



ACADÉMIE
DES SCIENCES
INSTITUT DE FRANCE

Fondée en 1666, l'Académie des sciences est une assemblée de scientifiques composée de 400 membres, choisis parmi les plus éminents spécialistes français et étrangers dont plusieurs Prix Nobel et médailles Fields. Elle couvre toutes les sciences formelles et expérimentales.

Dédiée à la promotion de l'excellence scientifique au service de l'humanité, elle mobilise ses experts pour apporter un éclairage scientifique aux grandes problématiques stratégiques et industrielles et offre un appui aux pouvoirs publics sur ces enjeux.

Contact :

marc.fontecave@college-de-france.fr

Le point de vue de l'Académie des sciences sur les documents de planification énergie climat soumis à la concertation

EN BREF

Dans le cadre de ses missions d'expertise et de conseil, l'Académie des sciences a souhaité contribuer à la concertation organisée autour de la publication des documents de planification énergie et climat par le Gouvernement, et notamment du document relatif à la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE3). Ce travail a été confié à son Comité de prospective en énergie (CPE), présidé par Marc Fontecave, membre de l'Académie des sciences et Professeur au Collège de France.

Après examen, les experts du CPE de l'Académie des sciences estiment que le document de la PPE3 comporte des atouts majeurs, ici soulignés, mais également plusieurs incohérences et faiblesses significatives. Ces aspects sont analysés dans ce cahier afin de permettre une révision du texte à la hauteur des ambitions de la Stratégie Française pour l'Énergie et le Climat.

Les auteurs de ce cahier d'acteurs sont :

Marc Fontecave^{1,2} ; Yves Bréchet^{1,3} ; Sébastien Candell^{1,4} et Robert Guillaumont^{1,5}

¹ : Académie des sciences

² : Collège de France

³ : Institut polytechnique de Grenoble

⁴ : CentraleSupelec

⁵ : Université Paris-Saclay

Une PPE3 qui répond à certains enjeux mais reste perfectible pour inscrire la stratégie nationale dans une nécessaire vision à long terme.

Après avoir mobilisé son Comité de prospective en énergie (CPE) pour prendre connaissance et analyser le document de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE3), l'Académie des sciences souhaite, comme cela est envisagé par la concertation accompagnant la publication des documents de planification énergie et climat, émettre un certain nombre de remarques.

Élaborer une politique énergétique requiert une vision à long terme, sur 30 à 50 ans : l'Académie des sciences s'attache ainsi, dans le texte qui suit, à analyser la PPE3 en inscrivant ses ambitions dans cette perspective stratégique de long terme.

Encart 1 :

Abréviations et acronymes

AMR	Advanced Modular Reactor
EnR	Énergie renouvelable
EPR	Evolutionary Power Reactor
MOX	Mélange d'oxydes
MRREP	Multi-recyclage en REP
PPE3	3 ^e volet des Programmations pluriannuelles de l'énergie
REP	Réacteur à eau pressurisée
RNR	Réacteur à neutrons rapides
SMR	Small Modular Reactor
STEP	Stations de transfert d'énergie par pompage

Formules chimiques et symboles

CO ₂	Formule chimique du dioxyde de carbone
W	Symbole du watt (unité de puissance) ; 1 MW = 10 ⁶ W et 1GW = 10 ⁹ W.
Wh	Symbole du watt-heure (unité d'énergie) ; 1TWh=10 ¹² Wh.

Encart 2 : Quelques rapports récents du CPE de l'Académie des sciences :

[Nouveaux réacteurs nucléaires et projet Penly](#), déc. 2022,
[Les réacteurs nucléaires modulaires de faible puissance \(SMR\) : Etat des lieux et perspectives](#), oct. 2022,
[L'apport de l'énergie nucléaire dans la transition énergétique, aujourd'hui et demain](#), juillet 2021,
[Considérations sur l'électronucléaire actuel et futur](#), juin 2021.

L'Académie souhaite d'abord souligner les points forts du document, en y apportant les précisions ci-dessous. Il s'agit en particulier :

Point fort 1 : *Du positionnement central au sein du mix électrique français de la production électrique nucléaire, garante d'une électricité décarbonée, conformément aux recommandations de l'Académie des sciences*¹. Ceci se traduit par : (i) la suppression de l'objectif de fermeture de réacteurs avant leur fin de vie ; (ii) la possibilité d'une prolongation des réacteurs au-delà de 50 ans, voire 60 ans, de fonctionnement ; (iii) le lancement d'un programme ambitieux d'un nouveau nucléaire avec la perspective de construction de 14 (6 + 8) EPR2 ; (iv) la perspective, à plus longue échéance, de construction d'un parc de réacteurs à neutrons rapides (RNR), seuls réacteurs à permettre un multi-recyclage des combustibles nucléaires usés, assurant la souveraineté du pays en termes d'approvisionnement en uranium et faisant de l'énergie nucléaire une énergie bas carbone durable² et (v) le déploiement éventuel des SMR et AMR pour délocaliser l'énergie nucléaire au plus près des besoins industriels en électricité et chaleur.

Il est cependant utile de rappeler plusieurs points.

- Les start-up ayant pris en main la promotion et le développement des SMR et AMR doivent collaborer étroitement avec les acteurs majeurs du nucléaire. En effet, les besoins en recherche (simulations et tests expérimentaux) sont importants, ces nouveaux réacteurs seront dépendants de la fourniture du combustible spécifique, et la gestion des déchets reste à définir dans le cadre de la politique nationale.

- D'ici 2035, période couverte par la PPE3, rien ne devrait changer dans le cycle du combustible. Cependant, la PPE3 anticipe la suite en envisageant, dans un premier temps, un multi-recyclage des combustibles nucléaires dans les futurs EPR2 (multi-recyclage en REP ou MRREP). La mise en œuvre du MRREP soulève encore des problèmes sérieux qui nécessitent des études supplémentaires, en particulier sur les bilans matières associés à divers scénarios de puissance et composition du futur parc

¹ Voir encart 2.

² Voir le rapport de l'Académie des technologies : [Trajectoire vers un nucléaire durable pour la France](#), juin 2024

d'EPR2. Par ailleurs, le MRREP complique considérablement le cycle du combustible³, ne permet qu'une économie minimale de combustible⁴ et augmente la production des actinides mineurs dans des proportions importantes, compliquant la vitrification des déchets ultimes. Il ne peut en aucun cas être un substitut au multi-recyclage du plutonium en RNR, et n'est pas non plus le moyen d'y accéder.

- Un report prolongé d'un projet de RNR déployable constituerait une grave erreur stratégique. Il faut préparer, dès maintenant, un programme de développement de RNR de quatrième génération en s'appuyant sur la mise en place d'un démonstrateur et sur des études sur le retraitement du combustible MOX RNR usé. Nécessairement longues, ces études doivent être explicitement incluses dans les programmes des acteurs.

Point fort 2 : *Des précautions mises en avant pour l'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques*, en raison de ses gisements limités, de la compétition avec la production alimentaire et de son rôle de puits de carbone. Cela conduit à des propositions d'exploitation de cette biomasse limitées et raisonnables pour la chaleur renouvelable (bois notamment), le biogaz et les biocarburants, et révèle la nécessité d'une politique d'arbitrage entre ses usages⁵, dans le sens des recommandations récentes de l'Académie des sciences⁶.

Point fort 3 : *De l'importance donnée à la recherche fondamentale et technologique ainsi qu'à l'innovation comme condition de réussite de ce projet d'évolution profonde du système énergétique*⁷. Qu'il s'agisse des technologies de conversion d'énergie bas carbone (photovoltaïque, électrolyse de l'eau en hydrogène, etc.), de stockage d'énergie (batteries), de nucléaire modulaire (SMR et AMR) et durable (RNR), de capture et d'utilisation du CO₂ (carburants de synthèse),

d'électrification de la production d'acier, de valorisation de la biomasse (biocarburants avancés) ou de nouveaux réseaux électriques adaptés à un excès d'énergies intermittentes, il reste en effet de nombreux verrous scientifiques et techniques à lever.

Dans le même temps, l'Académie des sciences regrette un certain nombre d'incohérences et de faiblesses suffisamment importantes pour nécessiter une révision du document de la PPE3.

Point faible 1 : *Une vérification rigoureuse des données chiffrées de la PPE3 concernant la consommation d'énergie et la consommation électrique aux horizons 2030, 2035 et 2050, est indispensable* pour assurer la cohérence des tableaux et figures, ce qui n'est pas le cas dans la version actuelle. Les incohérences relevées^{8 9} sont détaillées (encart 3). Par ailleurs, le texte peut manquer de clarté : il est parfois difficile de savoir si on parle de consommation ou de production électrique, et aucune précision n'est donnée sur le niveau d'exportation (écart entre production et consommation) envisagé¹⁰. Cela est lourd de conséquences : si les données de la figure 1 (p.9) sont exactes, avec des besoins en électricité de 508 TWh en 2035, aucune capacité supplémentaire de production électrique ne serait alors nécessaire, la production actuelle étant suffisante ! Pourquoi, alors, envisager 200 TWh d'énergies renouvelables (EnR) supplémentaires ?

Point faible 2 : *Il est regrettable que les scénarios de baisse de la consommation énergétique et d'augmentation de la consommation électrique ne soient pas justifiés explicitement par la quantification des gains énergétiques et des sobriétés possibles*, pour la première, et des besoins réels d'électricité (et donc de l'avancement effectif de l'électrification des usages), pour la seconde.

³ Il faut tenir compte de l'isotopie du plutonium après chaque passage en réacteur.

⁴ Dans le document de la PPE3, p.96, on lit que cette économie est de 40%, valeur très largement surestimée.

⁵ Tableau p.118 et p.119 de la PPE3.

⁶ Voir le rapport [Quelles perspectives énergétiques pour la biomasse ?](#), janvier 2024

⁷ Chapitre 5 de la PPE3.

⁸ Pour 2030 : Quelle valeur est la bonne entre :

Fig 1 p.9	1410 TWh de consommation finale énergétique et une part électrique de 34% (479 TWh)
-----------	---

Tableau p.28-29	1243 TWh de consommation finale énergétique et une part électrique de 45% (560 TWh)
-----------------	---

⁹ Pour 2035. Quelle valeur est la bonne entre :

Fig 1 p.9	1302 TWh de consommation finale énergétique et une part électrique de 39% (508 TWh)
Tableau p.28-29	1100 TWh de consommation finale énergétique et une part électrique de 58% (640 TWh)

¹⁰ Fig 26 p.80 : une production électrique de 598 TWh est donnée pour 2030 et 692 TWh en 2035.

Les objectifs fixés pour 2035 d'une consommation d'énergie réduite à 1 100 TWh et d'une consommation d'électricité augmentée à 640 TWh¹¹ sont excessifs, même si cette dernière projection s'appuie sur une perspective générale d'électrification de divers secteurs (transport, industrie, hydrogène, chauffage)¹². Cet objectif paraît d'autant plus surévalué que, depuis quelques années, la tendance observée est à la baisse de la consommation électrique, contrairement aux scénarios de transition énergétique récents¹³. Cette baisse pourrait se poursuivre, dans un contexte de croissance faible, de prix de l'électricité élevé et d'un rythme d'électrification des usages beaucoup plus réduit que celui anticipé, en raison de contraintes économiques, scientifiques et technologiques. Il paraît alors opportun de s'interroger sur le décalage entre production et consommation électrique, conduisant à des surcapacités électriques inutiles, et du besoin réel d'EnR supplémentaires à court terme. Un excès d'EnR intermittentes conduira à des contraintes importantes pour le système électrique qui aura plus de mal à compenser les variations croissantes de production. Ces déséquilibres conduiront inéluctablement à une augmentation du coût de l'électricité.

Point faible 3 : *Une des caractéristiques des mix électriques présentés dans la PPE3 est la baisse considérable des moyens de production pilotables (pilotabilité nécessaire à la stabilité du réseau) et une augmentation massive d'énergies intermittentes non pilotables.* Cette dernière induit un besoin énorme de transfert, d'environ 60 TWh, qui ne pourra pas être assuré par la flexibilité de la demande, les interconnexions et le stockage par les batteries ni les STEP (ne pouvant assurer, au mieux, que les besoins de modulation intra-hebdomadaire). À ce titre, il est étonnant que la problématique du

stockage intersaisonnier, la plus critique, ne soit pas évoquée.

Point faible 4 : *L'objectif d'une capacité de 6,5 GW d'électrolyseurs pour la production d'hydrogène vert est renouvelé.* Cependant, avec seulement 30 MW (soit 0,5 % de cet objectif) disponibles aujourd'hui et une demande en hydrogène vert encore atone, l'Académie des sciences considère¹⁴ cet objectif comme très optimiste, pour ne pas dire irréaliste. Il en est de même de la disponibilité de 50 TWh de biogaz en 2030 et 70-90 TWh de biocarburants en 2035, en raison des coûts très élevés de ces combustibles par rapport à leurs équivalents fossiles.

CONCLUSION :

L'Académie des sciences met ici en lumière les atouts certains de la PPE3, qui alignent la stratégie nationale sur les transformations nécessaires pour tendre vers les objectifs de neutralité carbone et de souveraineté énergétique de notre pays. Cependant, le document présente des fragilités qui en affaiblissent la portée. Il s'agit en particulier (i) du manque de cohérence des données chiffrées relatives à la consommation d'énergie et la consommation électrique, (ii) du manque de justification chiffrée (données de gain et de sobriété à l'appui) des scénarios de baisse de la consommation énergétique et d'augmentation de la consommation électrique proposés, (iii) de la baisse considérable des moyens de production pilotables mettant à mal la stabilité du réseau et (iv) des objectifs de production d'hydrogène vert, irréalistes à la lumière des données actuelles.

¹¹ Ce chiffre de 640 TWh de consommation électrique avait été proposé par RTE en 2021 pour l'horizon 2050 dans ses scénarios « Futurs énergétiques 2050 ».

En septembre 2023, dans son bilan prévisionnel 2023-2035, RTE estimait que la consommation électrique hexagonale pourrait atteindre 580 à 640 TWh en 2035, soit une hausse de 10 à 15 TWh par an entre 2025 et 2035.

¹² PPE3 – p.78 : « la consommation d'électricité va augmenter fortement sous l'effet de l'électrification (directe ou via H2 ou les e-fuels) de nombreux usages (transport, chauffage, industrie). »

¹³ Lors d'un événement organisé par le ministère de la Transition écologique et de l'Énergie, Sophie Murlon, Directrice Générale de l'énergie et du climat, déclarait : « en termes de consommation d'électricité on est en dessous du scénario central qu'on avait publié en 2023 » et « la vitesse d'électrification n'est pas aussi rapide que ce qu'on voudrait ».

¹⁴ Voir le rapport « [L'hydrogène, aujourd'hui et demain](#) », avril 2024.

Encart 3 : Incohérences internes au document

Comparaison figure 1 p.9 et tableau p. 28 et 29

		Données figure 1 p. 9*			
		2022	2030	2035	2050
Conso. en %	Électricité	27%	34%	39%	54%
	Fossiles	59%	42%	30%	0%
	ENR non électrique	14%	23%	30%	42%
	H2	0%	0%	1%	3%
Conso. en TWh	Électricité	417	479	508	572
	Fossiles	912	592	391	0
	ENR non électrique	216	324	391	445
	H2	0	0	13	32
	Consommation totale	1545	1410	1302	1060
		Données tableau p. 28 & 29			
		2022	2030	2035	
consommation en TWh					
	Nucléaire	279	360	360	
	PV	19	65	93	
	Éolien Terre	38	64	80	
	Éolien Mer	1	14	70	
	Hydro (hors STEP)	43	54	54	
	Sous-total électricité	380	557	657	
	Chaleur et clim.	173	302	378	
	Biogaz	17,7	50	67	
	Biocarburants	38,5	53	80	
	Hydrogène	0	14	28	
	Total défossilisé	609,2	976	1210	
	Fossiles	946,8	267	-110	
Consommation totale	1556	1243	1100		

* : Pour les années 2030 et 2050, la somme des pourcentages fournis par le document ne permet pas d'arriver à 100% (mais à 99%).

Autres remarques :

- Pour 2030 et 2035, il y a plus d'électricité décarbonée que d'électricité consommée au total ;
- Idem pour le total de consommation qui est bon pour 2022 et diverge d'environ 200 TWh en 2030 et 2035.

Encart 4 : Composition du Comité de prospective en énergie (CPE) de l'Académie des sciences.

Roger BALIAN, Sébastien BALIBAR, Lydéric BOCQUET, Yves BRÉCHET, Catherine BRÉCHIGNAC, Édouard BRÉZIN, Sébastien CANDEL, Catherine CESARSKY, Bruno CHAUDRET, Vincent COURTILOT, Antoine DANCHIN, Jean-Claude DUPLESSY, Marc FONTECAVE (président du CPE), Josselin GARNIER, Robert GUILLAUMONT, Pierre JOLIOT, Jacques LASKAR, Guy LAVAL, Hélène OLIVIER-BOURBIGOU, Olivier PIRONNEAU, Thierry POINSOT, Michel POUCHARD, Daniel ROUAN, Didier ROUX, Christian SERRE, Patrice SIMON, Jean-Marie TARASCON, Jean WEISSENBACH, Francis-André WOLLMAN.