

# Le nucléaire dans les scénarios énergétiques à long terme

Patrick Criqui, Directeur de recherche émérite au CNRS, Université Grenoble Alpes

Janvier 2023

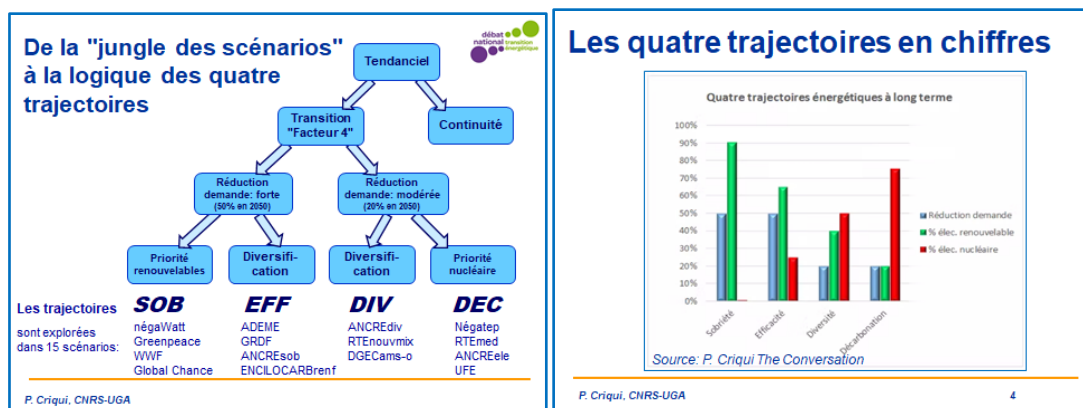
Contribution au débat public "Nouveaux réacteurs EPR, projet Penly"

La construction de scénarios prospectifs est une étape essentielle dans l'élaboration des politiques énergétiques à long terme, car ils constituent autant d'objets permettant la confrontation et la discussion de visions organisées du futur. Les fabriques de scénarios sont multiples, elles existent dans différentes institutions : centres de recherche, ONG environnementales, entreprises, administrations et ministères.

Le Débat National sur la Transition Energétique de 2012-2013 fut de ce point de vue une occasion assez exceptionnelle, non pas d'élaborer de nouveaux scénarios, mais au contraire de se saisir des scénarios de différentes origines pour décrire les futurs énergétiques à l'horizon 2050. L'inventaire mené alors par le groupe d'experts du DNTE avait permis d'identifier 15 scénarios qui, au-delà de leurs caractéristiques spécifiques, avaient pu être regroupés en quatre grandes familles ou « trajectoires ». Celles-ci décrivent encore aujourd'hui de manière satisfaisante l'espace des futurs énergétiques possibles.

Deux dimensions principales permettent de structurer cet espace des futurs possibles : premièrement, l'intensité des réductions de consommation qui sont recherchées à l'horizon 2050 ; deuxièmement, le choix du bouquet énergétique pour l'approvisionnement, et notamment le poids relatif de l'énergie nucléaire et des énergies renouvelables dans la production d'électricité.

Sur la dimension de la demande, environ la moitié des scénarios considéraient une consommation significativement réduite, d'environ -50% par rapport à aujourd'hui ; pour l'autre moitié il y avait aussi une baisse de consommation mais de moindre ampleur, environ -20%. Pour le bouquet énergétique : on distingue les scénarios en particulier par la part du nucléaire dans la production d'électricité – en ordre de grandeur 75%, 50%, 25% et 0% dans le cas des scénarios de sortie du nucléaire.



La combinaison de ces deux critères « réduction de demande / bouquet énergétique » permet d'identifier quatre familles auxquelles on peut associer quatre scénarios-type nommés : Sobriété – Efficacité – Diversité – Décarbonation.

**Sobriété** : ce scénario-type combine des changements de comportements significatifs vers une grande sobriété énergétique dans tous les secteurs et une sortie du nucléaire complète à l'horizon 2050. Pour satisfaire une demande d'énergie fortement réduite il est alors massivement fait appel à un bouquet composé essentiellement d'énergies renouvelables.

**Efficacité** : la réduction de la demande est ici obtenue plus par la mobilisation généralisée des technologies les plus efficaces pour l'utilisation de l'énergie que par des changements de comportement. Le bouquet énergétique peut comporter une part d'énergie nucléaire dans la production d'électricité, mais celle-ci reste faible.

**Diversité** (ou équilibre) : dans ce scénario-type, la prise en compte de difficultés rencontrés dans la réduction de la demande conduit à une réduction moindre des consommations. Il faut alors mobiliser plus de ressources énergétiques et comme celles-ci doivent être décarbonées, il faut combiner différentes options renouvelables en conservant une part significative de nucléaire (50%).

**Décarbonation** : ce scénario est en quelque sorte la reproduction du modèle énergétique existant, dans lequel les réductions de consommation sont modérées, l'appel aux énergies renouvelables limité et donc le recours au nucléaire pour la décarbonation de l'énergie important.

Ces quatre scénarios-type restent pertinents aujourd'hui (voir par exemple, les positions retenues par les différents candidats aux élections présidentielles de 2017 et 2022). A noter que l'on retrouvera une structuration en quatre images du futur très semblable dans les scénarios du Rapport 1,5°C du GIEC et dans les récents travaux de l'ADEME (voir en Annexe).

**Futurs énergétique 2050.** Les travaux de prospective menés par RTE et publiés en 2021 se caractérisent par une consommation totale d'énergie réduite d'environ un tiers, mais avec une augmentation de celle d'électricité de 20%. Cela parce que l'électricité est considérée comme un vecteur privilégié de la décarbonation des usages finals. Au scénario de consommation sont associés six hypothèses de bouquet électrique, trois avec une part de nucléaire faible ou nulle et trois avec une part de nucléaire significative (26%, 36%, 50%). Ces scénarios sont explorés dans leurs différentes dimensions : fonctionnement du système électrique, économie, impacts physiques.

\* \* \*

En quoi ces différents travaux peuvent-ils éclairer le débat et la prise de décision dans le domaine de l'énergie ? Au cours du DNTE de 2013, le groupe d'experts avait une double mission : celle de dresser un inventaire ordonné des scénarios disponibles dans la société française ; celle d'évaluer ces scénarios du point de vue d'un ensemble de critères d'impact, en termes économiques, sociaux et environnementaux. Si la première tâche a pu être largement remplie, force est de constater qu'il n'en fut pas de même de la seconde, en tous cas pas au-delà d'une caractérisation qualitative des impacts.

On touche ici à deux types de limites dans l'évaluation socio-économique des scénarios de politique énergétique. La première renvoie à l'incomplétude et au caractère contestable – malgré les progrès effectués – des outils ou modèles permettant de caractériser de manière univoque les impacts macroéconomiques et environnementaux. La seconde tient à la difficulté qu'il y a à résoudre le problème de la décision dans un contexte d'analyse multicritères et multiacteurs. Dans ce cas, le choix est en effet dépendant des fonctions de préférence des différentes partie-prenantes, et donc par nature, politique.

Pour simplifier, le débat de fond est aujourd'hui celui de la comparaison de deux grandes voies pour la transition : « sobriété forte et sans nucléaire » ou « sobriété modérée avec nucléaire ». Chaque option comporte à l'évidence des risques et est confrontée à des difficultés de mise en œuvre, singulièrement accentuées aujourd'hui par le nouvel environnement géopolitique.

Côté sobriété forte et renouvelables, les incertitudes sont doubles : incertitude sur la capacité réelle à réduire la consommation de manière aussi marquée ; incertitude sur le coût et la stabilité d'un système électrique reposant très largement sur des sources renouvelables variables, compte-tenu de la nécessité

d'équilibrer en permanence production et consommation d'électricité. Côté scénarios nucléaires, double incertitude également : sur la capacité industrielle à relancer une filière nucléaire dans des conditions de sûreté et de coût satisfaisantes ; sur le caractère socialement acceptable par la population des risques associés au nucléaire, en fonctionnement normal, en cas d'accident et du point de vue de la gestion à long terme des déchets.

Nul ne peut aujourd'hui avoir de certitude sur ces sujets et l'appréciation des risques restera subjective : dans les deux cas il y a pari sur l'avenir. Dans ce contexte, le fait de maintenir ouvertes toutes les options peut permettre de conduire une stratégie adaptative de dosage des solutions mobilisées. Et constituer ainsi le point d'appui d'une stratégie prudentielle, permettant de surmonter des événements inattendus.

## ANNEXE

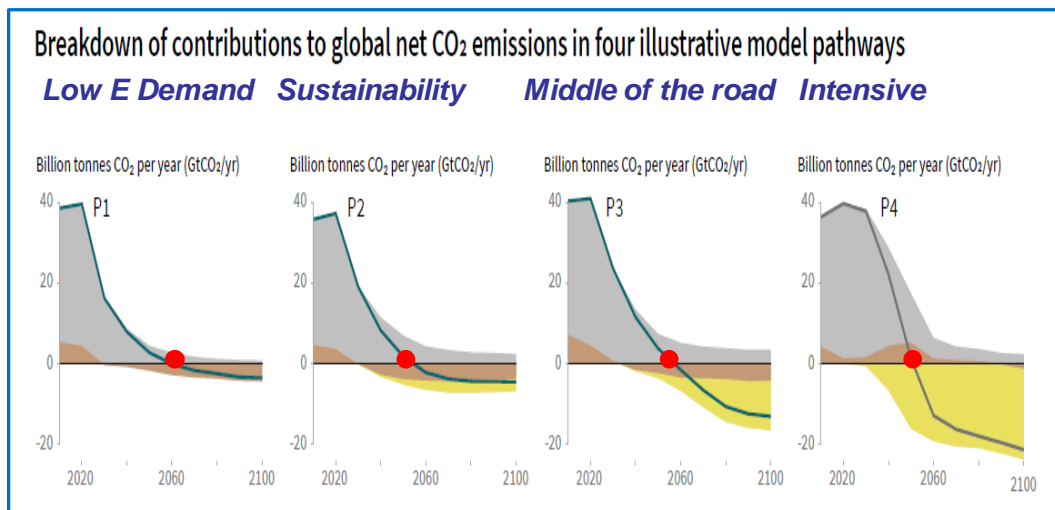
### Les quatre scénarios du Rapport 1,5°C du GIEC, 2019 :

**P1 = Très basse demande d'énergie**

**P2 = Développement durable**

**P3 = Equilibre des solutions technologiques**

**P4 = Scénario intensif en ressources**



### Les quatre scénarios ADEME, 2022 :

**S1 = Génération Frugale**

**S2 = Coopérations territoriales**

**S3 = Technologies vertes**

**S4 = Pari réparateur**

LA SOCIÉTÉ EN 2050							
		S1 GÉNÉRATION FRUGALE	S2 COOPÉRATIONS TERRITORIALES	S3 TECHNOLOGIES VERTES	S4 PARI RÉPARATEUR		
MODÈS DE VIE	Société	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recherche de sens</li> <li>Frugalité choisie mais avec options</li> <li>Préférence pour le local</li> <li>Future urbanisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Évolution soutenue des modes de vie</li> <li>Économie du partage</li> <li>Équité</li> <li>Préservation de la nature locale dans le droit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plus de nouvelles technologies que de sobriété</li> <li>Conscience accrue à vert à au profit des populations vulnérables, sécurité alimentaire</li> <li>Les services rendus par la nature sont optimisés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Élargissement des modes de vie de consommation de masse</li> <li>La nature est une ressource à respecter et à cultiver dans la capacité à résister</li> <li>Les défis sont abordés aux écosystèmes</li> </ul>	Société	
	Alimentation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Déjeuner par 3 de la consommation de viande</li> <li>Pari du bio : 70 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Déjeuner par 2 de la consommation de viande</li> <li>Pari du bio : 50 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduit de 20 % de la consommation de viande</li> <li>Pari du bio : 30 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consommation de viande</li> <li>Quantité de viande de 20 %</li> <li>Complète par des protéines de plantes ou végétales</li> </ul>	Alimentation	
	Habitat	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rénovation massive et rapide</li> <li>Limitation forte de la construction neuve</li> <li>Différenciation de logements vacants et résidences permanentes en résidence temporaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rénovation massive, évolutions graduelles mais profondes des modes de vie</li> <li>Construction plus développée</li> <li>La adaptation de la taille des logements à celle des ménages</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Déconstruction-reconstruction à grande échelle de logements</li> <li>Énergie des logements abordés mais de façon plus performante, la mobilité seulement au niveau bâtiment</li> <li>Norme Basé Consommation (NBC)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Construction de la construction neuve</li> <li>Le mode des logements seulement est réservé au niveau NBC</li> <li>Les équipements se multiplient, allant innovations technologiques et efficacité énergétique</li> </ul>	Habitat	
	Mobilité des personnes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction forte de la mobilité</li> <li>Réduction d'un tiers des déplacements par personne</li> <li>La moitié des trajets à pied ou à vélo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mobilité multi-modale</li> <li>17 % de km parcourus par personne</li> <li>Pis de la moitié des trajets à pied ou à vélo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mobilité accompagnée par l'État pour les trajets : infrastructures, matériel</li> <li>Moins de trajets</li> <li>13 % de km parcourus par personne</li> <li>30 % des trajets à pied ou à vélo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aggravation forte des mobilités</li> <li>20 % de km parcourus par personne</li> <li>Racheté de vitesse</li> <li>20 % des trajets à pied ou à vélo</li> </ul>	Mobilité des personnes	
	Technique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impact de progrès, numérique, R&amp;D</li> <li>Magne des low-tech, utilisation et réparation</li> <li>Techniques collaboratives</li> <li>Consommation des data centers stable grâce à la stabilisation des flux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Investissement massif efficacité énergétique, R&amp;D et innovation</li> <li>Numérique au service du développement durable</li> <li>Consommation des data centers stable grâce à la stabilisation des flux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Collage sur les technologies les plus compétitives pour décarboner</li> <li>Numérique au service de l'optimisation</li> <li>Les data centers consomment 10 fois plus d'énergie qu'en 2020</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aggravation forte des mobilités</li> <li>Captage, stockage ou usage du carbone (surtout industriel)</li> <li>Moins des déchets et intelligence artificielle omniprésente</li> <li>Les data centers consomment 10 fois plus d'énergie qu'en 2020</li> </ul>	Technique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rapport au progrès, numérique, R&amp;D</li> </ul>
Gouvernance	<ul style="list-style-type: none"> <li>Échelle de décision, coopération internationale</li> <li>Décision locale, forte coopération internationale</li> <li>Réglementation, innovation et appurement via des quotas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Douvement partagé</li> <li>Facilité environnementale et redistribution</li> <li>Objectifs nationaux et coopération européenne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coût de régulation minimale pour les acteurs privés</li> <li>État performant</li> <li>Facilité carbone abordable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Soutien de l'État</li> <li>Coopération internationale forte et cible sur quelques villes clés</li> <li>Planification centralisée du système énergétique</li> </ul>	Gouvernance	<ul style="list-style-type: none"> <li>Échelle de décision, coopération internationale</li> </ul>	
Territoire	<ul style="list-style-type: none"> <li>État important du territoire pour les mobilités et l'énergie</li> <li>« Métropolisation » par faveur des villes moyennes et des zones rurales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Métropolisation décentralisée</li> <li>Coopération entre territoires</li> <li>Planification énergétique territoriale et politiques locales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Métropolisation, mise en concurrence des territoires, villes fonctionnelles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Faible dimension territoriale, étalement urbain, agriculture intensive</li> </ul>	Territoire	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rapport espace rural, urbain, anthropisation</li> </ul>	
ÉCONOMIE	Macro-économie	<ul style="list-style-type: none"> <li>« Nouveaux indicateurs de prospérité (PIB, etc.)</li> <li>« Nouveaux indicateurs de prospérité (PIB, etc.)</li> <li>« Nouveaux indicateurs de prospérité (PIB, etc.)</li> <li>« Nouveaux indicateurs de prospérité (PIB, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>« Nouveaux indicateurs de prospérité (PIB, etc.)</li> <li>« Nouveaux indicateurs de prospérité (PIB, etc.)</li> <li>« Nouveaux indicateurs de prospérité (PIB, etc.)</li> <li>« Nouveaux indicateurs de prospérité (PIB, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>« Nouveaux indicateurs de prospérité (PIB, etc.)</li> <li>« Nouveaux indicateurs de prospérité (PIB, etc.)</li> <li>« Nouveaux indicateurs de prospérité (PIB, etc.)</li> <li>« Nouveaux indicateurs de prospérité (PIB, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>« Nouveaux indicateurs de prospérité (PIB, etc.)</li> <li>« Nouveaux indicateurs de prospérité (PIB, etc.)</li> <li>« Nouveaux indicateurs de prospérité (PIB, etc.)</li> <li>« Nouveaux indicateurs de prospérité (PIB, etc.)</li> </ul>	Macro-économie	
	Industrie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Production au plus près des besoins</li> <li>70 % de fibres, mais aussi de l'aluminium, du verre, du papier carton et des plastiques venant du recyclage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Production en valeur ajoutée sur un volume</li> <li>Dynamisme des marchés locaux</li> <li>80 % de fibres, mais aussi de l'aluminium, du verre, du papier carton et des plastiques venant du recyclage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coïncidence verte, innovation poussée par le numérique</li> <li>Spécialisation régionale</li> <li>Compromis internationaux et échanges mondialisés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Croissance économique carbonée</li> <li>Facilité carbone mondialisée et cible</li> <li>Économie mondialisée</li> </ul>	Industrie	<ul style="list-style-type: none"> <li>« Nouveaux indicateurs de prospérité (PIB, etc.)</li> <li>« Nouveaux indicateurs de prospérité (PIB, etc.)</li> <li>« Nouveaux indicateurs de prospérité (PIB, etc.)</li> <li>« Nouveaux indicateurs de prospérité (PIB, etc.)</li> </ul>

Source : RTE, 2021.

# LES SCÉNARIOS DE MIX DE PRODUCTION À L'HORIZON 2050

Filières : Flexibilités de la demande (hors V2G) Nouveau thermique décarboné Batteries Véhicule-to-grid

	NARRATIF	RÉPARTITION DE LA PRODUCTION EN 2050	CAPACITÉS INSTALLÉES EN 2050 (EN GW)*					BOUQUET DE FLEXIBILITÉS EN 2050
			Solaire	Éolien terrestre	Éolien en mer	Nucléaire historique	Nouveau nucléaire	
<b>M0</b> 100% EnR en 2050	Sortie du nucléaire en 2050 : le déclasserement des réacteurs nucléaires existants est accéléré, tandis que les rythmes de développement du photovoltaïque, de l'éolien et des énergies marines sont poussés à leur maximum.		~ <b>208 GW</b> (soit x21)	~ <b>74 GW</b> (soit x4)	~ <b>62 GW</b>	/	/	~ <b>15 GW</b> <b>1,7 GW</b> (1,1 MVE) <b>29 GW</b> <b>26 GW</b>
<b>M1</b> Répartition diffuse	Développement très important des énergies renouvelables réparties de manière diffuse sur le territoire national et en grande partie porté par la filière photovoltaïque. Cet essor sous-tend une mobilisation forte des acteurs locaux participatifs et des collectivités locales.		~ <b>214 GW</b> (soit x22)	~ <b>59 GW</b> (soit x3,5)	~ <b>45 GW</b>	<b>16 GW</b>	/	~ <b>17 GW</b> <b>1,7 GW</b> (1,1 MVE) <b>20 GW</b> <b>21 GW</b>
<b>M2.3</b> EnR grands parcs	Développement très important de toutes les filières renouvelables, porté notamment par l'installation de grands parcs éoliens sur terre et en mer. Logique d'optimisation économique et ciblage sur les technologies et les zones bénéficiant des meilleurs rendements et permettant des économies d'échelle.		~ <b>125 GW</b> (soit x12)	~ <b>72 GW</b> (soit x4)	~ <b>60 GW</b>	<b>16 GW</b>	/	~ <b>15 GW</b> <b>1,7 GW</b> (1,1 MVE) <b>20 GW</b> <b>13 GW</b>
<b>N1</b> EnR + nouveau nucléaire 1	Lancement d'un programme de construction de nouveaux réacteurs, développés par paire sur des sites existants tous les 5 ans à partir de 2035. Développement des énergies renouvelables à un rythme soutenu afin de compenser le déclasserement des réacteurs de deuxième génération.		~ <b>118 GW</b> (soit x11)	~ <b>58 GW</b> (soit x3,3)	~ <b>45 GW</b>	<b>16 GW</b>	<b>13 GW</b> (soit 8 EPR)	~ <b>15 GW</b> <b>1,7 GW</b> (1,1 MVE) <b>11 GW</b> <b>9 GW</b>
<b>N2</b> EnR + nouveau nucléaire 2	Lancement d'un programme plus rapide de construction de nouveaux réacteurs (une paire tous les 3 ans) à partir de 2035 avec montée en charge progressive. Le développement des énergies renouvelables se poursuit mais moins rapidement que dans les scénarios N1 et M.		~ <b>90 GW</b> (soit x8,5)	~ <b>52 GW</b> (soit x2,9)	~ <b>36 GW</b>	<b>16 GW</b>	<b>23 GW</b> (soit 14 EPR)	~ <b>15 GW</b> <b>1,7 GW</b> (1,1 MVE) <b>5 GW</b> <b>2 GW</b>
<b>N0.3</b> EnR + nouveau nucléaire 3	Le mix de production repose à part égale entre les énergies renouvelables et le nucléaire à l'horizon 2050. Cela implique d'exploiter le plus longtemps possible le parc nucléaire existant, et de développer de manière volontariste et diversifié le nouveau nucléaire (EPR 2 + SMR)		~ <b>70 GW</b> (soit x7)	~ <b>43 GW</b> (soit x2,5)	~ <b>22 GW</b>	<b>24 GW</b>	~ <b>27 GW</b> (soit ~14 EPR + quelques SMR)	~ <b>13 GW</b> <b>1,7 GW</b> (1,1 MVE) <b>1 GW</b>

Source : RTE, 2021.