lieux d'implantation¹⁰.
- La biomasse constitue généralement un changement d'usage des sols qui peut être associé à des destructions ou modifications d'habitat, même si l'impact est généralement moindre que dans le cadre d'une artificialisation des sols. L'utilisation d'engrais peut également contribuer à l'eutrophisation.
- La production d'énergie nucléaire, présente une certaine efficacité en matière de consommation d'espaces naturels en comparaison à d'autres moyens de production d'électricité. Elle reste au cœur de débats au sein de la communauté scientifique, notamment concernant les risques de perturbation des habitats aquatiques en raison des rejets d'eau chaude, de pollution aquatique mais aussi des risques de pollutions et de leurs impacts sur les écosystèmes dans le cas où une défaillance dans le stockage des déchets ou un accident ou d'une attaque entraîneraient des fuites radioactives (voir les enjeux de sûreté ci-après)^{11,12}
- Dans tous les cas, les exploitations minières liées à l'empreinte matière du moyen de production d'énergie génèrent des destructions d'habitat terrestre et des pollutions locales.

Étant donné l'effondrement de la biodiversité, la transformation de notre système électrique ne peut se faire au détriment des enjeux de sa préservation, lesquels souffrent d'un manque de connaissance important. La biodiversité étant par nature instable et dynamique, mesurer les incidences de nos activités ne repose que sur l'appréciation simplifiée d'indicateurs de son bon état. Chaque projet doit donc faire l'objet d'une évaluation environnementale documentée, pour bien identifier les composantes de vivant concernées par l'aménagement, afin d'éviter les incidences, les réduire et en dernier lieu en compenser les résidus. Une planification à large échelle prenant réellement en compte les enjeux de biodiversité est la mesure la plus efficace pour sélectionner les sites et éviter des impacts : choix du nombre, du gabarit et de la localisation fine des moyens de production d'électricité, gestion appropriée des habitats proches, etc.

Occupation des sols

Minimiser notre occupation des sols est un enjeu écologique primordial, notamment pour préserver notre capacité de production alimentaire, pour diminuer les risques d'inondation et les pics de pollution, préserver la biodiversité et conserver des capacités de stockage du

¹⁰ À titre de comparaison, chaque éolienne tue entre 0,3 et 18,3 oiseaux en fonction de la zone géographique (Ligue pour la protection des oiseaux, 2019), contre 1000 oiseaux par an pour un chat sauvage et 30 oiseaux par an pour un chat domestique (Société française pour l'étude et la protection des mammifères et Muséum national d'histoire naturelle)

¹¹ Brook BW, Bradshaw CJA. 2015. [Key role for nuclear energy in global biodiversity conservation](#). Conservation Biology 29:702–712.

¹² Hendrickson, O. (2016), [Nuclear energy and biodiversity conservation: response to Brook and Bradshaw 2015](#). Conservation Biology, 30: 661-662.

carbone¹³. En France comme ailleurs dans le monde, l'artificialisation des sols progresse pourtant¹⁴.

Les moyens de production d'énergie électrique ont un impact en matière d'occupation des sols. Cet impact diffère selon le type de technologie, la phase du projet et la manière dont ces technologies sont développées. Ils ne sont pas limités à la production d'énergie (phase d'utilisation des structures associées) et doivent être mis en perspective avec les impacts générés lors des étapes en amont (activités d'extraction des matières premières et de traitement des matériaux utilisés dans les structures, de fabrication des composants, etc.) et en aval (activités relatives à la gestion de la structure de production d'énergie en fin de vie).

Une étude de 2020, réalisée par le centre de recherche commun de l'UE¹⁵, rapporte les résultats de plusieurs centres de recherche concernant l'occupation des sols pour les différentes énergies renouvelables et le nucléaire.

À titre d'exemple, l'artificialisation des sols liés à l'installation d'une éolienne concerne moins la surface directement occupée par l'éolienne que les différents équipements qui composent le parc éolien : poste électrique, piste d'accès, plateforme des éoliennes, etc.¹⁶

La quasi-totalité de l'imperméabilisation associée au système électrique (hors réseau de distribution) correspond aujourd'hui aux sites des centrales thermiques. Avec environ 12 000 hectares artificialisés et moins de 3 000 hectares imperméabilisés, les infrastructures de l'ensemble du système électrique (hors réseau de distribution) représentent de l'ordre de 0,35 % des surfaces artificialisées en France et 0,2 % des surfaces imperméabilisées. Même en cas de multiplication par 2 à 5 du PV au sol et de l'éolien, ces installations représenteraient moins de 1 % de la totalité des surfaces artificialisées en France aujourd'hui, soit une part bien plus faible que l'artificialisation résultant aujourd'hui du réseau routier et des bâtiments.

Tous moyens de production d'énergie électrique confondus, il existe toutefois un manque d'information concernant les impacts biologiques sur les sols et la dégradation de certains services¹⁷.

¹³ Comité pour l'économie verte, [Les enjeux de l'artificialisation des sols: diagnostic](#), 2019

¹⁴ Depuis 1981, sa croissance est plus de trois fois supérieure à celle de la population sur la même période#. En conséquence, l'empreinte au sol d'un français (représentant la surface d'infrastructures individuelles ou partagées pour chaque habitant) était de 835 m² en 2015, très sensiblement supérieure à celle de pays voisins aux tailles de population comparables (565 m² pour l'Allemagne et 430 m² pour le Royaume-Uni)#. Notons néanmoins que le projet de loi Climat et Résilience actuellement débattu au Sénat formule l'objectif d'atteindre le « zéro artificialisation nette » des sols d'ici à 2050.

¹⁵ JRC, [Technical assessment of nuclear energy with respect to the 'do no significant harm' criteria of Regulation \(EU\) 2020/852 \('Taxonomy Regulation'\)](#), 2021

¹⁶ Les usages des sols entraînés par chaque moyen de production d'électricité décarboné sont très finement exposés dans le rapport [Futurs énergétiques 2050 - Analyse environnementale](#), RTE, 2021

¹⁷ De manière générale, les études réalisées n'intègrent pas les impacts physiques, biologiques et chimiques (contamination chimique des sols, des fonds marins..) bien que leur impact sur les sols soit potentiellement non négligeable. D'autres impacts sur les sols, comme ceux liés à la compaction et à la pression exercées sur les sols lors des phases de chantier, restent peu étudiés.

Pollutions engendrées

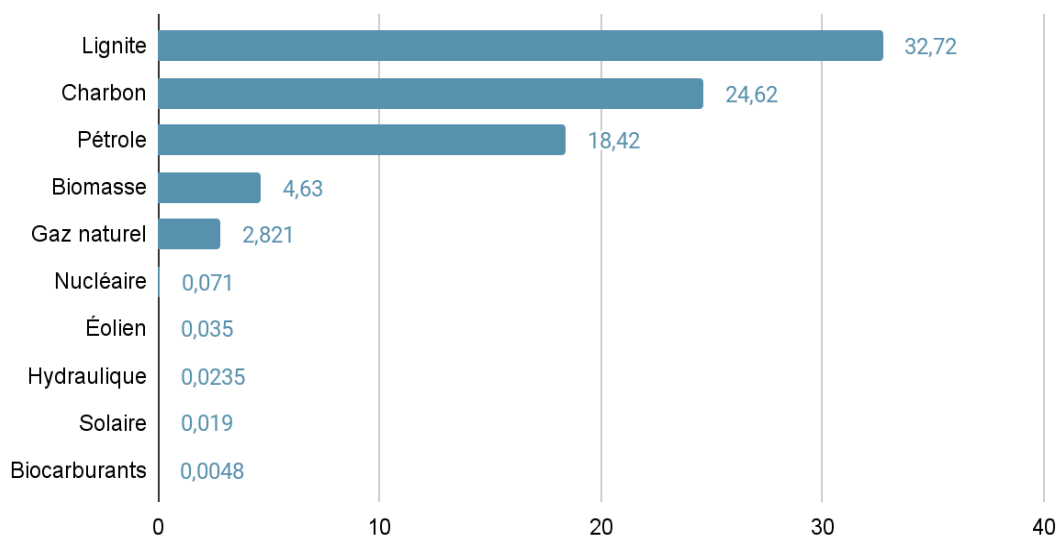
La combustion d'énergies fossiles est à ce jour l'un des principaux émetteurs de polluants dans le monde, et notamment de pollution de l'air. Dans le secteur électrique, s'affranchir des combustibles fossiles encore utilisés pour produire de l'électricité peut réduire les nombreuses pollutions qu'ils engendrent et qui ont un impact sanitaire conséquent.

La pollution de l'air est indirectement responsable d'au moins 40 000 morts prématurées par an en France¹⁸ (sur l'enjeu des pollutions, relire la note en trois volets d'Intérêt Général "[Des pollutions, dépollution!](#)") Les centrales fossiles encore en activité en France émettent du dioxyde de soufre (SO₂), des oxydes d'azote (NO_x) et des particules fines souvent désignées par l'abréviation (PM, Particules en Masse). Les moyens de production d'électricité décarbonés n'en produisent pas, eux, durant leur phase de fonctionnement. Néanmoins, leur construction implique des rejets d'émissions polluantes. Mais à la différence des gaz à effet de serre, qui ont un impact global, ces polluants de l'air ont un impact local. Lorsqu'ils sont produits dans un pays différent du lieu où le moyen de production est installé, cette pollution est donc invisibilisée pour le pays exploitant.

L'extraction des matériaux nécessaires aux moyens de production et de stockage d'électricité entraîne également des pollutions conséquentes des eaux et des sols. On peut citer ici les pollutions liées à l'extraction des métaux (fer, aluminium, cuivre, graphite, cobalt, platinoïdes, tungstène, lithium), terres rares (néodyme...), ou l'uranium utilisé comme matière fissile dans les centrales nucléaires.

Décès directs et indirects (par TWh)

Markandya & Wilkinson; Sovacool et al.



Les pollutions susceptibles d'être générées par les installations de production ou de stockage des déchets nucléaires en cas d'accident ou d'attaque doivent également être prises en compte,

¹⁸ Santé Publique France, [Impact de pollution de l'air ambiant sur la mortalité en France métropolitaine. Réduction en lien avec le confinement du printemps 2020 et nouvelles données sur le poids total pour la période 2016-2019, 2021](#)

tant pour les impacts potentiels sur les écosystèmes, que sur la santé humaine ou encore en matière économique et sociétale, du fait des déplacements de population potentiels.

Il convient également de noter le risque d'exposition plus grande des populations des pays pauvres plus exposées que le reste de la population aux pollutions générées par les moyens de production d'électricité sur l'ensemble de leur cycle de vie, notamment du fait des pollutions suscitées par l'extraction de minerais.

Déchets

La production électronucléaire est responsable de 60% des déchets radioactifs produits en France, le reste provenant principalement des secteurs de la recherche et de la défense¹⁹. Aujourd'hui, les matières recyclables ou retraitables ne sont pas considérées comme des déchets. La gestion de ces déchets, dont certains sont très dangereux pour la santé, est confiée à un établissement public, l'ANDRA²⁰. Le niveau de dangerosité d'un déchet radioactif dépend de son niveau d'activité radioactive et de sa durée de vie : les déchets radioactifs ont ceci de particulier que leur dangerosité diminue exponentiellement avec le temps, au contraire de certaines substances chimiques dangereuses qui ne se dégradent pas. Depuis les années 1960, des centaines de milliers de tonnes de déchets se sont accumulées. Si l'on a longtemps procédé à leur largage en mer, la pratique est interdite depuis 1993.

Dans leur grande majorité en volume, les déchets radioactifs ont soit une activité radioactive faible ou moyenne (il s'agit principalement d'outils ou de vêtements contaminés, ou des résidus de démantèlement de centrales), soit une durée de vie est dite « courte », bien qu'ils puissent demeurer dangereux pendant 300 ans. Ces catégories de déchets sont entreposées dans les centres de stockage de l'Aube et de la Manche. Les déchets les plus dangereux ne représentent que 3% du volume total des déchets, mais c'est eux dont la gestion se révèle la plus problématique, car leur activité peut demeurer dangereuse pendant 100 000 ans. Ils proviennent principalement des restes de combustible et des matières directement en contact avec lui.

Le projet Cigéo, issu d'une décision parlementaire, prévoit d'enfouir ces derniers déchets à 500 m de profondeur, sous la commune de Bure (Meuse), dans une couche d'argilite, une roche réputée géologiquement très stable selon l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA)²¹ qui souligne que le projet prévoit une réversibilité pendant toute la phase de remplissage du site, puis son scellement définitif.

Ce projet suscite des oppositions d'associations environnementales et de mouvements politiques pointant notamment les risques d'instabilité à long terme de la couche d'argilite qui doit englober le site de stockage, d'incendie²². La situation est aujourd'hui particulièrement tendue entre les associations et les autorités et les militants locaux qui s'y opposent sont victimes d'une répression injuste comme par exemple à Bar-le-Duc. En réponse au projet Cigéo, ces derniers proposent de privilégier d'autres options, comme le stockage à sec en sub-surface pour permettre aux générations futures de surveiller et d'accéder aux déchets radioactifs.

¹⁹ ANDRA, [Inventaire national des matières et déchets radioactifs](#), 2021.

²⁰ Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, [ANDRA](#).

²¹ Cigéo, ANDRA

²² voir par exemple ["Déchets nucléaires : pourquoi le projet Cigéo à Bure doit être stoppé"](#), Greenpeace France

Au-delà du cas Cigéo, celles-ci défendent - comme l'ONG Greenpeace - de « mettre un terme au retraitement du combustible usé qui aggrave le problème en générant des déchets hautement radioactifs et en multipliant les risques ». Certaines proposent de mettre fin aux transports nucléaires, notamment ceux liés au retraitement, d'interdire par exemple les passages en zone de concentration urbaine et d'inclure les matières radioactives non réutilisées dans la liste des déchets nucléaires d'EDF.

Au-delà du nucléaire, les moyens de production d'électricité à faible durée de vie (panneaux photovoltaïques, éoliennes...) sont très peu recyclés. L'augmentation des taux de recyclage est un enjeu important pour diminuer la dépendance en matériaux et diminuer le volume de déchets à gérer.

Respect des potentiels maximums d'installations estimés

Les gisements de production des moyens de production d'électricité renouvelable ont été évalués par l'ADEME en 2016²³ : les régions les plus prometteuses sont celles de la façade atlantique ainsi que les régions du sud de la France. Pour autant, les gisements sont relativement bien répartis en France. Le potentiel maximum théorique, basé sur les surfaces disponibles en adéquation avec la réglementation et la qualité des gisements est estimé à plus de 1500 TWh/an, réparti de la façon suivante :

- 130 TWh de production photovoltaïque sur grandes toitures commerciales et industrielles,
- 695 TWh d'éolien terrestre,
- 195 TWh d'éolien flottant,
- 80 TWh d'éolien en mer fixe.

Le potentiel maximum installable d'une technologie, diffère quant à lui du potentiel maximum théorique et de la puissance effectivement installée suite à l'optimisation de parc. L'estimation des gisements éolien et photovoltaïque (PV) repose sur des simulations de production, ainsi que sur l'analyse des contraintes au développement propres à chaque filière (météorologiques, topologiques, économiques et sociales). Selon l'étude, la filière offrant la puissance installable la plus importante est le PV sur toitures. On y constate également un fort potentiel de développement de la filière éolienne terrestre.

Concernant la flexibilité, pour parvenir à l'équilibre offre-demande à chaque heure de l'année, avec une production d'électricité renouvelable variant entre 20 et 120 GW, le système électrique va devoir exploiter plusieurs potentiels, à la hausse comme à la baisse. Ainsi, aux heures de production d'énergie électrique les plus importantes, les moyens de flexibilité à la hausse seront activés. Cela consiste pour le système électrique à placer une partie de la consommation pilotable quotidiennement et stocker une portion du surplus. Aux heures de fonctionnement des moyens de production électrique non renouvelable les plus faibles, inversement, ce sont les moyens de flexibilité à la baisse qui seront activés. Cela consiste pour le système électrique à

²³ ADEME, [Un mix électrique 100% renouvelable : analyses et optimisations](#), 2015

exploiter l'énergie contenue dans les différents stockages, et également à réaliser des effacements de consommation d'énergie.

L'ADEME a également étudié les potentiels de flexibilité et stockage, nécessaires pour répondre aux contraintes du solaire photovoltaïque et de l'éolien. Ainsi, en 2030 deux principaux types de stockage permettraient de répondre aux contraintes différentes imposées par le photovoltaïque et l'éolien :

- Un stockage court-terme (correspondant à environ 6h de durée de décharge) à base de batteries et de stockage d'électricité par air comprimé adiabatique (ACAES), permettant de faire face aux variations quotidiennes du photovoltaïque, et de répondre aux nécessaires contraintes de flexibilité, qui apparaissent à partir d'un certain taux de pénétration du PV.
- Un stockage infra-journalier ou infra-hebdomadaire (32 heures de durée de décharge) à base de Stations de Transfert d'Énergie par Pompes (STEP) permettant de faire face aux variations de cycle de l'éolien, qui s'étalent habituellement sur plusieurs jours (après foisonnement de la production à la maille nationale), générant un besoin de stockage de quelques dizaines d'heures.
- À plus long terme, un stockage intersaisonnier réalisé par l'intermédiaire de filières « power to gas » (méthanation, hydrogène) et « gas to power ». En pratique, il s'agit de produire par électrolyse de l'eau, de l'hydrogène à l'aide de surplus de production d'électricité, de le stocker et de le retransformer en électricité dans une centrale thermique (qui est alors décarbonée) ou via des piles à combustibles lorsque la demande d'électricité excède sa production²⁴.

Le potentiel de production hydraulique en France est aujourd'hui considéré comme déjà largement exploité et présente peu d'opportunités supplémentaires à long terme. La développement de nouveaux grands barrages en France est limité par la géographie du pays, et par son acceptabilité : des zones supplémentaires pourraient être équipées de grands barrages, mais au prix du déplacement de plusieurs milliers d'habitant dans les vallées qui seraient inondées. L'augmentation des capacités des installations existantes à l'occasion de leur remise à niveau (remplacement ou suréquipement via l'ajout de nouvelles turbines) ou encore le développement de nouvelles petites installations hydrauliques, bien que cristallisant une partie des inquiétudes pour la biodiversité, pourraient représenter quelques centaines de mégawatts supplémentaires, ce qui est très faible. Les limites sur leur développement sont par ailleurs renforcées par des craintes sur les impacts pour les écosystèmes et la biodiversité, ainsi que par des interrogations sur l'évolution de la ressource en eau dans un contexte de changement climatique et de concurrence avec d'autres usages susceptibles de croître (par exemple l'irrigation pour l'agriculture)²⁵.

Quelques opportunités existent néanmoins pour augmenter la capacité de production hydraulique, notamment avec la création de nouvelles stations de pompage-turbinage. Le rôle des STEP (y compris existantes) est amené à se renforcer avec l'augmentation des besoins de

²⁴ Pour plus de détails, lire [Futurs énergétiques 2050 - Le rôle de l'hydrogène et des couplages](#), RTE, 2021

²⁵ Carine Seghier, "Le développement de l'énergie hydroélectrique continue de faire polémique", Actu Environnement, 2010

flexibilité du système électrique et se traduira par une utilisation accrue. Ce gisement représente jusqu'à 3 GW supplémentaires selon RTE²⁶.

Cette fiche technique s'ajoute à une note en deux épisodes du laboratoire d'idée Intérêt Général sur le thème "Planifier l'avenir de notre système électrique".

Épisode I - Les enseignements des scénarios de transformation du système électrique. Cette note présente une comparaison inédite des différents scénarios de transformation du système électrique français : RTE 2021, négaWatt 2021, ADEME 2018, négaTep 2017, etc.

Épisode II - Planifier un système électrique au service d'impératifs sociaux, écologiques et démocratiques. Cette note propose une stratégie politique générale de planification sociale, écologique et démocratique de notre système électrique sur le long terme, afin de nous conduire à la neutralité carbone en 2050.

La rédaction de cette note a été précédée par un travail de synthèse des connaissances scientifiques sur les différents moyens de production d'électricité, rassemblées dans dix fiches techniques publiées courant 2022, dont celle-ci :

- Le système électrique Français en 2022 : état des lieux
- Enjeux climatiques : des émissions à effet de serre qui diffèrent nettement selon la source de production
- Enjeux écologiques hors climat : biodiversité, sols, pollutions, de multiples enjeux écologiques
- Enjeux de justice sociale : la nécessaire sobriété à la lumière de l'incontournable justice sociale
- Enjeux économiques : entre investissements nécessaires et coût élevé de l'électricité pour les ménages
- Enjeux de sûreté et de sécurité : face aux différents risques, la sûreté de notre système doit être assurée ;
- Enjeux de sécurité d'alimentation : assurer la sécurité de l'alimentation en électricité ;
- Enjeux de gouvernance et de propriété ;
- Enjeux industriels et technologiques ;
- Spécificités propres aux outre-mers.

²⁶ [Futurs énergétiques 2050 - La production d'électricité](#), RTE, 2021