

Les coûts de production de l'éolien en mer « posé au sol » : absence de compétitivité

RESUME EXECUTIF :

Face à l'exigence posée par le chef du Gouvernement (débat sur la politique énergétique de la France le 28 avril 2025 à l'Assemblée nationale) d'éviter tout mauvais placement, le Céréme a consulté les statistiques et les études de référence.

Les études disponibles (Lazard-Roland Berger, Irena, Sélectra, Céréme) ne dissocient pas systématiquement l'éolien en mer flottant et l'éolien en mer posé au sol.

Leurs référentiels de coûts complets ne sont pas homogènes : Capex, raccordements au réseau, frais intercalaires de construction, coûts de démantèlement.

Enfin, elles sont souvent optimistes en matière de facteur de charge moyen.

Il en résulte des fourchettes larges, qui s'expliquent également par les conditions naturelles de leur implantation : profondeur, nature du sol granitique ou plus friable, etc.

Au total il apparaît convenable de centrer leur évaluation dans une fourchette 100-110 €/MWh au mieux, raccordements et renforcements de réseaux compris.

Mais des études plus récentes (Wood Mackenzie) font état de 218 €/MWh en moyenne.

A l'évidence, l'éolien en mer posé au sol n'est pas compétitif, face notamment à un nucléaire de série industrielle appelé à un coût complet entre 70 et 80 €/MWh.

Sommaire :

- I- Etude de référence 1 : LAZARD et Roland Berger - 2023 → entre 68 et 133 €/MWh tout compris
- II- Etude de référence 2 : IRENA - 2023 → entre 50 et 103 €/MWh
- III- Etude de référence 3 : SELECTRA - 2024 → entre 98 et 117 €/MWh
- IV- Etudes 4 : ADEME 2016 et 2019 → pas de réponse claire
- V- Etude de référence 5 : CEREME - 2022 et seq → entre 92 et 104 €/MWh
- VI- Synthèse et conclusions → entre 100 et 110 €/ MWh

Annexes :

1. Saint Brieuc, 2021-2024 : 179 €/ MWh
2. Selon le cabinet Wood Mackenzie nov 2024 : 218 €/ MWh en moyenne

I- Etude de référence 1 : LAZARD et Roland Berger - 2023 → entre 68 et 133 €/MWh



Dossier LCOE - avril 2023

<https://digital-energy.eu/sites/default/files/2024-03/lazards-lcoeplus-april-2023.pdf>

Levelized Cost of Energy—Key Assumptions (cont'd)

	Units	Geothermal ⁽¹⁾		Wind—Onshore		Wind—Onshore + Storage		Wind—Offshore	
		Low Case	High Case	Low Case	High Case	Low Case	High Case	Low Case	High Case
Net Facility Output	MW	250		175		100		1000	
Total Capital Costs ⁽²⁾	\$/kW	\$4,700	– \$6,075	\$1,025	– \$1,700	\$1,375	– \$2,250	\$3,000	– \$5,000
Fixed O&M	\$/kW-yr	\$14.00	– \$15.25	\$20.00	– \$35.00	\$32.00	– \$80.00	\$60.00	– \$80.00
Capacity Factor	%	90%	– 80%	55%	– 30%	45%	– 30%	55%	– 45%
Construction Time	Months	36		12		12		12	
Facility Life	Years	25		20		20		20	
Levelized Cost of Energy	\$/MWh	\$61	– \$102	\$24	– \$75	\$42	– \$114	\$72	– \$140

LAZARD
Copyright 2023 Lazard

Source: Lazard and Roland Berger estimates and publicly available information.
(1) Given the limited data set available for new-build geothermal projects, the LCOE presented herein represents Lazard's LCOE v15.0 results adjusted for inflation.
(2) Includes capitalized financing costs during construction for generation types with over 12 months of construction time.

38

Avec la mention que le 'Total Capital Cost' *includes capitalized financing costs during construction for generation types with over 12 months of construction time*, ce qui est correct.

A lecture du dossier, le *Total Capital Cost* pris en compte par Lazard et Roland Berger inclut les Capex, les coûts de raccordement, les frais intercalaires et les coûts de démantèlement. Autrement dit et pour mémoire les rubriques **C, D, E et F** du tableur de calcul du Cérémé https://cereme.fr/wp-content/uploads/2025/04/cereme_tableur_fichier-source_pour_le_calcul_des_couts_complets_de_production.pdf

Autres caractéristiques :

- les facteurs de charge moyens semblent élevés, ce qui peut correspondre à la situation aux USA.
- les OPEX fixes sont cohérents avec la rubrique **B** du tableur de calcul du Cérémé

A RETENIR :

L'étude Lazard/ Roland Berger ne distingue pas le flottant et l'éolien flottant : ceci peut expliquer un écart de Capex large entre 3000 et 5000 \$/kW, autrement dit entre 2850 € et 4750 €/ kW.

L'écart est large dans le LCOE qui en résulte : **entre 68 et 133 €/ MWh**.

II- Etude de référence 2 : IRENA- 2023 → entre 50 et 103 €/MWh

(IRENA : Agence internationale pour les énergies renouvelables)



Sources : son dossier

ainsi que son tableur *Datafile-RenPwrGenCosts-in-2023*

Tableau S1 Tendances du coût total installé, du facteur de charge et du LCOE par technologie, 2010 et 2023

	Coûts totaux installés			Facteur de charge			Coût actualisé de l'énergie		
	(2023 USD/kW)			(%)			(2023 USD/kWh)		
	2010	2023	Variation en pourcentage	2010	2023	Variación	2010	2023	Variation en pourcentage
Éolien en mer	5 409	2 800	-48%	38	41	8%	0.203	0.075	-63%

Le 2800 \$/kW est en réalité une moyenne pondérée à l'intérieur de la fourchette 1605-5601 figurant dans le tableur à son onglet **Fig 4.1** :

Total installed cost
(2023 USD/kW)

	2010	2011	2012	2013	...	2019	2020	2021	2022	2023
5th percentile	3509	3504	3548	2494		3383	2672	2263	2199	1605
Weighted average	5409	6195	5482	5794		4265	3611	3165	3478	2800
95th percentile	7476	7889	6863	6794		6944	8140	6320	7157	5601

Cependant, on ne connaît pas les termes de cette pondération.

L'onglet **Table 4.2** fait apparaître une fourchette plus resserrée pour l'Europe : 3138 à 4784 \$/kW :

	2010			2023		
	5th percentile	Weighted average	95th percentile	5th percentile	Weighted average	95th percentile
	(2023 USD/kW)					
Europe	4 405	5 418	7 476	2 511	3 138	4 784

Le terme « total installed cost » donne à penser que, a minima, l'on y trouve : les Capex, les coûts de raccordement, et les frais intercalaires.

On ne sait pas s'il s'agit de « flottant » ou de « posé au sol », cependant il existe dans la **Fig 4.6** répartissant les coûts une indication, car il y est question de fondations :

Source	Contingency & Other	Development	Electrical Interconnection	Foundations	Installation	Turbine	
IEA wind, generic (2016)		10%	6%	15%	17%	13%	39%
Generic OECD average (2016)		13%	4%	17%	14%	14%	38%
Europe (2016)		12%	3%	17%	13%	25%	30%

dont on peut raisonnablement déduire qu'il s'agit essentiellement de « posé au sol ».

Autres caractéristiques :

- les facteurs de charge moyens sont entre 30% et 52%, ce qui peut correspondre à la situation aux USA.
- les OPEX fixes ne sont pas évalués

A RETENIR :

La documentation IRENA ne distingue pas le flottant et l'éolien posé au sol, mais il apparaît que ses statistiques portent sur du « posé au sol ». Elle fait apparaître pour la plaque européenne un Capex 2023 compris entre 3138 et 4784 \$/kW : entre 2981 et 4544 €/ kW hors démantèlement, Un tableau fait apparaître le LCOE qui en résulte, compris **entre 50 et 103 €/MWh pour l'Europe.**

III- Etude de référence 3 : SELECTRA - 2024 → entre 98 et 117 €/MWh

Coûts de l'éolien en mer posé à l'international¹

	France	Allemagne	Royaume-Uni	Pays-Bas
CAPEX (€ / kW)	2900 - 3700	3980	3350	4025
OPEX (€ / kW / an)	160 - 190	67	64	69
LCOE (€ / MWh)	98 - 117	69 - 81	68 - 81	78 - 92

¹Coût rapporté à la production 2019, établi par la méthode Cour 2012 - 2014

²Pour dresser ce tableau comparatif, les données françaises correspondent à l'estimation par la Cour des comptes des LCOE de la filière éolienne offshore posée, calculés pour des investissements réalisés en 2020. Pour les trois autres pays, les données sont établies pour des installations mises en service en 2017/2018. Il est donc possible que ces deux années de différence faussent légèrement la comparaison. L'ordre d'idée reste toutefois représentatif.

On ne sait pas exactement ce qui est pris en compte, cf. la mention suivante :

Les **coûts d'investissement** ou *Capital expenditure (CAPEX)*, correspondant à l'investissement nécessaire à la mise en place d'un nouveau système de production. Il inclut généralement les coûts de raccordement au réseau électrique.

Ce « généralement » suggère que le référentiel des coûts n'est pas complet ni homogène.

Autres caractéristiques :

- Facteur de charge moyen : cette étude mentionne un « facteur de charge de l'ordre de 30 % supérieur à celui de la filière terrestre, et une puissance nominale des turbines également largement au-dessus de celle des turbines terrestres (de l'ordre de + 70% à + 112 % en fonction des données observées). Le rendement théorique d'une éolienne en mer est donc largement supérieur à celui d'une éolienne terrestre. À en croire les estimations pour les installations futures, cette tendance devrait s'accroître ... ».
Ce « 30% supérieur à celui de l'éolien terrestre » mènerait pour la France à un facteur de charge moyen compris entre 30% et 33%.
- Les OPEX fixes mentionnés dans l'étude Sélectra sont cohérents avec le **B** du tableau du CéréMé pour l'Allemagne, le RU et les Pays-Bas, mais **nettement plus élevés pour la France**, on ne sait pas pourquoi.

A RETENIR :

L'étude SELECTRA fait apparaître pour le « posé au sol » un Capex prévisionnel 2030 compris entre 2010 et 2030 €/kW,

sans que l'on sache cependant si ces coûts incluent ou non les frais intercalaires, les coûts de raccordement et de renforcement du réseau ainsi que les coûts de démantèlement.

En dépit de cette incertitude, qui interroge parce que ce n'est pas un détail, le LCOE qui en résulte (horizon 2030) est compris **entre 98 et 117 €/MWh**.

IV- Etudes 4 : ADEME - 2016 et 2019 → pas de réponse claire

• Etudes avant 2019 :

Jusqu'en 2019 (ici 2016) l'ADEME publiait des indications précises sur les coûts des EnR :

Caractéristiques techniques								
Périmètre	Europe			France	Europe		France	
Type	Posé				Flottant			
Terme	2014 - 2015	2016 - 2018	2019+	2009-2015	2020+	2030+		
Statut des projets	Projets mis en service	Projets en cours de construction	Projets financés	Projets mis en service	Projets en développement	Prospective		
Durée de fonctionnement (années)	20						20	
Temps de fonctionnement annuel en pleine puissance (h)	3500	3285	3500	3100	4000	3500		
Coûts								
Investissement (€/kW)	4100	4300	3900	3500 - 5500	11300	6000 - 9000	3500 - 4500	
dont raccordement (€/kW)	600			400	nc.	800 - 1400	600	
Exploitation fixe (€/kW/an)	168	150	140	150	nc. (calculs faits pour 400)	180 - 400	100 - 150	

Autres caractéristiques :

- Facteur de charge moyen : légèrement inférieurs à 40%, ce qui est cependant élevé
- Les OPEX fixes mentionnés sont particulièrement élevés.

• Etude 2020 :

Depuis 2020, l'ADEME se borne à faire état de chiffrages récents :

Tableau 18 : EOLIEN EN MER POSÉ - COMPARAISON INTERNATIONALE

	ALLEMAGNE	ROYAUME UNI	PAYS-BAS
Année de mise en service	2017 / 2018	2017 / 2018	2017 / 2018
Puissance unitaire (MW)	6	6	4
Durée de vie (années)	20 - 30 ans		
Facteur de charge (%)	47	42	43
Taux d'actualisation (%)	5		
CAPEX €/kWc	3 980	3 350	4 025

suis de perspectives alléchantes :

Tableau 19 : EOLIEN EN MER POSÉ - PERSPECTIVES DE LCOE POUR 2030 ET 2050

Année de mise en service	2030	2050
Durée de vie (années)	25 - 30	25 - 30
Taux actualisation (%)	5	3
Facteur de charge (%)	45 - 48	
CAPEX €/kWc	2010 - 3100	2080 - 2650

Avec la mention que « Les estimations de LCOE présentées dans le tableau 19 résultent d'une revue de littérature dont les hypothèses peuvent apparaître prudentes au regard des évolutions récentes (2019) sur le marché européen de l'éolien en mer. »

Ces estimations sont merveilleuses, mais on ne sait pas ce que recouvrent les Capex :

- est-ce qu'on y trouve les intérêts intercalaires ?
- En 2016 on a le sentiment diffus que les coûts de raccordement et de renforcement des réseaux sont inclus, à une quote-part près (en fait, celle-ci concerne seulement l'éolien terrestre)
- La seule chose certaine est que ces Capex n'incluent pas les coûts de démantèlement.

A RETENIR :

L'étude ADEME 2016 faisait apparaître pour le « posé au sol » un Capex 2030 compris entre 3500 et 5500 €/kW. L'étude 2020 l'estime entre 2010 et 3100 €/kW, sans justification précise de cette baisse et sans que l'on sache ce que recouvrent ces Capex. Il résulte de ces bases méthodologiques incertaines un LCOE étonnamment faible **entre 56 et 88 €/MWh**

V- Etude de référence 5 : CEREME - 2022 et seq → entre 92 et 104 €/MWh

Le Céréme a publié une étude comparée des coûts de production complets des différentes électricités https://cereme.fr/wp-content/uploads/2022/07/C-12-Comparaison-des-couts-complets-de-production-de-lelectricite_.pdf

Elle fait apparaître pour le « posé au sol » le coût complet suivant, sur la base d'un Capex de 2692 €/kW.

Éolien en mer posé		Unité	Montant
Hypothèses	Durée de vie	Années	20
	Taux d'actualisation	%	5,00%
	Facteur de charge	%	40%
	Durée de construction	Années	1
	Taux d'intérêts construction	%	4,00%
	A - OPEX COUT DU COMBUSTIBLE	€/MWh	0
	B - OPEX COUTS INDIRECTS ANNUELS	€/MW/an	64 122
	C - CAPEX INVESTISSEMENT INITIAL	€/MW	2 692 919
	D - INTERETS INTERCALAIRES	€/MW	107 717
	E - COUT DE RACCORDEMENT AU RESEAU	€/MW	770 000
F - PROVISION POUR DEMANTELEMENT	€/MW	406 400	

Éolien en mer posé		Unité	Montant
LCOE	A - OPEX COUT DU COMBUSTIBLE	€/MWh	0,0
	B - OPEX COUTS INDIRECTS ANNUELS	€/MWh	18,3
	C - CAPEX INVESTISSEMENT INITIAL	€/MWh	61,6
	D - INTERETS INTERCALAIRES	€/MWh	2,5
	E - COUT DE RACCORDEMENT AU RESEAU	€/MWh	17,6
	F - PROVISION POUR DEMANTELEMENT	€/MWh	3,5
LCOE (A+B+C+D+E+F)		€/MWh	103,5

Le Céréme a publié en avril 2025 une étude courte <https://cereme.fr/wp-content/uploads/2025/03/Les-grandes-centrales-e%CC%81oliennes-en-mer-POSE%CC%81es-au-sol-sont-elles-compe%CC%81itives.pdf> s'appuyant sur un tableur qui a été remis aux services de l'Etat, dans lequel sont documentées et sourcées les rubriques **B, C, D, E et F**.

https://cereme.fr/wp-content/uploads/2025/04/cereme_tableur_fichier-source_pour_le_calcul_des_couts_complets_de_production.pdf

Par exemple, en supposant qu'il s'établisse parmi les experts un consensus pour que le **C - CAPEX INVESTISSEMENT INITIAL** se situe à 2200 €/kW, alors (et avec les mêmes paramètres) le LCOE passerait de 103,5 à 92 €/MWh (hors coûts système et hors coûts environnementaux) :

Durée de vie	Années	20
Taux d'actualisation	%	5,00%
Facteur de charge	%	40%
Durée de construction	Années	1
Taux d'intérêts construction	%	4,00%
Postes de coût :		Unité
A - OPEX COUT DU COMBUSTIBLE	€/MWh	0
B - OPEX COUTS INDIRECTS ANNUELS	€/MW/an	64 122
C - CAPEX INVESTISSEMENT INITIAL	€/MW	2 200 000
D - INTERETS INTERCALAIRES	€/MW	88 000
E - COUT DE RACCORDEMENT AU RESEAU	€/MW	770 000
F - PROVISION POUR DEMANTELEMENT	€/MW	406 400
Conversion en €/MWh :		Unité
A - OPEX COUT DU COMBUSTIBLE	€/MWh	0
B - OPEX COUTS INDIRECTS	€/MWh	18
C - CAPEX INVESTISSEMENT INITIAL	€/MWh	50
D - INTERETS INTERCALAIRES	€/MWh	2
E - COUT DE RACCORDEMENT AU RESEAU	€/MWh	18
F - PROVISION POUR DEMANTELEMENT	€/MWh	3,51
coût complet de production hors Coûts Système (A+B+C+D+E+F)	€/MWh	92

A RETENIR :

L'étude CEREME décompose soigneusement les rubriques de coûts : Capex investissement initial, intérêts intercalaires, coûts de raccordement au réseau, démantèlement.

L'étude permet de prendre en compte toutes éventuelles baisses de coûts si celles-ci sont avérées. Ainsi, le LCOE qui en résulte est compris **entre 92 et 104 €/MWh** selon que le Capex retenu est celui de base 2692 €/kW (le plus probable aujourd'hui → 104 €/MWh) ou, après consultation d'experts de référence, plutôt plus proche de 2200 €/kW (→ 92 €/MWh).

VI- Synthèse et conclusions :

Ces cinq études comparées mettent en évidence deux points majeurs :

1. L'un des éléments-clés de calcul est le niveau de CAPEX Cout d'investissement initial, quel que soit son mode de financement.

Il n'y a pas un auteur d'étude qui ne raisonne pas en fourchettes. **Cependant, les fourchettes présentées sont généralement trop larges pour permettre de conclure en toute rigueur.**

D'autres facteurs ont un effet sur les calculs :

- les paramètres suivants : durée de vie prévisionnelle de l'installation (a fortiori en milieu marin corrosif), facteur de charge moyen, taux d'actualisation
- le niveau retenu des OPEX Coûts fixes

2. Les coûts complets qui en résultent sont établis en fourchettes. **Ces fourchettes sont souvent larges et ne permettent donc pas de conclure en toute rigueur.**

source	CAPEX €/kW	LCOE €/ MWh	observations
LAZARD - Roland Berger	2850 à 4750	68 à 133	coûts complets
IRENA	2385 à 4544	50 à 103	hors coûts de démantèlement
SELECTRA	2010 à 2030	98 à 117	coûts pas tout à fait complets
ADEME	2010 à 3100	56 à 88	coûts certainement non complets
CEREME	2200 à 2692	92 à 104	coûts complets

Les moyennes respectives sont 100 €, 106 €, 81 €, 72 € (coûts non complets), 98 €.

Or le Premier Ministre a évoqué lors du débat à l'AN le 28 avril 2025 une fourchette de 70 à 80 €/MWh, en précisant « *y compris les coûts de raccordement* ».

Toutefois, et si l'on prend soin d'écarter l'étude de l'ADEME de 2020 qui n'est pas documentée et qui par surcroît s'appuie sur des coûts manifestement non complets :

- la fourchette du Premier Ministre correspond à la partie basse des fourchettes les plus optimistes.
- son « *y compris les coûts de raccordement* » est non réaliste, car il reviendrait à dire que hors coûts de raccordement ces coûts seraient dans la fourchette 50 à 60 €/ MWh, ce qui se rattacherait à des Capex impossibles à tenir, de l'ordre de 1200 €/KV.

Il convient donc de retenir que **le coût de production de l'éolien posé au sol se situe au mieux entre 100 et 110 €/ MWh.**

CONCLUSION :

L'éolien « posé au sol » n'est pas un bon placement au sens où l'entendait le premier Ministre lors du débat à l'Assemblée nationale le 28 avril 2025 : face à un nucléaire de série industrielle appelé à un coût complet entre 70 et 80 €/MWh, il est durablement loin du compte.

Loin du compte parce que (1) rien ne fera notablement baisser les Capex ; (2) les données physiques sont là : durée de vie maximale 20 ans, facteur de charge moyen 30 à 35% dans le meilleur des cas ;(3) il faut tenir compte des conditions naturelles de leur implantation : profondeur, nature du sol granitique ou plus friable, etc.

Il faut enfin rappeler que le « posé au sol » ne remplit pas non plus les 3 autres critères devant structurer la stratégie énergétique de la France, non plus que le critère environnemental.

ANNEXES

1. un cas concret, Saint Brieuc 2021-2024 : 179 €/ MWh

https://actu.fr/bretagne/saint-brieuc_22278/les-chiffres-vertigineux-du-parc-eolien-de-la-baie-de-saint-brieuc_61625275.html

Un Capex de 2,4 Mds € pour 496 MW, soit 4838 €/kW, sans les raccordements et probablement sans les coûts de démantèlement.

Deux fois plus cher que les moyennes de fourchettes : pas illogique car sous-sol granitique.

Selon le tableur du Cérémé, toutes choses égales par ailleurs il en résulterait un coût complet de 179 €/MWh.

2. ce qu'en dit le Cabinet Wood Mackenzie - nov. 2024 : 218 €/ MWh en moyenne

