

Objectif 2050 : les énergies renouvelables intermittentes ne réduiront que partiellement les émissions de CO₂ en Europe

Résumé exécutif

Les énergies intermittentes ne permettent pas d'atteindre l'objectif de neutralité carbone. L'idée selon laquelle ces énergies pourraient être stockées en quantités suffisantes pour compenser les périodes de faible production, à des coûts raisonnables, est loin d'être réaliste. Seules les Stations de Transfert d'Énergie par Pompage Hydraulique (STEP) contribuent partiellement à cette fonction, et ce, uniquement dans certains pays, sur des périodes qui ne répondent pas de manière optimale à la nécessité d'une production constante.

L'analyse de quatre configurations techniques différentes (Allemagne, Danemark, France, Portugal) et de leurs évolutions entre 2016 et 2022, ainsi que les neuf premiers mois de 2023, révèlent que :

- + accroître la part relative des énergies intermittentes ne conduit pas à une diminution des émissions de CO₂ dans le mix énergétique ;
- + les pays dont la politique énergétique repose sur une utilisation massive de l'éolien et du solaire ne parviennent pas à atteindre des taux d'émissions de CO₂ inférieurs à 200 gCO₂/KWh.

1. Les quatre configurations techniques examinées

Allemagne : depuis la disparition de son parc nucléaire, l'intermittence est palliée par le charbon (domestique) et le gaz (importé). Marginalement par les STEP et les échanges avec les pays voisins.

Danemark : le Danemark se trouvant en capacité d'importer massivement (à son échelle) de l'électricité hydraulique de ses voisins scandinaves, l'intermittence est également palliée par son charbon et son gaz (importés) puis par l'importation d'électricité carbonée de son voisin allemand.

France : l'intermittence est palliée par l'hydraulique - incluant les STEP - et par le nucléaire, tous deux bas-carbone. Marginalement par du gaz.

Portugal : l'intermittence est palliée par ses puissantes STEP hydrauliques (7% de sa consommation), puis par son gaz et enfin par les importations d'électricité de sa voisine ibérique.

2. Les résultats

		Capacités, Production horaire, Taux CO ₂ , (2016-2022)										
		Capacités installées éolien-solaire				Production horaire moyenne éolien-solaire				Taux CO ₂ total		
Unité de mesure		MW				MW				gr/KWh		
Période		2016	2022	Evolution de 2016 à 2022	2022 : part des capacités installées	2016	2022	Evolution de 2016 à 2022	2022 : part de la production	2016	2022	Evolution de 2016 à 2022
Pays	France	18 533	31 500	70%	23%	3 322	6 439	94%	13%	60	70	17%
	Allemagne	83 137	131 100	58%	56%	12 740	20 630	62%	36%	470	483	3%
	Danemark	5 446	6 196	14%	64%	1 439	2 407	67%	62%	409	237	-42%
	Portugal	4 868	6 685	37%	33%	1 477	1 770	20%	35%	328	212	-35%

Enseignements : les pays dont la politique énergétique est basée sur l'éolien et le solaire ne parviennent pas à obtenir des taux de CO₂ inférieurs à 200 gr/KWh.

Sans surprise cette analyse se confirme sur les 9 premiers mois de 2023 :

	Capacités, Production horaire, Taux CO ₂ (janvier-septembre 2023)														
	Capacités en MW				En % de la capacité totale			Production horaire moyenne en MWh				En % de la capacité totale			Taux de CO ₂
	Total	Carbonés	Non carb.	Eolien+solaire	Carbonés	Non carb.	Eolien+solaire	Total	Carbonés	Non carb.	Eolien+solaire	Carbonés	Non carb.	Eolien+solaire	gr/KWh
		Pilotable	Pilotable	Non pilotable	Pilotable	Pilotable	Non pilotable		Pilotable	Pilotable		Pilotable	Pilotable		
France	142 415	19 547	86 893	35 975	14%	61%	25%	52 555	4 036	40 930	7 589	7%	78%	14%	45
Allemagne	232 761	85 436	18 500	128 785	37%	8%	55%	51 619	24 425	3 973	21 641	49%	8%	40%	423
Danemark	17 027	7 688	0	9 399	45%	0%	55%	3 600	1 145	0	2 455	32%	0%	68%	203
Portugal	20 141	5 260	8 196	6 685	26%	41%	33%	4 378	1 600	946%	1 831	40%	12%	48%	197

Enseignements : A nouveau la production non carbonée pilotable explique l'essentiel des différences du Taux de CO₂ des productions électriques. Le recours massif à l'éolien et au solaire ne permet pas d'obtenir des taux de CO₂ inférieurs à 200 gr/KWh.

L'intermittence de l'éolien et du solaire est intense et les réponses apportées par chaque pays dans son contexte géographique et topographique propre sont très différentes :

	Intermittence Eolien + Solaire (2022)					
	Moyenne des productions éoliennes + solaires	Minimum	Maximum	Moyenne de la production totale	Minimum	Maximum
	MWh					
France	7 589	884	23 619	14%	1%	47%
Allemagne	20 630	810	59 889	34%	2%	73%
Danemark	2 407	51	6 609	57%	3%	93%
Portugal	1 770	11	5 538	35%	0%	85%

Enseignements : La production horaire de l'éolien plus solaire est très intermittente et varie de 1 à 100, voire 1 à 400 au Portugal. Chacun des pays pallie l'intermittence selon des moyens différents :

- + La France par l'hydraulique et le nucléaire
- + L'Allemagne par le charbon (domestique) puis par le gaz (importé)
- + Le Danemark par les échanges extérieurs
- + Le Portugal par l'hydraulique et par les importations d'Espagne (respectivement 7% et 25% de sa consommation).

Dans quelle mesure les échanges avec les pays voisins permettent-ils ou non de réduire ses propres émissions ?

	Solde net annuel (en GWh)		Observations	Taux CO ₂ (en gr/KWh)		Évolution	Observations
	2016	2022		2016	2022		
France	-42 260, 186	14 446, 774	France devenue importatrice nette	60	70	17%	La détérioration du solde des échanges nuit au taux CO ₂
Allemagne	-34 508, 631	-29 444, 607	Allemagne demeurant exportatrice	470	483	3%	Idem
Danemark	5 275, 562	-2 817, 874	Danemark devenue exportateur net	409	237	-42%	Exporter en important du bas-carbone améliore la performance CO ₂
Portugal	-5 035, 062	9 275, 696	Portugal devenue importateur net	328	212	-35%	Le facteur "fin du charbon" est plus décisif

Les échanges même ciblés ne sont pas un facteur décisif, à l'exception du Danemark qui optimise ses échanges par l'acquisition d'électricité hydraulique scandinave peu émettrice de CO₂.

Quant au stockage de l'électricité hydraulique par le truchement des STEP (Stations de transfert d'énergie par pompage) à faibles émissions de CO₂, il est particulièrement opérationnel au Portugal où il représente 7% de la production :

	STEP 2022		
	Capacité (en MW)	Production (en MWh)	Part de la production électrique
France	5 051	5 200 082	1%
Allemagne	9 280	11 141 453	2%
Danemark	0	0	0%
Portugal	3707	3 236 438	7%

La variabilité de la production éolienne et solaire de ces quatre pays atteint jusqu'à 800 %. Elle traduit en partie le constat que malgré les distances qui les séparent, la variabilité de production de tel pays n'est pas compensée par une variabilité inverse dans un autre pays. Autrement dit, il existe peu de foisonnement.

	Variabilité éolien + solaire pour les 4 pays analysés			
	Capacité	Production horaire		
		Moyenne	Minimum	Maximum
MW-MWh	176 567	113 060	69 724	168 603
% total	42,80%	29,70%	7,40%	61,30%

Ainsi, l'éolien et le solaire ne peuvent pas assurer une production électrique stable et constante, mettant ainsi en lumière les défis majeurs que poserait une transition énergétique fondée sur des sources intermittentes.

Dans ce contexte, le programme européen de renforcement des réseaux revêt une importance capitale. Ce plan vise à moderniser et à étendre les réseaux électriques pour s'adapter à cette production énergétique fortement tributaire des conditions météorologiques. Cependant, cette modernisation implique des coûts considérables, estimés à 584 milliards d'euros d'ici à 2030, dont 375 à 425 milliards pour la modernisation des réseaux de distribution, une nécessité urgente étant donné que 40 % de ces réseaux ont plus de 40 ans.

L'impact environnemental est aussi préoccupant, notamment à travers les Pyrénées et les Alpes, régions montagneuses posant des défis de traversée pour les réseaux électriques. Cette transition énergétique rencontre des obstacles similaires ailleurs en Europe. En Allemagne, l'acceptabilité de l'éolien s'est dégradée et les délais pour les nouveaux parcs se sont allongés. La construction de lignes à haute tension reliant les parcs éoliens du nord au sud du pays, où se situent de nombreuses industries, pose également un problème. Malgré le lancement de plus d'une centaine de projets de nouvelles lignes électriques, soit environ 14 000 kilomètres au total, la résistance des riverains s'intensifie. En 2023, seuls 2000 kilomètres de lignes ont été construits, malgré les mesures visant à simplifier les procédures administratives et à limiter les recours possibles.

Ainsi, l'électricité éolienne et solaire dépend énormément de vastes réseaux de distribution, rendant complexe leur intégration dans un réseau stable et fiable, et nécessitant une coordination transfrontalière efficace. Consciente de ces enjeux, la Commission envisage un plan d'action pour adapter ces réseaux à la transition énergétique. Cela inclut la recherche de financements adéquats, l'optimisation des réseaux existants et la simplification des raccordements pour les énergies renouvelables.

On observe ainsi que :

- + Renforcer le poids relatif des électricités intermittentes diminue peu les émissions de CO₂ dans le mix électrique.
- + Les pays dont la politique énergétique est basée sur un investissement massif dans l'éolien et le solaire ne parviennent pas à obtenir des taux de CO₂ inférieurs à 200 gr/KWh.

3. Conclusions

Constat 1 :

L'éolien et le solaire requièrent un complément en capacités pilotables, souvent compris entre 80% et 120% du capacitaire non pilotable.

Constat 2 :

La réponse technique en capacités pilotables diffère selon l'histoire de chaque pays et selon ses conditions géographiques, de climat, de relief etc. :

- + Certains pays ont fondé leur indépendance énergétique sur les hydrauliques, solutions parfaitement décarbonées incluant les Step qui présentent l'avantage de faire appel à la même source de manière rémanente : les pays scandinaves, le Portugal, la Suisse, l'Autriche puis l'Espagne.
- + Les pays scandinaves mis à part, cela ne suffit généralement pas ce qui place ces pays dans la dépendance aux fossiles et aux importations, ces dernières n'étant pas toujours décarbonées.
- + D'autres pays comme la France, la Suède et la Finlande l'ont fondée sur un mix hydraulique-nucléaire, solution parfaitement décarbonée et la plus économique.
- + D'autres l'ont fondée sur des solutions carbonées, charbon et lignite domestiques qu'ils doivent cependant compléter par du gaz importé.
- + Certains enfin jouent sur plusieurs tableaux, ainsi du Danemark qui capte au mieux les opportunités d'importation des électricités hydrauliques décarbonées de ses voisins du nord.

Constat 3 :

Il est manifeste que l'accentuation du poids des énergies renouvelables intermittentes (EnRi) dans le mix électrique ne se traduit pas par une diminution significative des émissions de dioxyde de carbone. Cette constatation met en lumière l'inefficacité intrinsèque de cette stratégie pour répondre aux impératifs de décarbonation fixés à l'échelle européenne. En réalité, la prétendue solution consistant à importer de l'électricité décarbonée grâce à des contrats à long terme ne fait que masquer l'échec patent de cette approche, tout en reportant le fardeau sur les pays voisins.

Il en découle que, loin de contribuer à la réduction des émissions de CO₂, l'augmentation du poids des électricités intermittentes dans les mix électriques nationaux ne contribue pas aux efforts pour décarboner le mix électrique de l'UE.

Il en découle que, l'énergie étant une compétence partagée entre l'UE et les Etats-membres, tout Etat-membre est fondé à invoquer les principes de subsidiarité, proportionnalité et neutralité technologique afin s'il y a lieu de se retirer des dispositifs techniques contraignants tels que « *x% de renouvelables dans son mix électrique en 20xx* » susceptibles de nuire à sa propre stratégie historique, de s'avérer non compatibles avec ses propres contraintes naturelles, économiques ou sociales, ou de nature à l'empêcher d'investir dans des dispositifs plus efficaces pour atteindre l'objectif de neutralité carbone en 2050.

La flexibilité dans la mise en œuvre des politiques énergétiques, en respectant les particularités nationales, apparaît donc comme une nécessité incontournable pour une transition énergétique durable et efficace.

4. Sources documentaires

Capacitaires et productions :

ENTSOE selon des règles détaillées à l'adresse <https://www.entsoe.eu/data/transparency-platform/>

Voir aussi : https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/pre2015/resources/Transparency/02_MoP%20Ref02%20-%20DDD_V2R5.pdf

A noter cependant que pour l'Allemagne les données de l'Entsoe sont de 15 % inférieures à celles de l'Ageb, une partie de la production électrique allemande étant consommée localement et ne circulant donc pas sur les réseaux participant à l'Entsoe.

Emissions de CO₂ :

Electricity Maps

En complément, rappelons que le Céréme avait réalisé une étude économétrique au titre d'une année complète (France - 2020) portant sur le lien causal entre toute diminution de la production intermittente et l'augmentation de la production à base de moyens pilotables carbonés qui en résulte : <https://cereme.fr/2022/06/23/le-lien-entre-electricites-intermittentes-et-gaz-en-volumes/>



WWW.CEREME.FR

CONTACT@CEREME.FR
63 RUE LA BOETIE
75008 PARIS