

Forum *Mers & Océan*

Panorama des Energies Marines Renouvelables

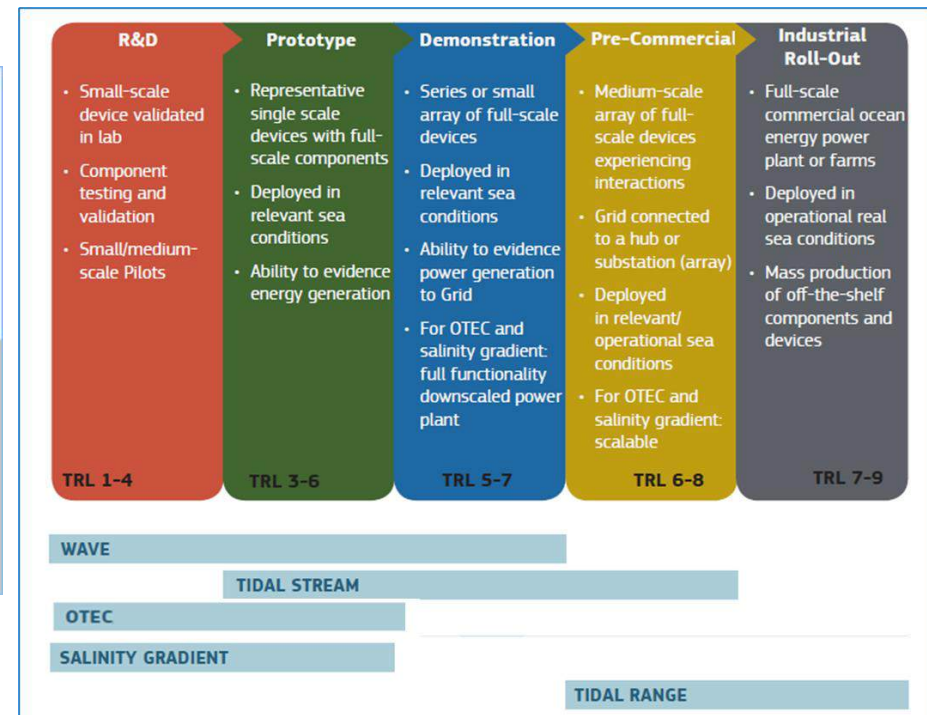
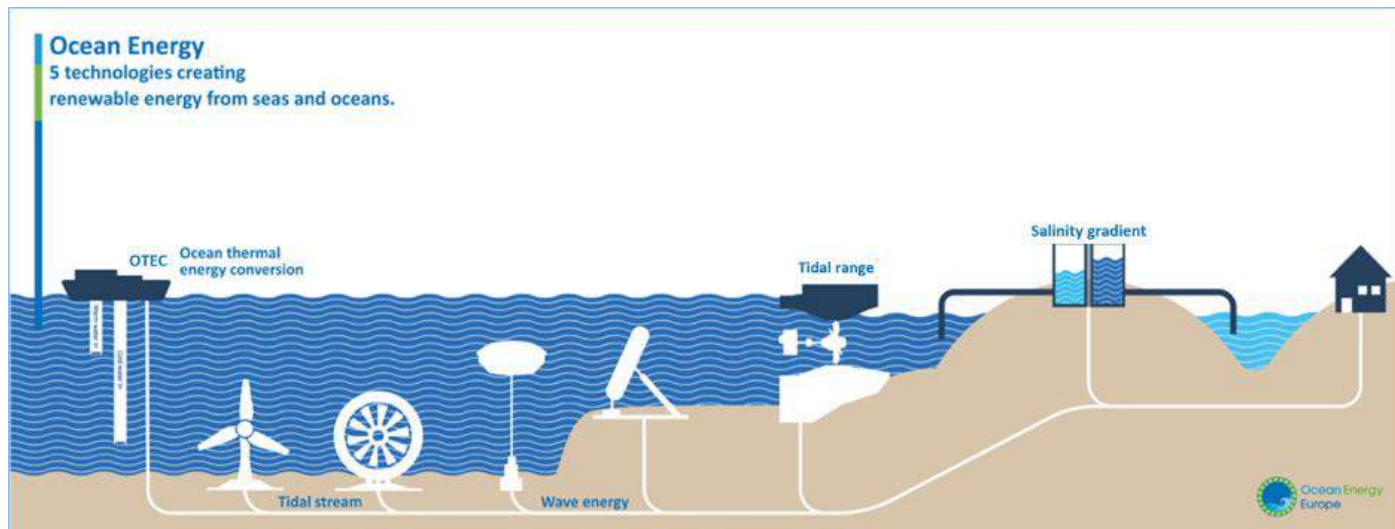
Vincent de Laleu

13 janvier 2026



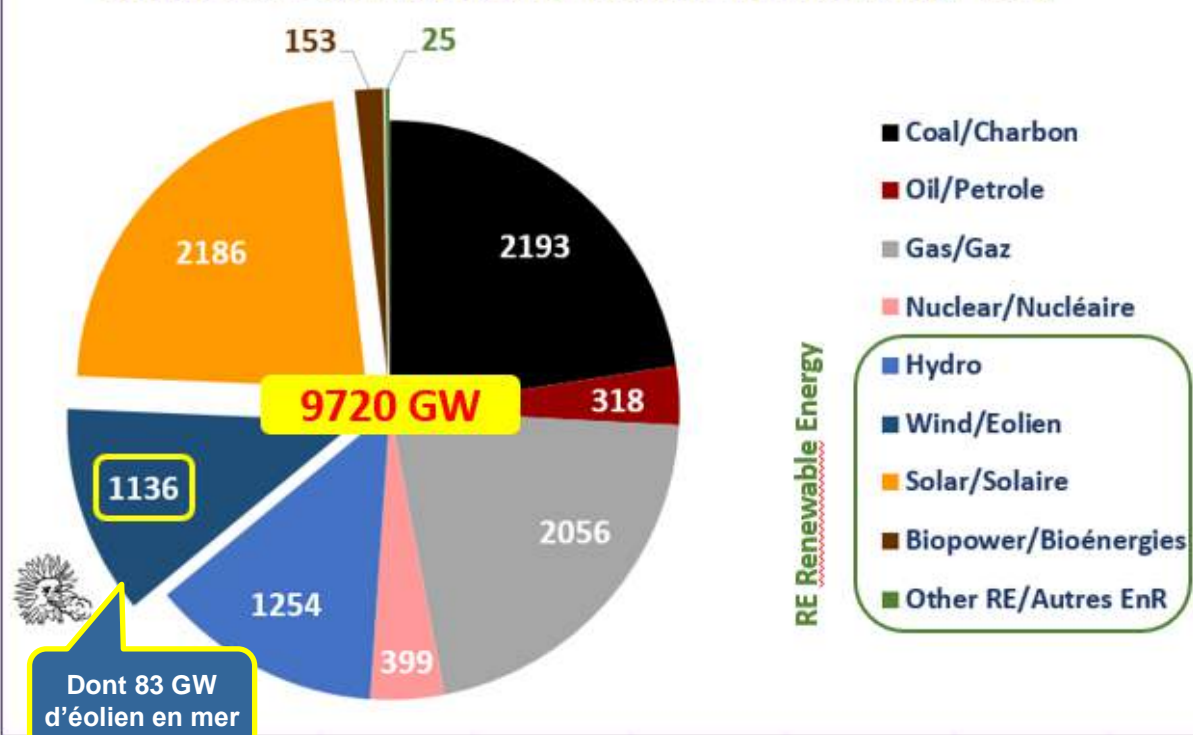
LES ENERGIES MARINES RENOUVELABLES (EMR)

- Principales filières électrogènes des EMR* (*Marine Energy – Ocean Energy*)
 - Eolien en mer posé et flottant (*Bottom Fixed and Floating Offshore Wind*) : exploitation de l'énergie cinétique du vent en mer.
 - Marémoteur (*Tidal Range*) : exploitation de l'énergie potentielle des masses d'eau mues par les marées.
 - Hydrolien (*Tidal Stream/Current – Hydrokinetic Energy*) : exploitation de l'énergie cinétique des courants de marées (ou océaniques – *Deep Ocean Current*).
 - Houlomoteur (*Wave Energy*) : exploitation de l'énergie des vagues ou de la houle.
 - Energie Thermique des Mers - ETM (*Ocean Thermal Energy Conversion - OTEC*) : exploitation du gradient de température entre les eaux de surface et celles au fond des océans (zones équatoriales).
 - Energie Osmotique (*Salinity Gradient*) : exploitation de la différence de salinité entre deux masses d'eau (pression osmotique).



PUISSANCE INSTALLÉE ET PRODUCTION ÉLECTRIQUE EN 2024

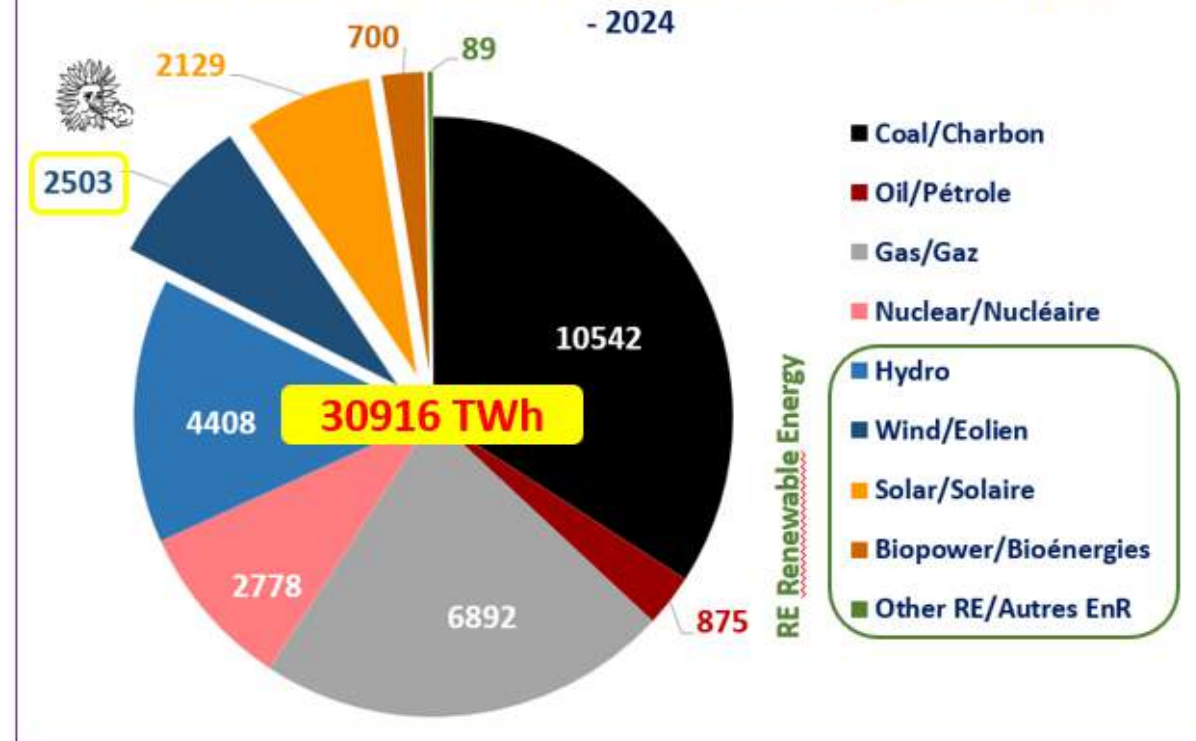
World Power Capacity/Capacité Electrique Mondiale (GW) - 2024



2024 : +846 GW de nouvelles capacités installées, dont +736 GW de Renouvelables

- **Eolien : +117 GW dont +8 GW offshore**
- **Solaire : +597 GW**
- **Hydro.* : +16.2 GW**
- **Autres EMR : +8 MW (total 530 MW installés)**

World Electricity Generation/Production Electrique Mondiale (TWh) - 2024



2024 : +1190 TWh d'électricité produite, dont +861 TWh fournis par les Renouvelables (32%)

- **Eolien : +8% (+182 TWh). 8,1%**
- **Solaire : + 28.6 % (+474 TWh). 6,1%**
- **Hydro. : +4.3% (+182 TWh). 14,3%**
- **Autres EMR : +? (total 1 TWh)**

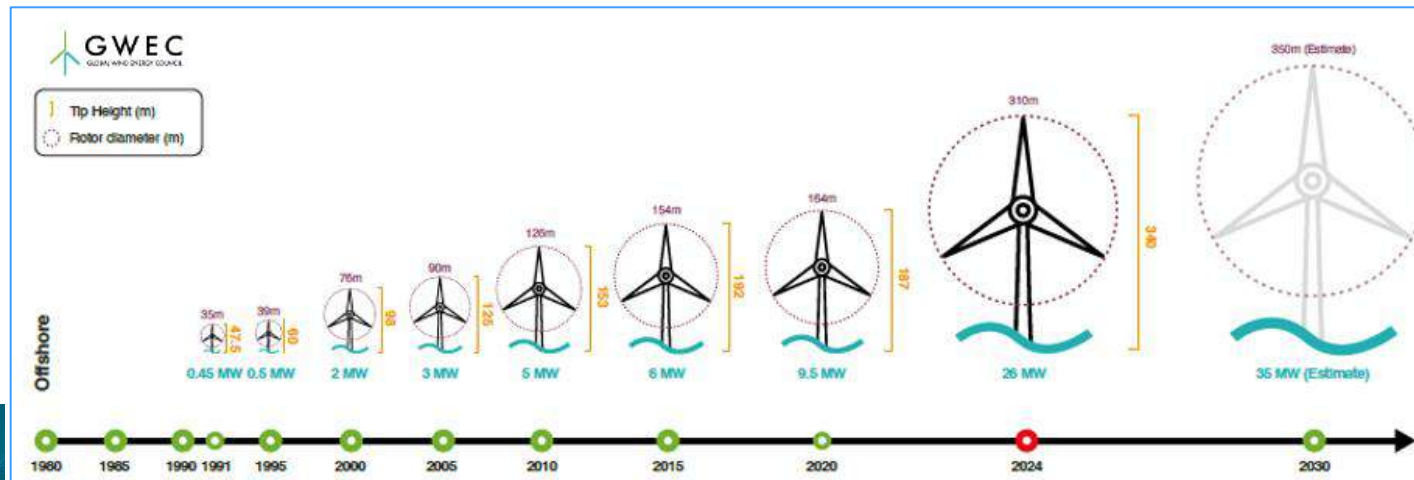
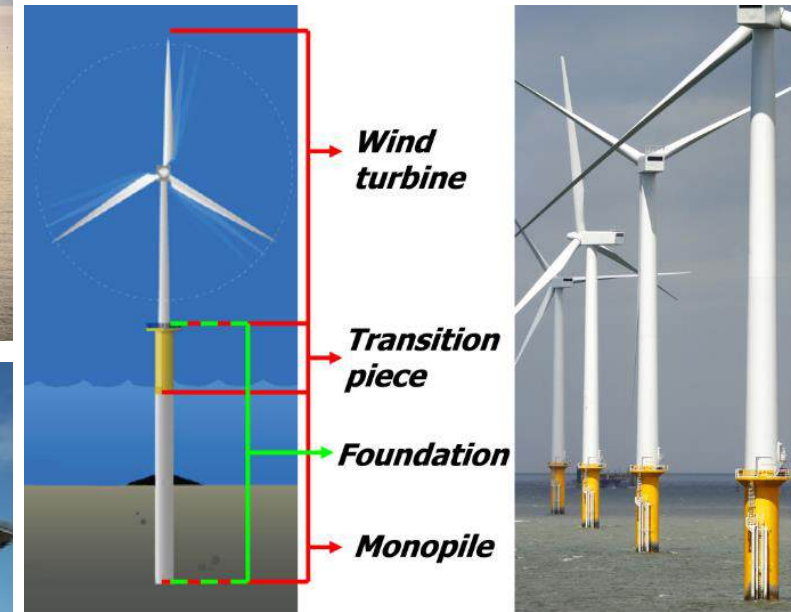
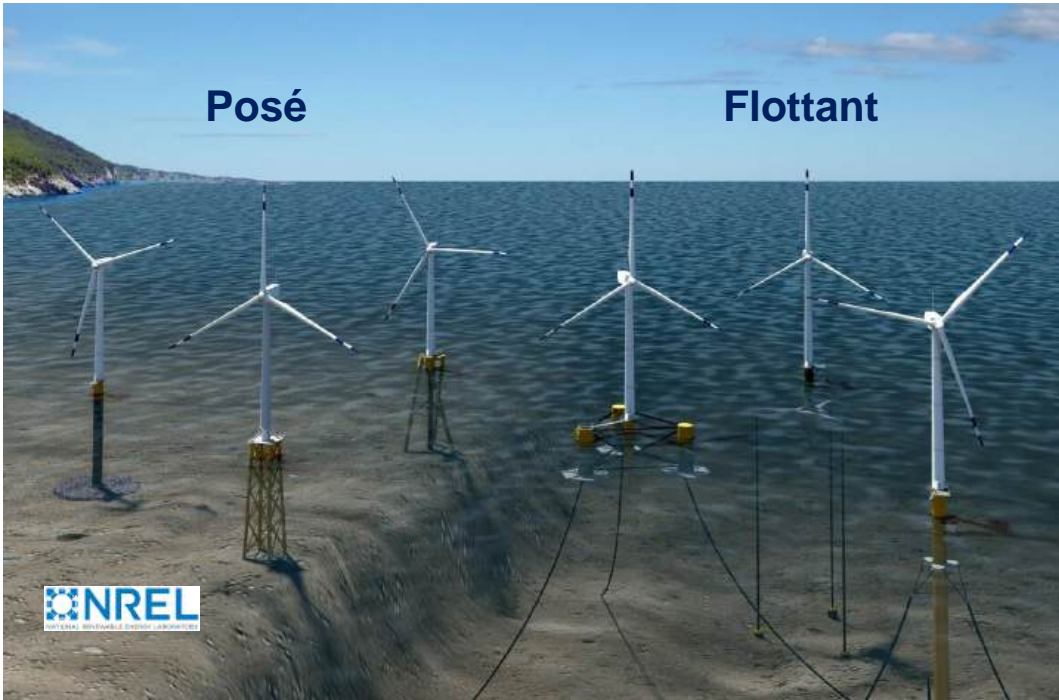
L'ÉOLIEN EN MER, L'ÉNERGIE DU VENT EN MER



ÉOLIEN EN MER

Posé

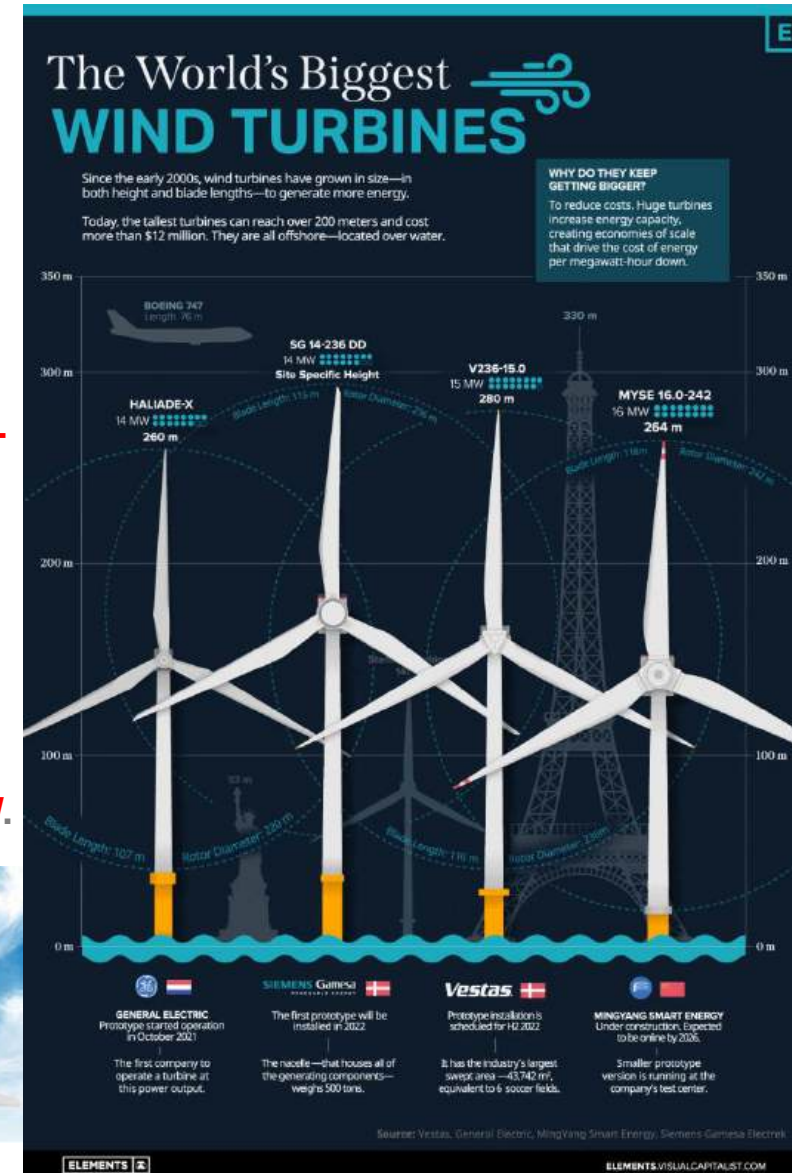
Flottant



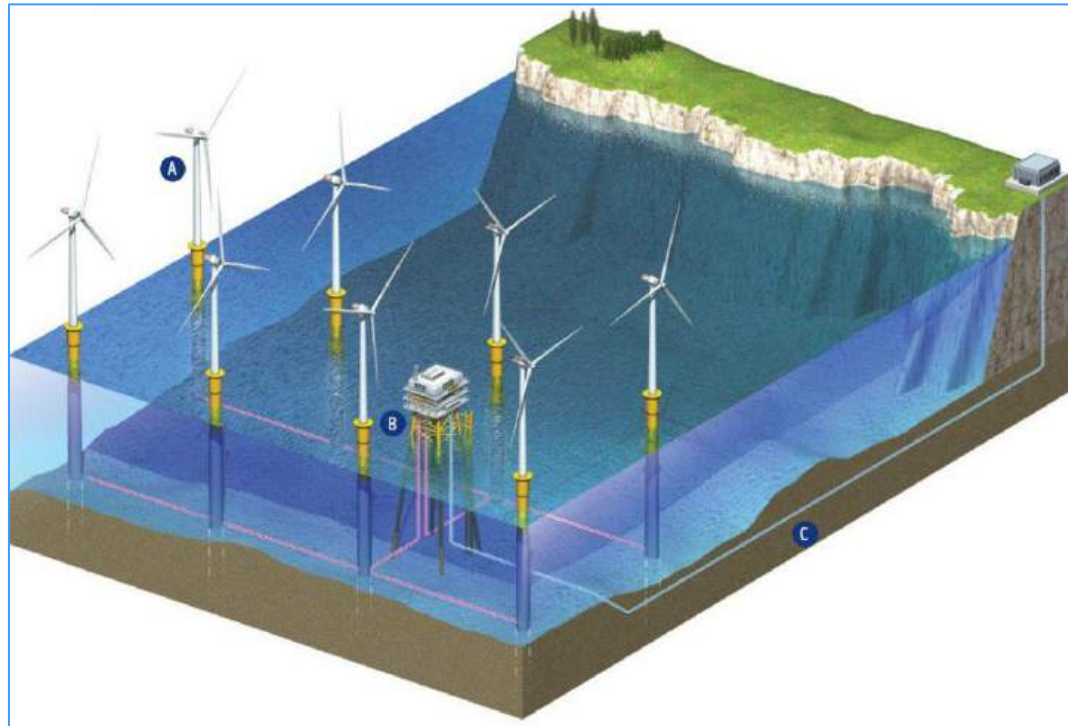
COURSE VERS DES ÉOLIENNES EN MER DE 20 MW+



- Turbines commercialisées / **En développement** / **Futures turbines annoncées**
- Siemens Energy : SG 9-167; SG 11-200; SG 14-222; SG 14-236. **SG 21-276.**
- Vestas : V164-10MW; V174-9.5MW; V236-15MW.
- GE Vernova : Haliade-X 12-13-14MW (rotor 220 m). **Haliade-X 15.5MW. Haliade-X 18MW (250 to 275 m rotor).**
- Mingyang Smart Energy : MySE 8-10MW 230-250m rotor; MySE 11-12MW 230-242m; MySE 14-16 242-260m; MySE 18.X-20MW 260-292m. **MySE 22-310; MySE 24-290; Ocean-X 50MW (2x25MW) flottante.**
- Goldwind : GWH 171/191-6MW; GWH 175-8MW; GWH 242-12MW; GWH 252-16MW; **GWH 300-22MW.**
- Dongfang Electric Co. (DEC) : 8-10MW-185; 13MW-211; 18MW-260. **17MW-262 (flottante); 26MW-310 (record de pale de 153 m !).**
- CRRC : CWT 9-10-11MW-230; CWT 18MW-260. **20MW-260 (1^{er} proto. flottant).**
- Envision : EN 256-8.5MW; EN 252-18MW. **EN 256-16.7MW prototype. EN 256-18MW.**



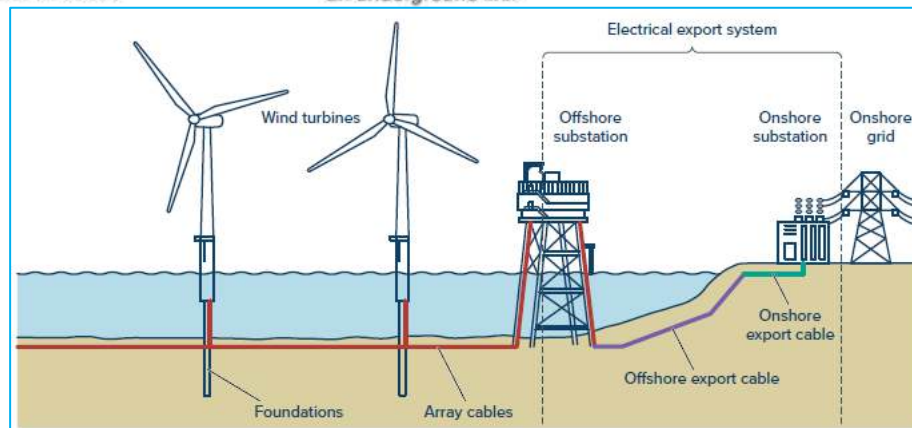
PARC ÉOLIEN EN MER



A The turbine converts wind energy into electrical energy

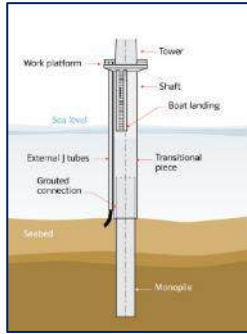
B The turbines are connected by underground cables to a substation at sea

C The substation at sea is connected to the grid by both a submarine and an underground link

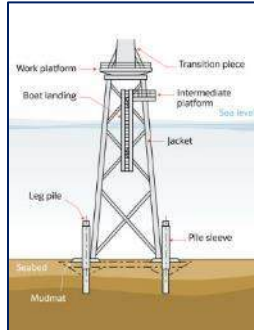


PRINCIPALES FONDATIONS POSÉES

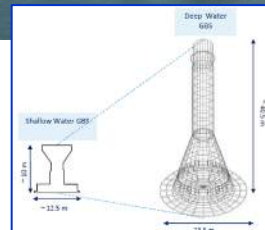
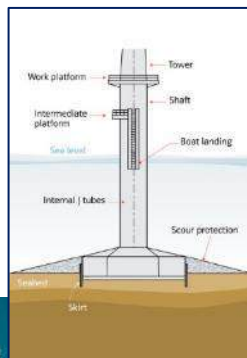
- Monopieu : solution pour fonds marins meubles. Jusqu'à 10 m+ de diamètre – 2200 t!



- Jacket : eaux plus profondes et fonds marins moins meubles. Fondation des sous-stations en mer.

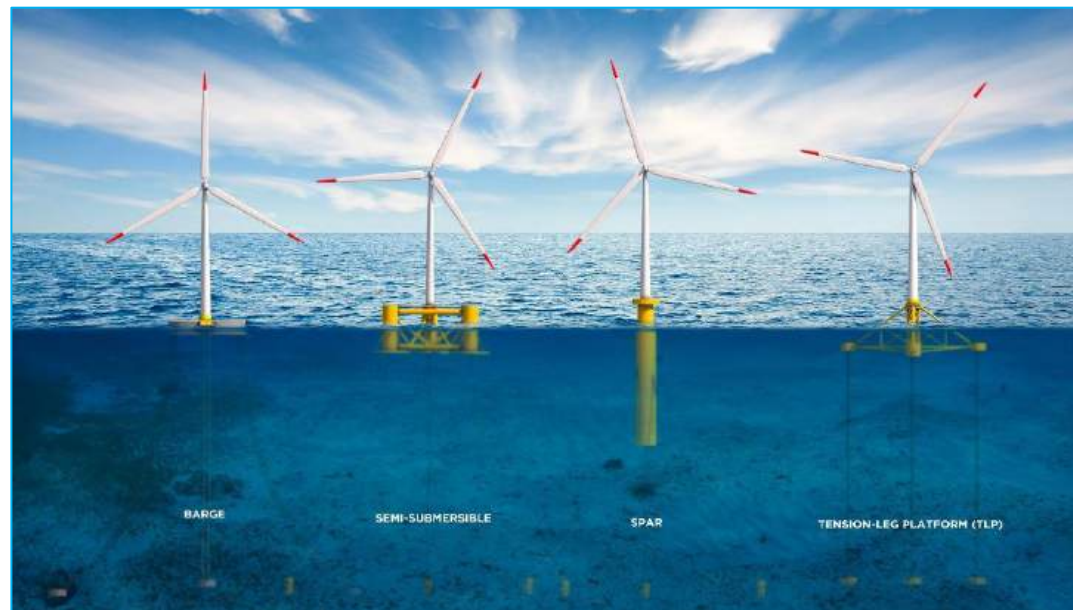


- Fondation gravitaire : différents concepts, pour fonds marins durs.

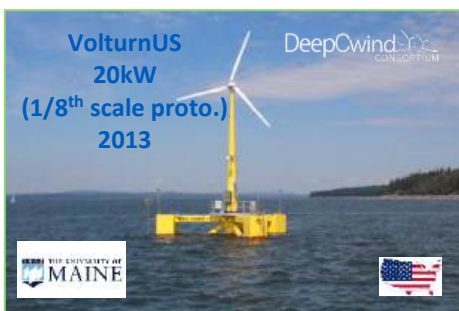


L'ÉOLIEN FLOTTANT

- Exploitation de sites plus au large et/ou plus profonds (>70-80 m, jusqu'à 1000 m ?).
- Des défis et challenges à relever :
 - Inclinaison maximale de l'éolienne : 5° (jusqu'à Force 10 !). Stabilité de la plateforme !
 - Accélération maximale de la nacelle : 0,2G.
 - Complexité de la modélisation flotteur-éolienne (couplage aéro-hydrodynamique).
 - Conception des lignes d'ancrages.
 - Câbles électriques sous-marins HT et THT dynamiques.
 - Conditions de mers et de vents plus difficiles...
- Plusieurs concepts de plateformes flottantes à l'étude dans le monde...
- 4 principaux concepts : "Barge" (profondeur >40m) - "Semi-Submersible" (>40m) - "Single Point Anchor Reservoir" SPAR (>100m) - "Tension Leg Platform" TLP (>60m).



EXEMPLES DE PROTOTYPES ET DE FERMES PILOTES FLOTTANTES



Decommissioned in 2020/2021 (unprofitable due to low availability)



Kincardine 50MW farm
MHI Vestas
(2MW + 3x9.5MW)
2018-2021



EOLIEN EN MER : 83,2 GW DE PUISSANCE INSTALLÉE (2024)

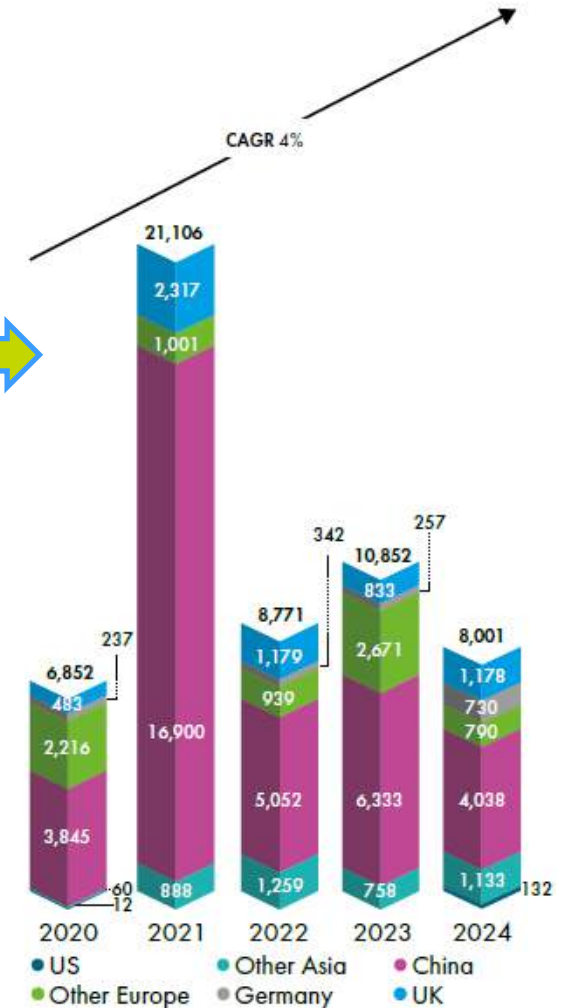
En 2024, 31 nouveaux parcs éoliens en mer mis en service (8GW) dont 23 en Asie, 7 en Europe et 1 aux USA. 23 GW en construction à fin 2024.

New offshore wind installations (MW)

● Europe
● China
● Rest of world



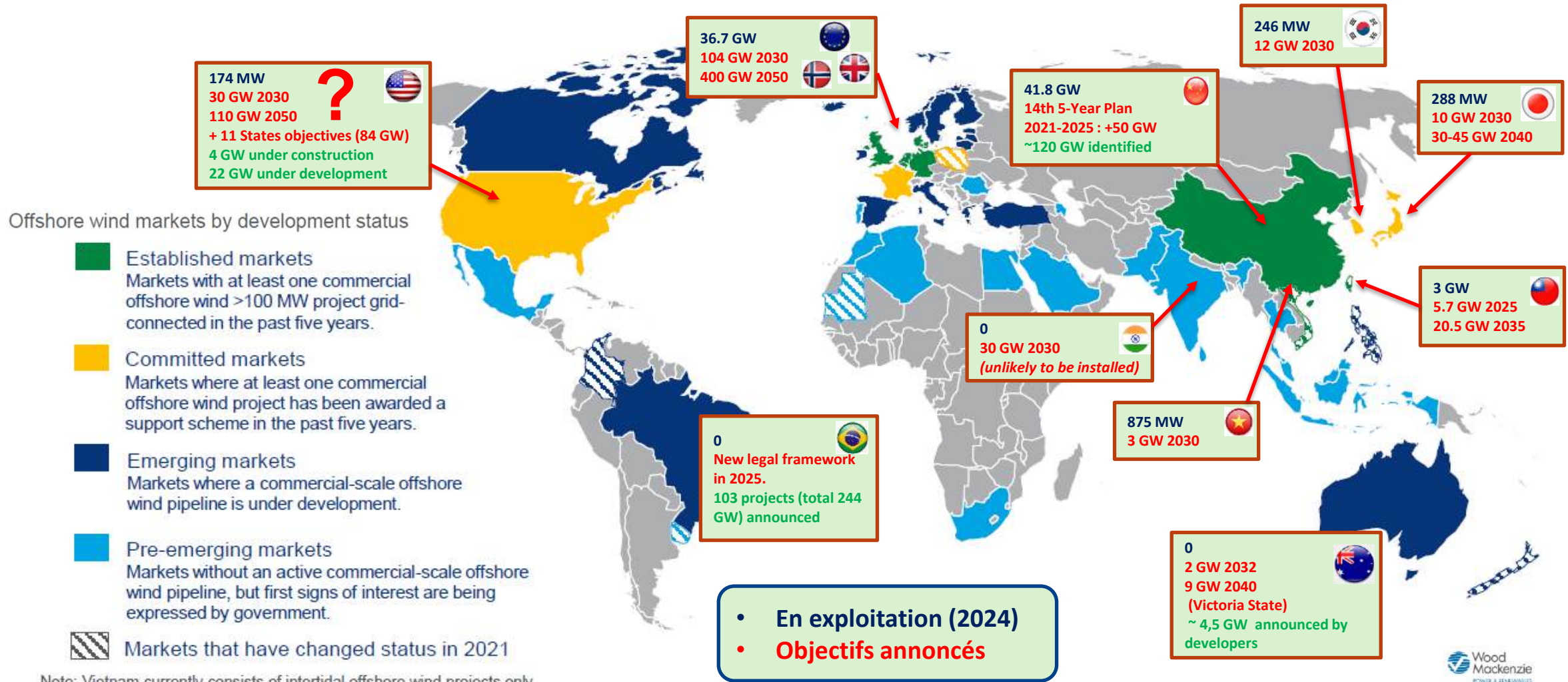
New offshore installations (MW)



2024 : +8 GW

- Chine: +4 GW
- Europe : +2.7 GW (dont Pays-Bas: + 132 MW – UK: + 1.2 GW – France: +658 MW – Allemagne: +730 MW)
- Taïwan : +933 MW
- Japon : +100 MW
- Corée du Sud : +100 MW
- USA : +132 MW

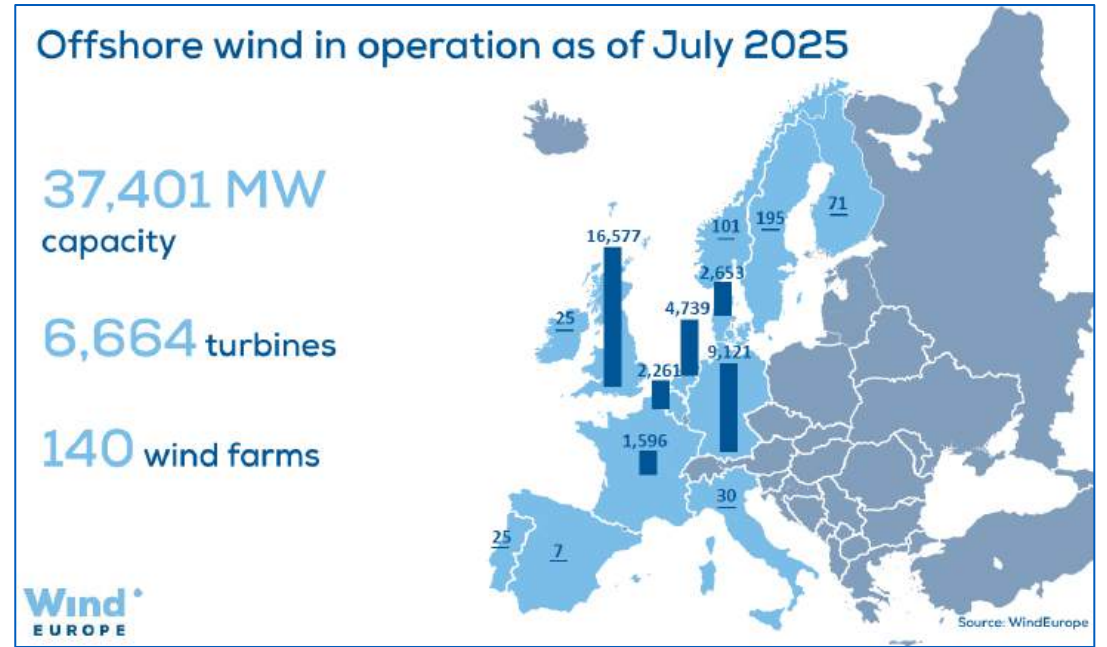
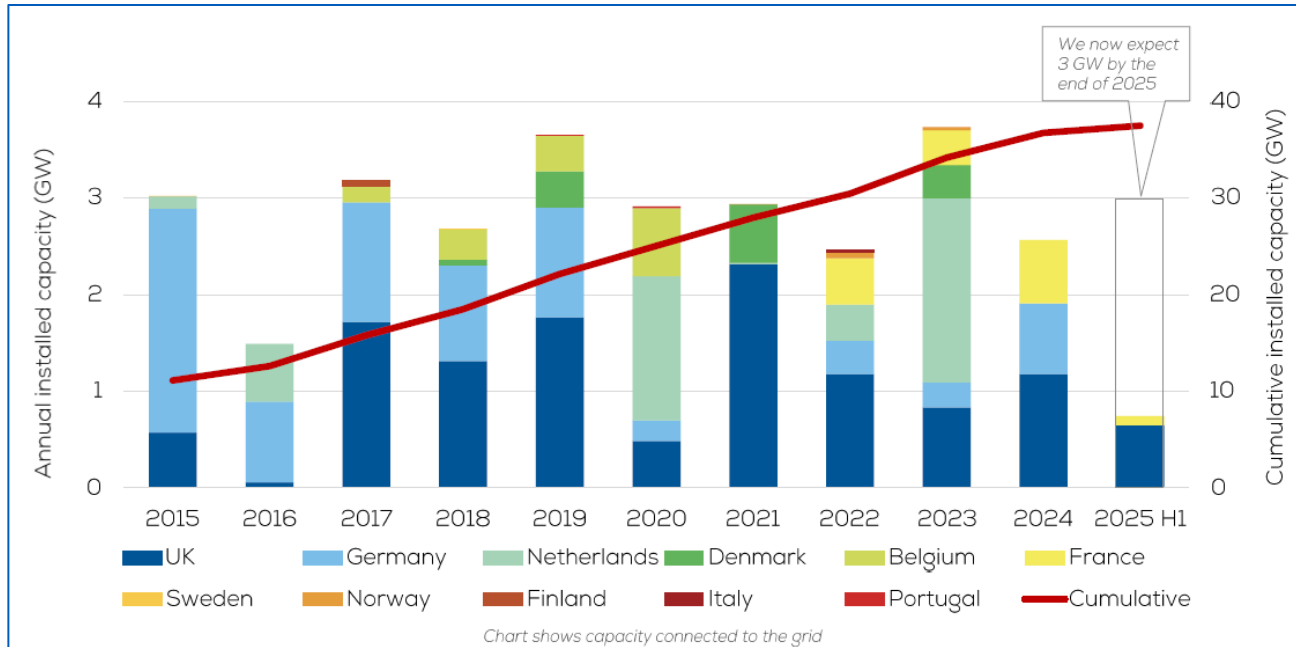
MARCHÉ MONDIAL DE L'ÉOLIEN EN MER - 2024



Note: Vietnam currently consists of intertidal offshore wind projects only.

Source: Wood Mackenzie

EUROPE – ÉOLIEN EN MER – 2024 & MI-2025



Europe – Eolien en mer – Nouvelles installations annuelles 2014-2024 + mi 2025

Europe : total 37,4 GW d'éolien en mer à mi-2025 dont 233 MW de flottant (+2.6 GW installés en 2024 & +741 MW installés à mi-2025) 12 GW en construction (12 parcs)

Nouvel objectif de l'UE27 pour l'éolien en mer de déc. 2024 : 86 GW en 2030 et 360 GW en 2050 !

COUNTRY	NO. OF WIND FARMS CONNECTED	NO. OF TURBINES CONNECTED	CUMULATIVE CAPACITY (MW)
UK	47	2,921	16,577
GERMANY	33	1,639	9,121
NETHERLANDS	10	670	4,739
DENMARK	17	672	2,653
BELGIUM	11	399	2,261
FRANCE	6	229	1,596
SWEDEN	5	80	195
NORWAY	3	13	101
FINLAND	3	19	71
ITALY	1	10	30
IRELAND	1	7	25
PORTUGAL	1	3	25
SPAIN	2	2	7
Total	140	6,664	37,401 MW



ÉOLIEN EN MER EN FRANCE

- Objectifs : 3,6 GW en 2030, 18 GW en 2035 et 45 GW en 2050 (PPE).
- Depuis 2011, 9 Appels d'Offres (AO) ont été lancés et le 10° est prévu en 2026 (8 à 10 GW – 5 parcs dont 3 flottants).

Premier appel d'offres (AO1) éolien en mer (lancé en 2011)

- Saint-Nazaire (Pays de la Loire), 480 MW : 2022 (en service)
- Fécamp (Normandie), 498 MW : 2023/2024 (en service)
- Saint-Brieuc (Bretagne), 496 MW : 2023/2024 (en service)
- Courseulles-sur-Mer (Normandie), 448 MW : 2027 (en travaux)

**3 parcs 100% en service (1474 MW)
Courseulles & Yeu-Noirmoutier
partiellement en service**

Deuxième appel d'offres (AO2, 2013)

- Yeu-Noirmoutier (Pays de la Loire), 500 MW : 2025 (en travaux)
- Dieppe-Le-Tréport (Normandie), 500 MW : 2026 (en travaux)

Troisième appel d'offres (AO3, 2016)

- Dunkerque (Hauts-de-France), 600 MW : 2028 (autorisé - en développement)

Quatrième appel d'offres (AO4, 2021)

- Centre-Manche 1 (Normandie), 1 000 MW : 2032 (en développement)

Cinquième appel d'offres (AO5, 2021)

Flottant

- Bretagne Sud 1 (Bretagne), 250 MW : 2032 (études et préparation du dossier de demande d'autorisations)

Sixième appel d'offres (AO6, 2022)

Flottant

- Golfe de Fos 1 (Provence-Alpes-Côte-d'Azur), 250 MW : 2031 (études et préparation du dossier de demande d'autorisations)
- Narbonnaise 1 (Occitanie), 250 MW : 2032 (études et préparation du dossier de demande d'autorisations)

Septième appel d'offres (AO7, 2022)

- Oléron 1 (Nouvelle-Aquitaine), 1 000 à 1 200 MW (AO infructueux)

Huitième appel d'offres (AO8, 2022)

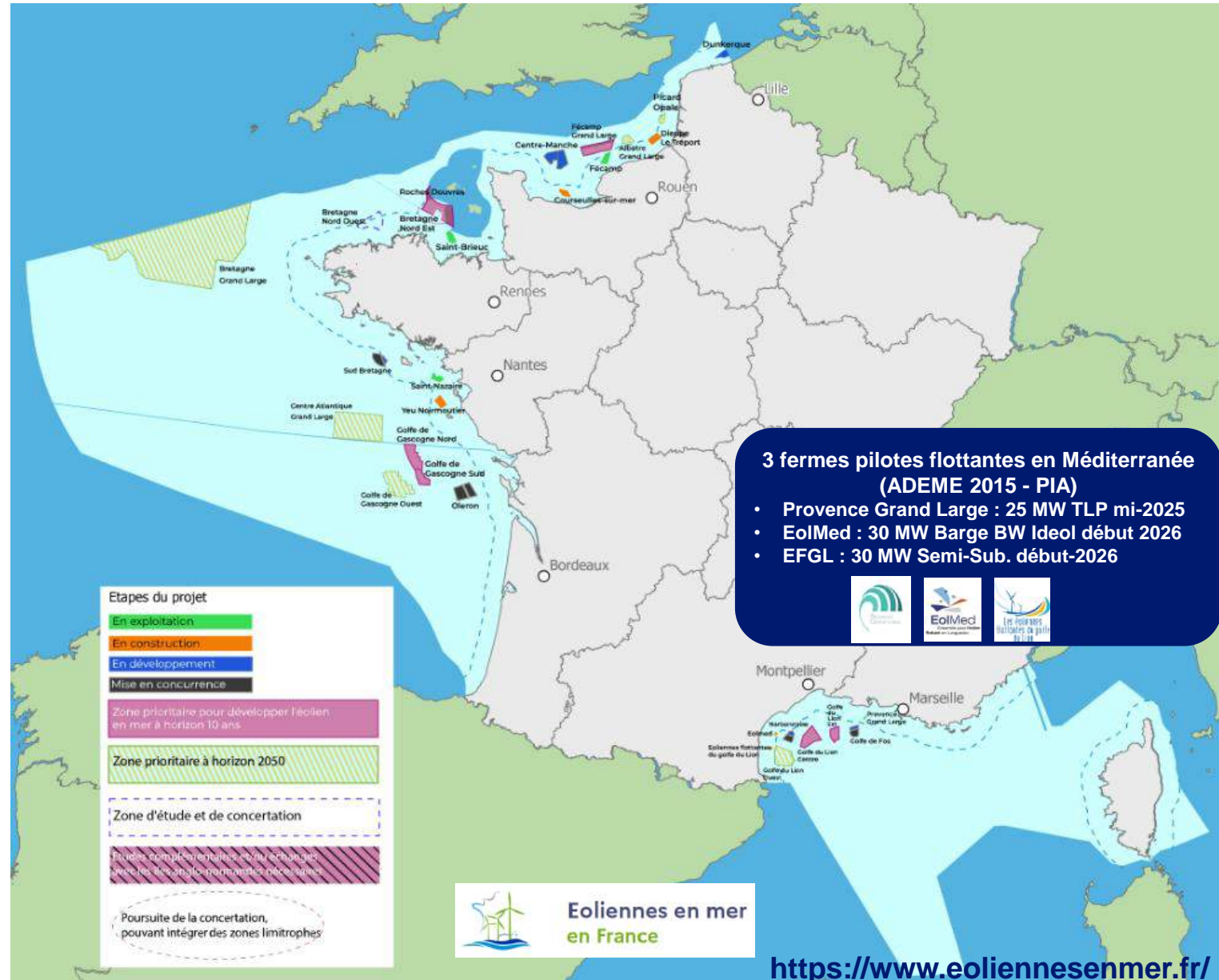
- Centre-Manche 2 (Normandie), 1 500 MW : 2033 (études et préparation du dossier de demande d'autorisations)

Neuvième appel d'offres (AO9, 2024)

Flottant

Cet appel d'offres porte sur des zones identifiées lors des débats publics 2021/2022.

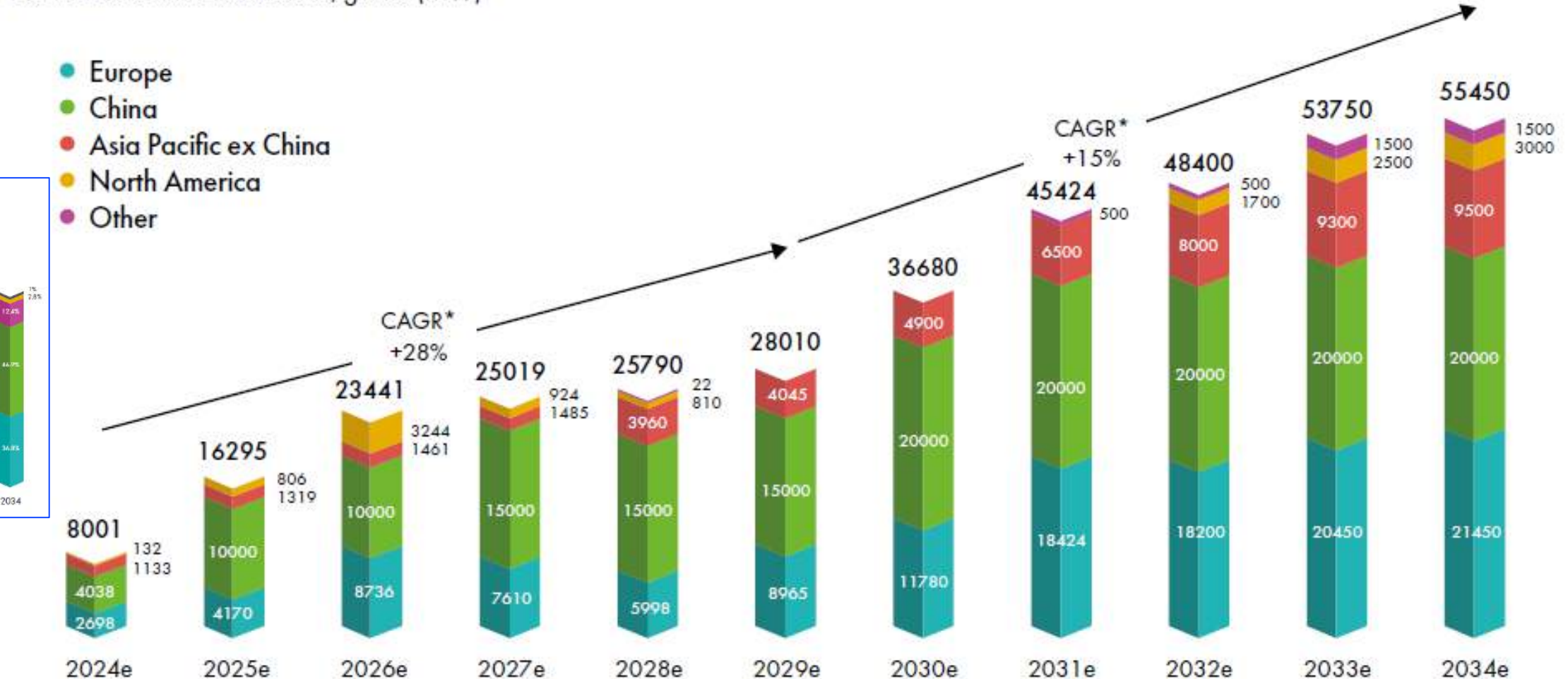
- Extension du projet Bretagne Sud 1 de l'AO5, 400 à 550 MW : 2032/2034
- Extensions des projets Narbonnaise 1 et Golfe de Fos 2 de l'AO6, 2 x 450 à 550 MW : 2032/2034



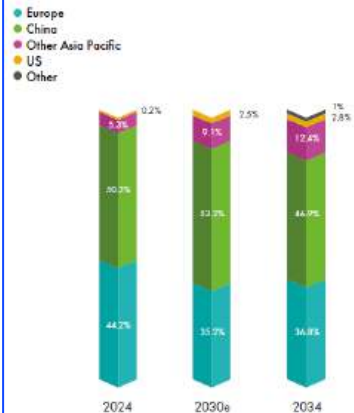
PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT DE L'ÉOLIEN EN MER

New offshore wind installations, global (MW)

- Europe
- China
- Asia Pacific ex China
- North America
- Other



Total added between 2025 and 2034



$$CAGR = \left(\frac{V_{fin}}{V_{debut}} \right)^{1/t} - 1$$

CAGR = taux de croissance annuel composé

V_{debut} = valeur initiale

V_{fin} = valeur finale

t = durée en années

* Compound Annual Growth Rate.

Source: GWEC Market Intelligence, June 2025

Global offshore wind will grow more than seven fold by 2034, reaching up to 55 GW/year

PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT DE L'ÉOLIEN FLOTTANT

Roadmap of floating offshore wind commercialisation

Demo and trial phase
(2009-2021)

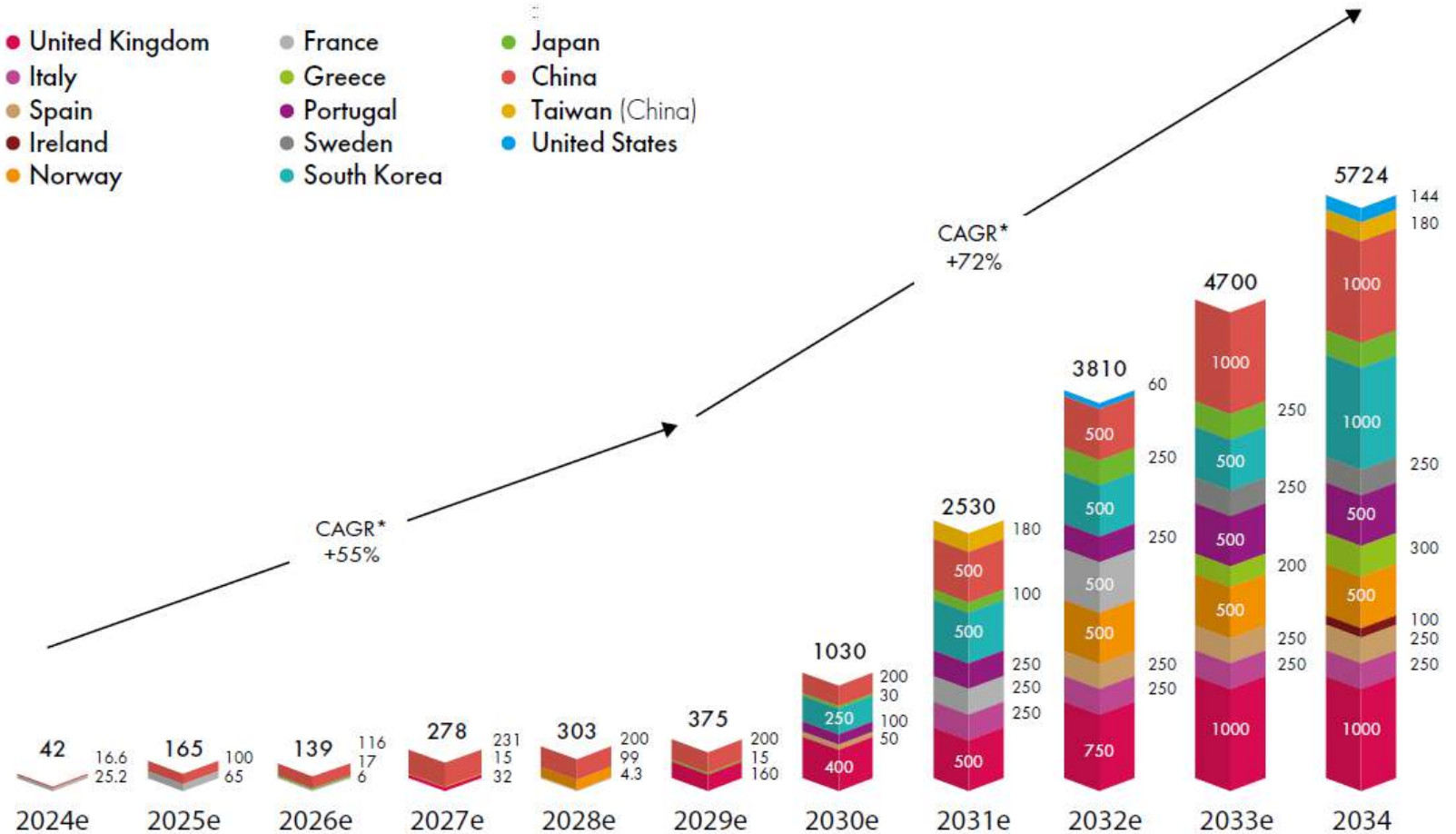
Pre-commercial phase
(2022-2029)

Commercial phase
(from 2030 onward)



New floating wind installations, Global (MW)**

- United Kingdom
- Italy
- Spain
- Ireland
- Norway
- France
- Greece
- Portugal
- Sweden
- South Korea
- Japan
- China
- Taiwan (China)
- United States



*Compound Annual Growth Rate., **Note: this floating wind outlook is already included in GWEC's global offshore wind forecast.
Source: GWEC Market Intelligence, June 2025





LA LOGISTIQUE NE DEVRAIT PAS SUIVRE LES OBJECTIFS...



EUROPE

Wind
EUROPE

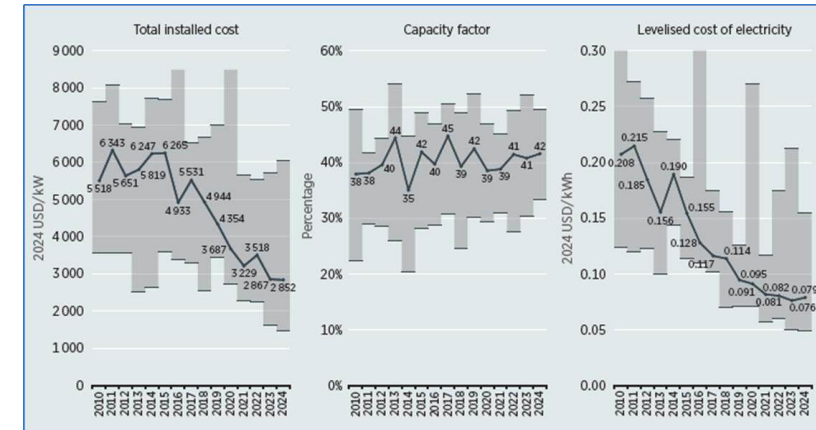
Current offshore supply chain capacity vs. capacity needed

Category	Current Capacity		Capacity needed to meet 2030 targets:
 Turbines	700 units/year	➔	Up to 1,300 units/year (x2)
 Foundations (bottom fixed)	Up to 300 units/year	➔	Up to 1,200 units/year (x4)
 Foundations (floating)	Up to 10 units/year	➔	Up to 100 units/year (x10)
 Vessels (installations, cable)	68 Vessels in operation	➔	124 Vessels in operation (x2)

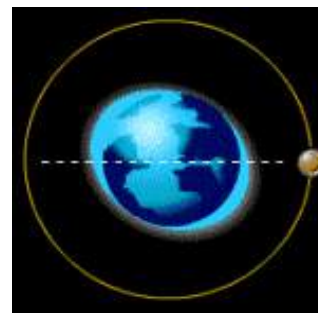


CONCLUSIONS - ENJEUX ET DÉFIS DE L'ÉOLIEN EN MER

- Poursuivre la stabilisation des coûts en dépit de la conjoncture (coût des matériaux, taux des financements élevés...).
- Rassurer les investisseurs... et pallier l'abandon des principaux majors pétroliers et gaziers (BP, Shell...).
- Simplifier l'obtention des permis.
- Rendre les enchères plus attractives pour les investisseurs (ex. « Contract for Difference » avec un « Strike Price » adapté).
- Réussir les premiers grands parcs d'éolien flottant (France, UK...).
- Poursuivre l'innovation dans l'installation et l'exploitation pour s'adapter aux nouvelles éoliennes géantes.
- Poursuivre les travaux de R&D sur les impacts environnementaux en construction et exploitation.
- Peut-être arrêter enfin la course à la taille des éoliennes ?
- S'adapter au contexte géopolitique (ex. aux USA avec l'arrêt des chantiers en cours et des futures développements...).
- Préparer les futures déconstructions ou « repowering » des premiers grands parcs en fin de concession.
- Mais comment répondre aux objectifs (trop) ambitieux ? Emplois & compétences, usines, ports, navires, câbles sous-marins, éoliennes...



LE MARÉMOTEUR, L'ÉNERGIE POTENTIELLE DES MARÉES



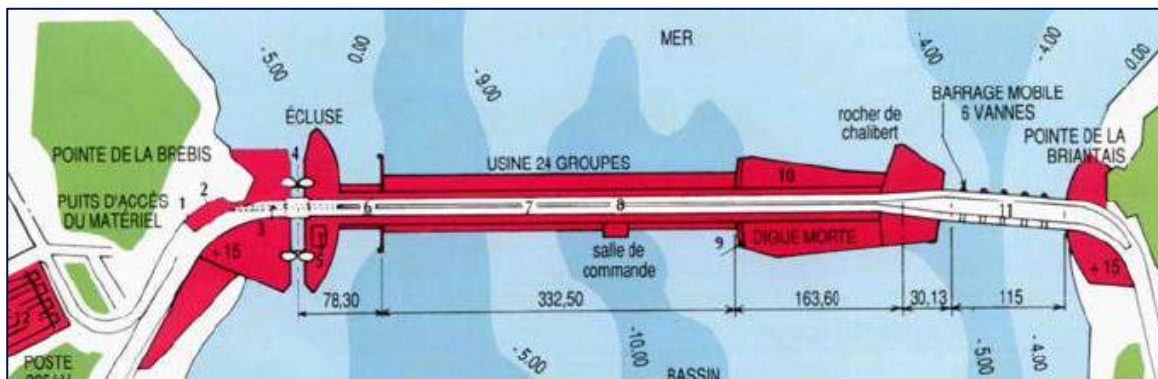
Centrale marémotrice d'Annapolis - Canada



Centrale marémotrice de Sihwa - Corée du Sud



Centrale marémotrice de la Rance - France



L'ÉNERGIE MARÉMOTRICE

- Utilisation de l'énergie potentielle des marées avec marnage important (> 5 m) : le flux et reflux de la marée remplissent ou vident alternativement un réservoir et actionnent des turbines hydrauliques.
- Réservoir = estuaire barré par un barrage ou nouvelle variante : bassin artificiel (lagon) au large ou côtier.

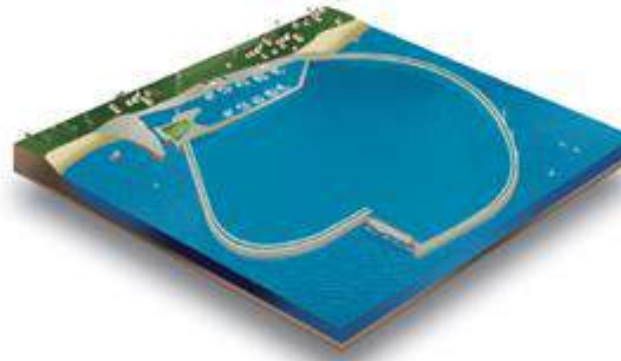
BARRAGE EN ESTUAIRE

Type la Rance



LAGON CÔTIER

Type projet Swansea Bay (UK)



LAGON OFFSHORE

Bassin isolé en mer
Pas de réalisation à ce jour



$$\text{Puissance} = k.H.Q \quad \text{Energie} = k'.S.H^2$$

- H : différence de niveau entre le réservoir amont (ex. estuaire) et le réservoir aval (ex. mer)
- Q : débit occasionné par la marée, résultant de la variation de niveau, du remplissage (flot) et vidage (jusant) du réservoir (estuaire ou bassin)
- S : surface du réservoir amont

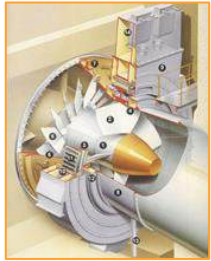
Points de repère pour un bassin de surface S (km²) présentant un marnage moyen H_m (en m)

$$H_m = 7 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad E \approx 40 \text{ GWh/an/km}^2$$

$$H_m = 5 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad E \approx 20 \text{ GWh/an/km}^2$$

$$H_m = 3,5 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad E \approx 10 \text{ GWh/an/km}^2$$

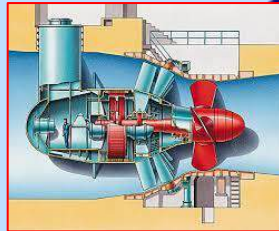
CENTRALES MARÉMOTRICES EN EXPLOITATION



Annapolis - 20 MW
(1984)



Arrêt en janvier 2019 de la centrale d'Annapolis en raison d'une avarie majeure de l'alternateur. L'exploitant Nova Scotia Power a décidé en février 2021 d'arrêter définitivement l'exploitation.



La Rance - 240 MW
(1966)



Kislogubskaya - 1,9 MW
(1968/2006)



Sihwa - 254 MW
(2011)



Jiangxia - 4,1 MW
(1980 /2015)



- Direct : turbinage réservoir vers mer
- Indirect : turbinage mer vers réservoir

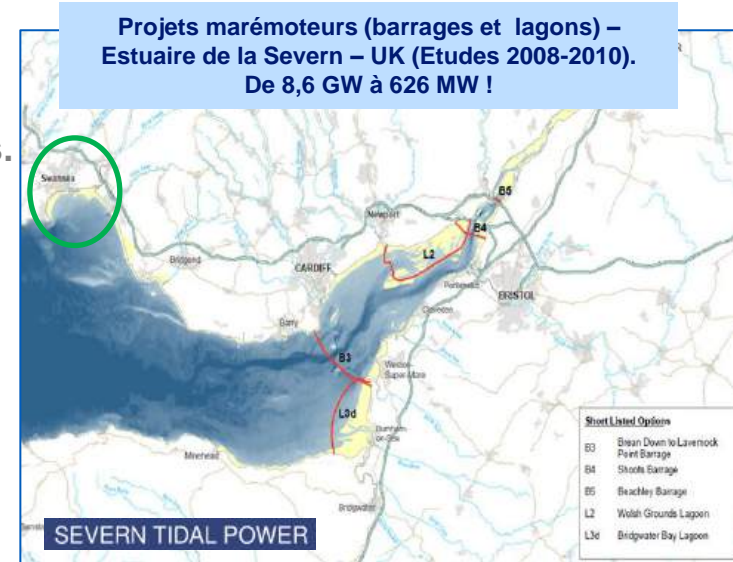
Pays	Nom	Turbines	Année de Mise en Service	Fonctionnement & Production	Marnage moyen/ Surface réservoir	Puissance installée
France	La Rance	24 Groupes Bulbes 10 MW	1966	Direct & Indirect - 540 GWh	8,5 m/22 km ²	240 MW
Canada	Annapolis	1 Groupe Straflo 20 MW	1984	Direct - 50 GWh	6,4 m/15 km ²	20 MW
Chine	Jiangxia	6 Groupes Bulbes 0,7 MW & 0,6 MW	1980-1985/ 2007/2015	Direct & Indirect - 12 GWh	5 m/1,4 km ²	4,1 MW
Russie	Kislogubskaya (Kislaya Guba)	1 Groupe Bulbe 0,4 MW 1 Turbine Orthogonale 1,5 MW	1968 2006	Direct - ?	2,3 m/1,1 km ²	0,4 MW 1,5MW
Corée du Sud	Sihwa	10 Groupes Bulbes 25,4 MW	2011	Indirect - 550 GWh (théorique)	5,6 m/43 km ²	254 MW

AVENIR DU MARÉMOTEUR - LAGONS ?

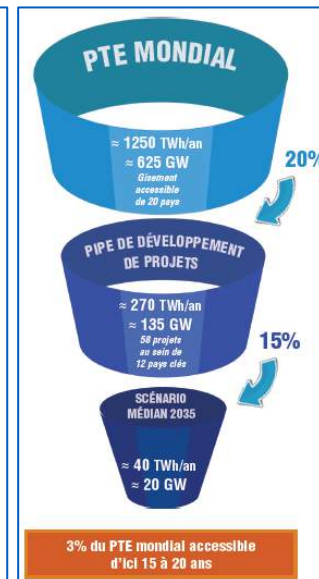
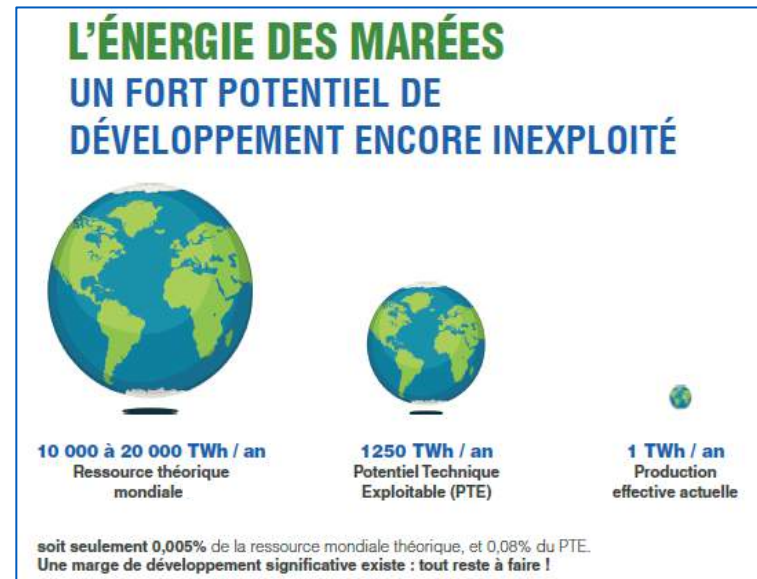
- Filière du marémoteur mature mais dont le développement est freiné par des contraintes technico-économiques (facteur de charge bas ~2200 h/an – CAPEX élevé...) et environnementales (fermeture d'estuaire, gestion des sédiments...). Peu de sites en estuaires.
- Concept du lagon plus adapté ? Toutefois, les quelques projets en cours n'aboutissent pas...



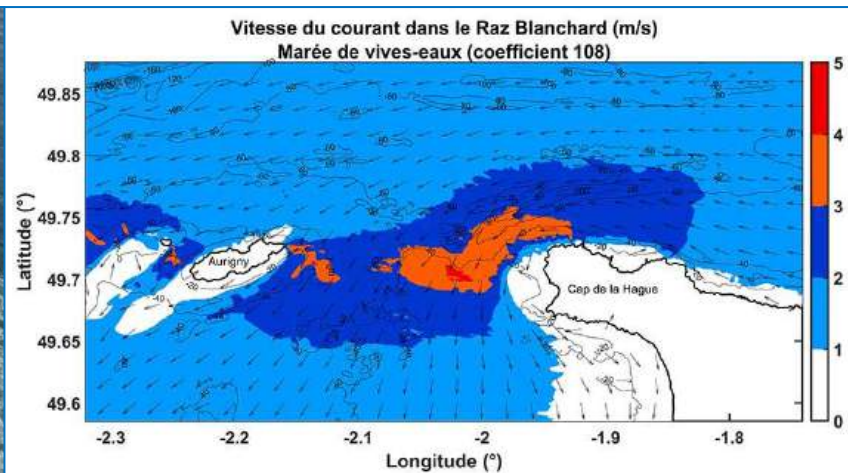
Projet Swansea Bay Tidal Lagoon depuis 2015... (UK)
Puissance : 320 MW (~500 GWh)
Bassin : 11,5 km²
Chute : 4,1 m - 8,5 m
Digue : 9,5 km
16 groupes bulbes (20 MW)
CAPEX : ~1,3 Mds £



Rapport SHF 2019

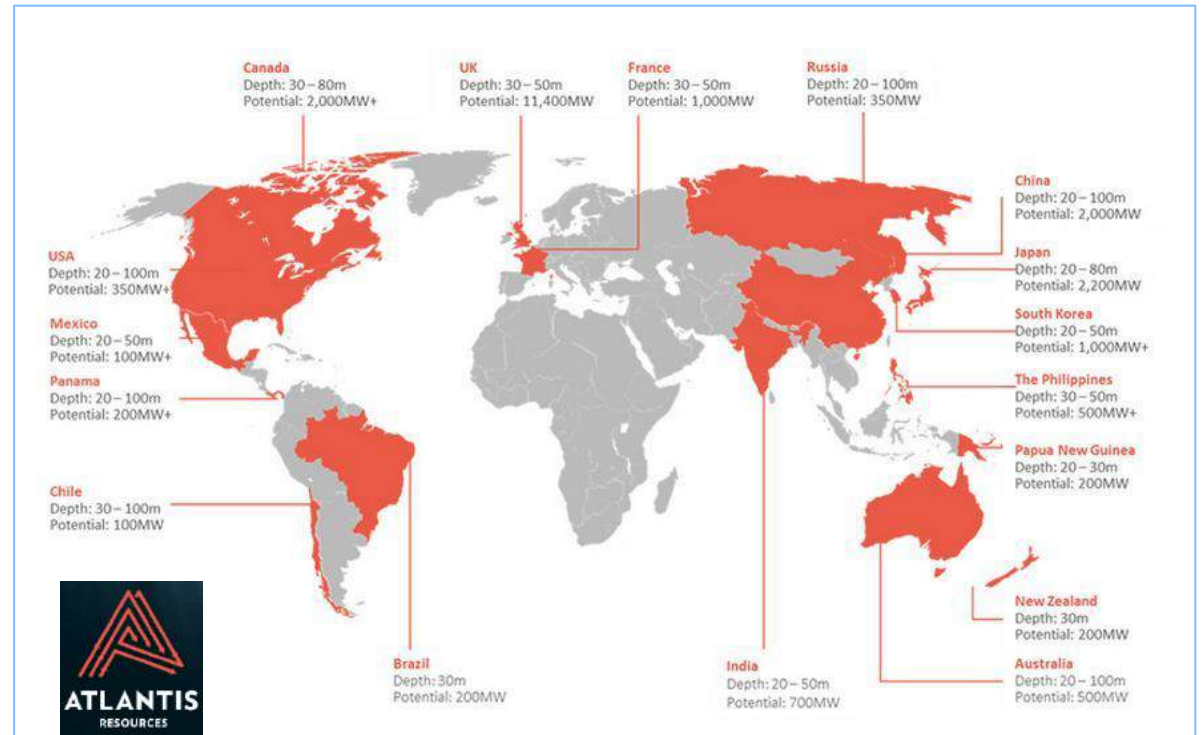
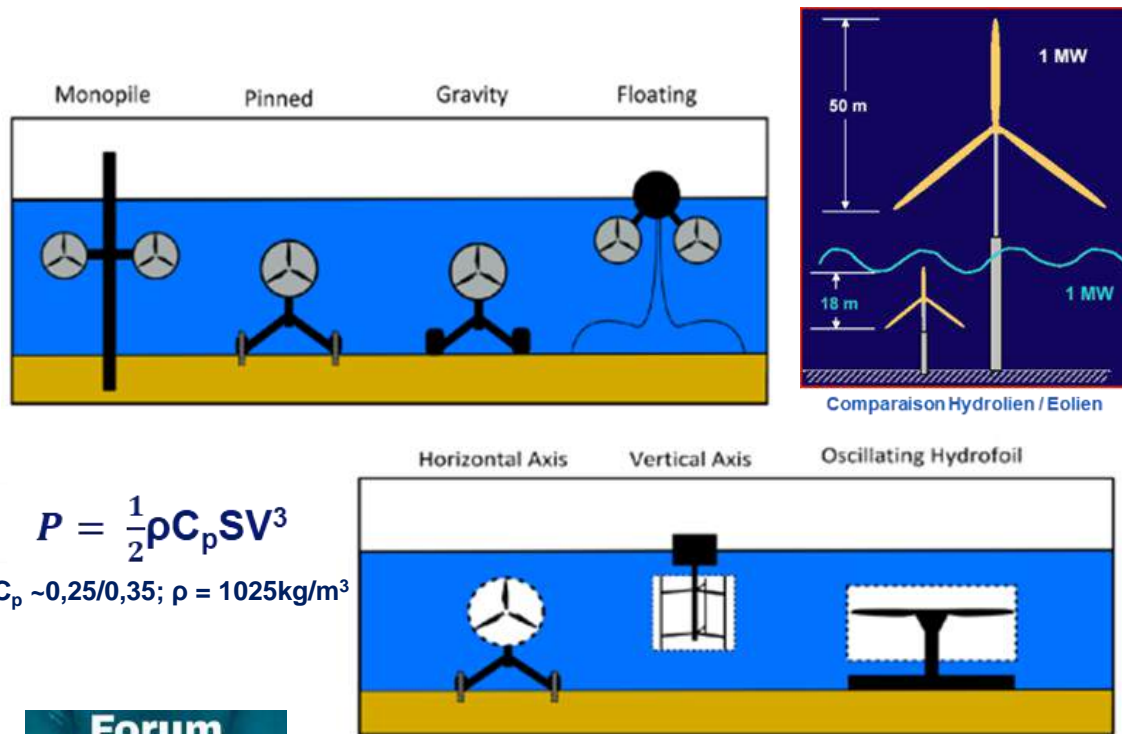


L'HYDROLIEN, L'ÉNERGIE DES COURANTS DE MARÉES



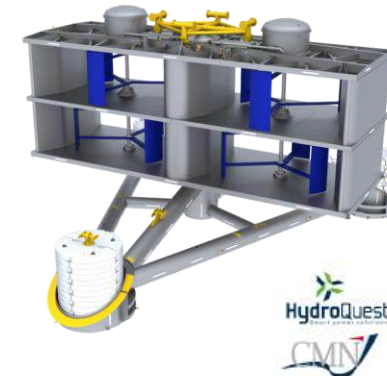
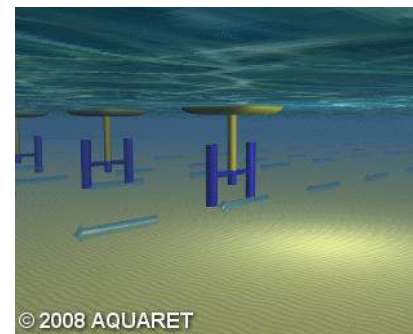
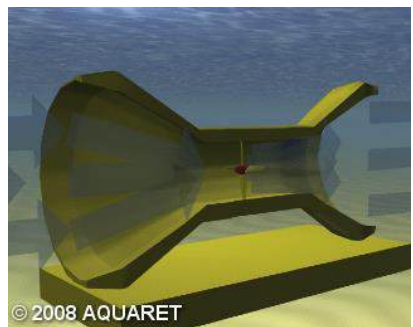
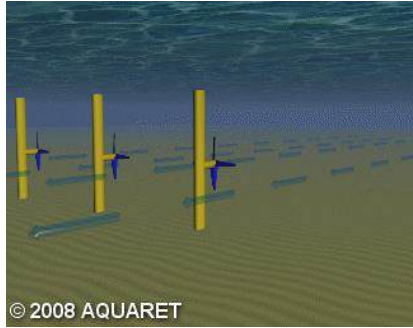
TECHNOLOGIES – HYDROLIENNES

- Les hydroliennes exploitent l'énergie cinétique des courants de marée. Elles peuvent être flottantes (exploitation des courants de surface) ou posées, voire ancrées, sur les fonds marins (profondeur maximale ~80 m).
- Une vitesse de courant minimale de 2 à 3 m/s (4 à 6 nœuds) est requise : peu de sites propices (goulets, caps, détroits....).
- La plupart des technologies s'inspirent de celles des éoliennes (rotor + génératrice). Puisque l'eau est 832 fois plus dense que l'air, une hydrolienne est plus compacte mais les efforts sur les pales sont considérables.
- Challenges : installation et maintenance !



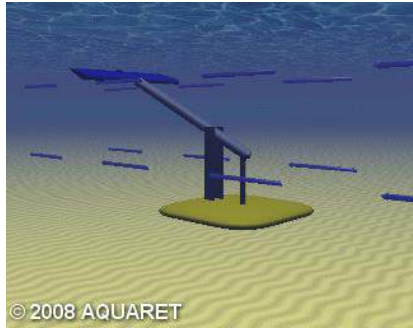
Sélection des meilleurs sites (Atlantis Resources) ~25 GW

HYDROLIENNES À FLUX AXIAL OU TRANSVERSE

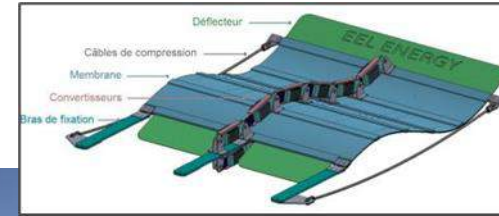
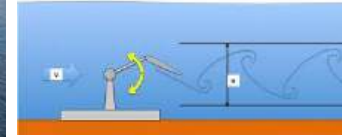
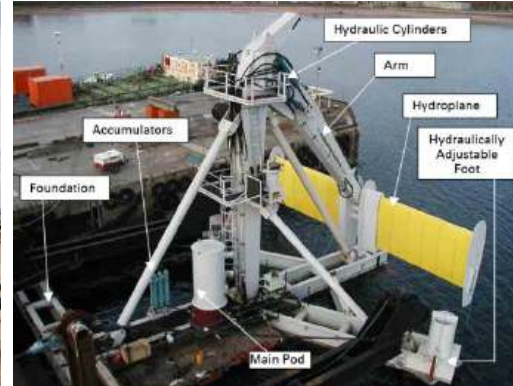


AUTRES CONCEPTS D'HYDROLIENNES

■ Profil Oscillant



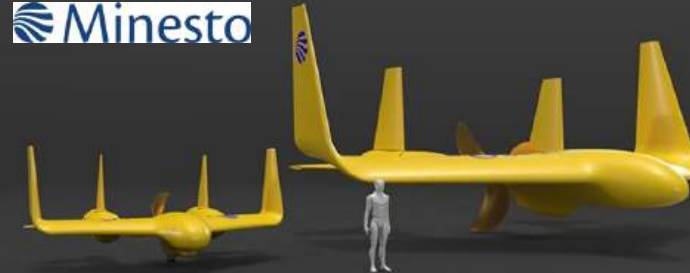
Stingray (Engineering Business Ltd)



■ Tidal kite

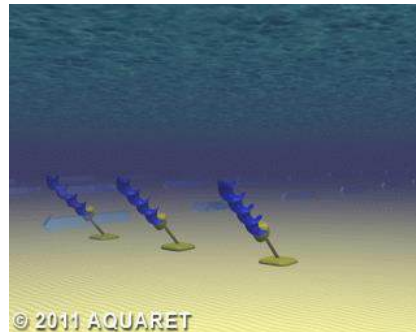


Minesto



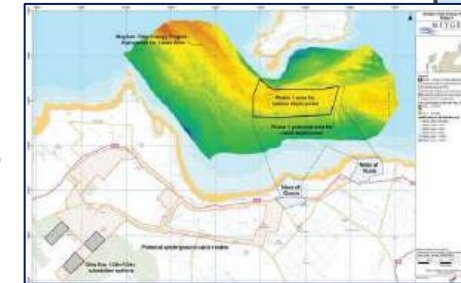
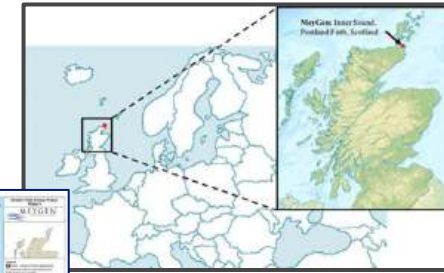
« Dragon Class » Dragon 4 (100kW; 4,9 m envergure) - Dragon 12 (1,2MW; 12 m envergure).

■ Vis d'Archimède



PROJET MEYGEN (ECOSSE) – 1^{ÈRE} FERME HYDROLIENNE

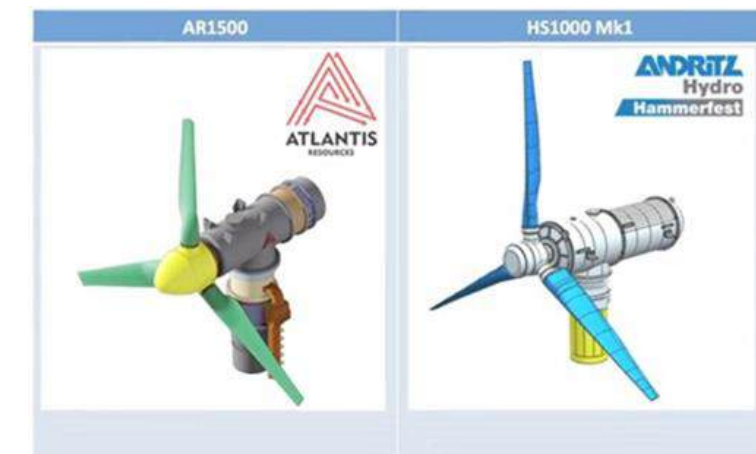
- Tidal MeyGen project (Pentland Firth - Ecosse) 398 MW (Concession maritime - The Crown Estate depuis Oct. 2010).
 - Phase 1 : 6 MW – En exploitation depuis 2018.
 - Phase 2 : 28 MW (2027-2028) + extension 9 MW (2029). Contract for Difference (CfD) accordé en 2022 pour 28 MW (Strike Price 178.54/MWh £₂₀₁₂) puis en 2024 pour l'extension 9 MW (Strike Price 172/MWh £₂₀₁₂). Nouvelle hydrolienne AR2000 (2 MW); en développement.
 - Phase 3 : 22 MW (2027/2028). Accordée et en développement. CfD obtenu en 2023 (Strike Price 198/MWh £₂₀₁₂).
 - Phase 4 : 312 MW. Planifiée.
- Phase 1: 6 MW
 - 4 hydroliennes : 1 AR1500 (Atlantis – 1.5MW) + 3 HS1000 (Andritz-Hammerfest – 1.5MW)
 - Fondation gravitaire : tripode (240 – 285 t) + 6 ballasts en béton (205 t chacun)
 - En Septembre 2020, installation d'un "Subsea Hub" (+ câble sous-marin raccordé à terre) pour optimisation.



AR1500

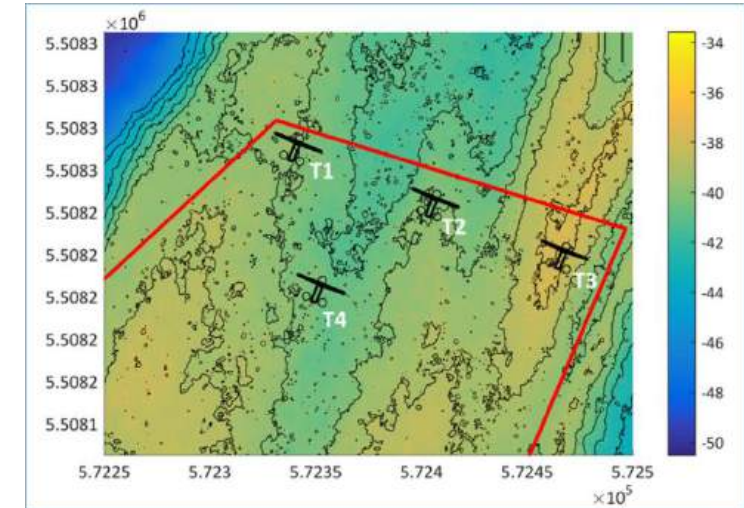
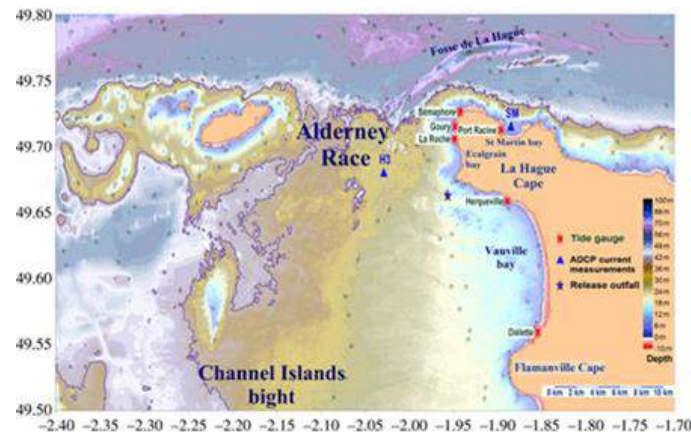
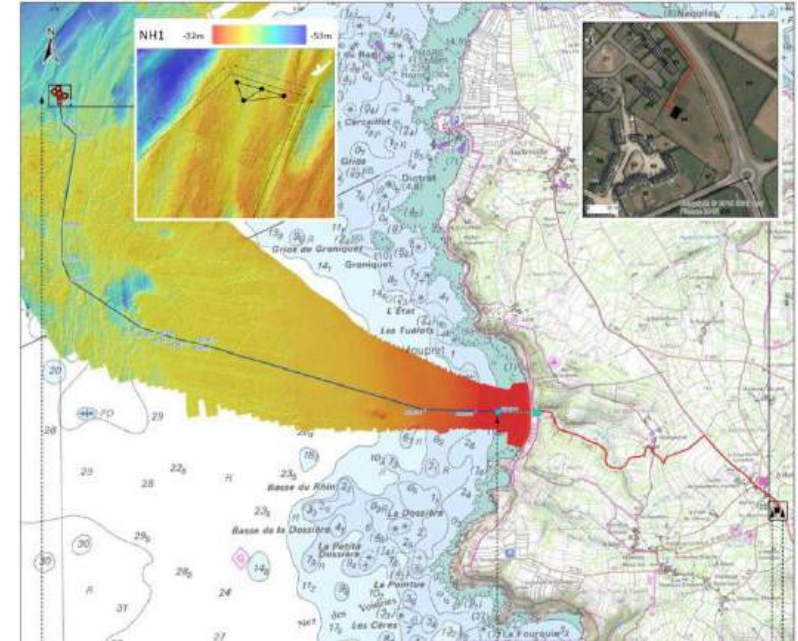


Area	Atlantis - AR1500	Andritz - HS1000 MK1
Rotor Diameter	18m	18m
Rated Power (@3 m/s)	1.5MW	1.5MW
Inspection period (MTBO)	6.25 years	5 years
Blade Material	Carbon Fibre	Carbon Steel
Cut Out Velocity	5m/s	4.5m/s
Pitch System	Collective Hydraulic	Independent, Electrical
Gearbox	2 Stage	3 Stage
Generator	Permanent Magnet	Induction Machine
Yaw Mechanism	Electrical	Electrical
Connection Offered	Wetmate	Drymate
Turbine Controller (and Converter)	Onshore	Onshore



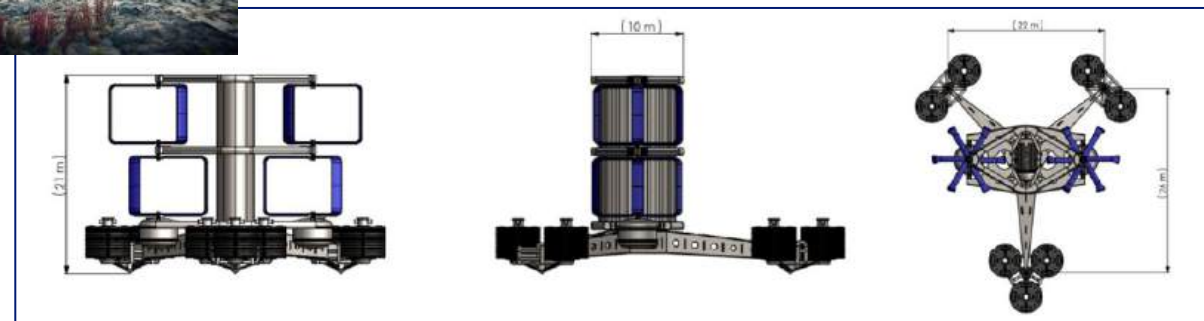
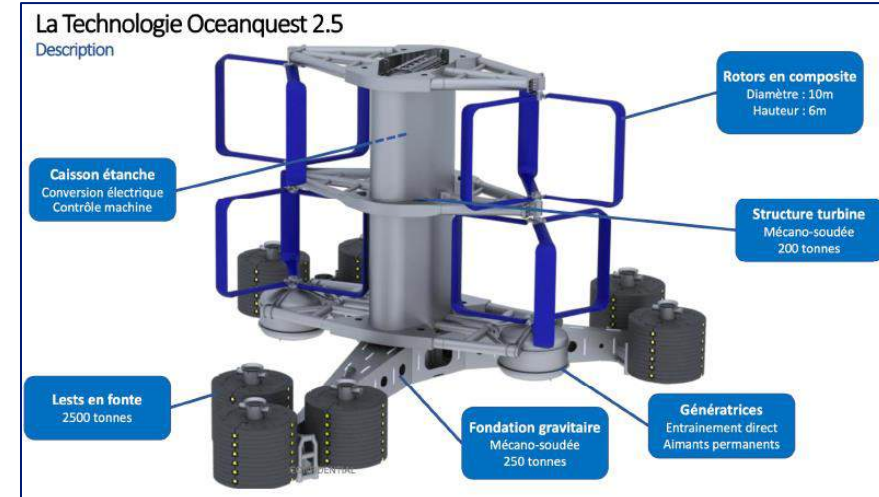
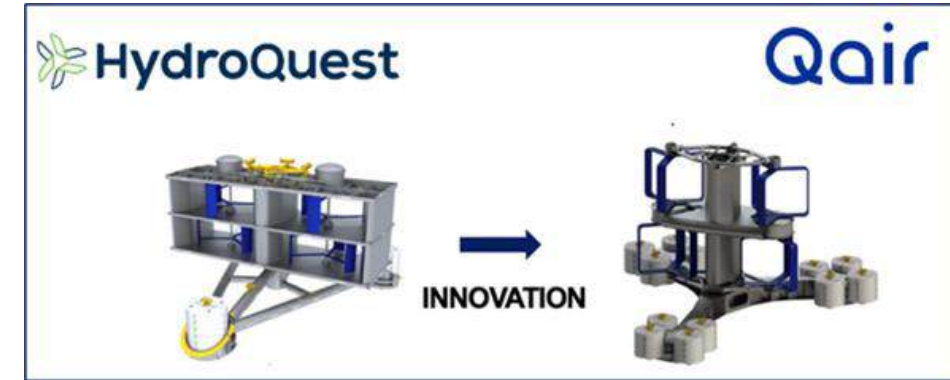
SIMEC ATLANTIS ENERGY – PROJET NH1

- Création en 2018 de Normandie Hydroliennes, développeur de projets hydroliens : Simec Atlantis Energy (49%; maintenant Proteus Marine Renewables), l'Agence de Développement Normandie, le fonds d'investissement régional de Normandie et le groupe industriel EFINOR (Cherbourg).
- Normandie Hydroliennes envisage de développer 3 GW dans le Raz Blanchard, 2 GW dans les eaux d'Aurigny (Alderney) et 1 GW dans les eaux françaises.
- En 2020, la précédente concession maritime accordée au projet Nephtyd d'Engie + Alstom (annulé en 2014) dans le Raz Blanchard (Eaux françaises) a été transférée au projet pilote NH1 de Normandie Hydrolienne : 12 MW avec 4 nouvelles hydroliennes AR3000 de Proteus Marine Renewables (mise en service en 2028). Profondeur 38 m à 42 m (~33,9 GWh/an).
- Construction des hydroliennes AR3000 à Cherbourg chez EFINOR.
- Proteus envisage des fondations de type monopieu, battu dans les fonds marins après forage préalable.



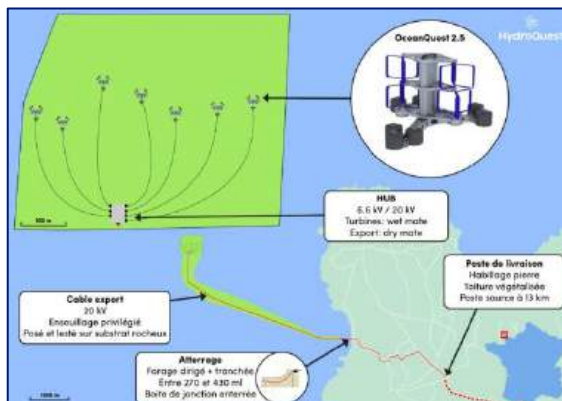
HYDROQUEST – PROJET FLOWATT (RAZ-BLANCHARD)

- Après le succès du prototype OceanQuest testé à Paimpol-Brehat (avril 2019 - oct. 2021) Hydroquest et CMN (Constructions Mécaniques de Normandie) s'associent en 2021 au développeur Qair (Qair Marine) pour installer au Raz Blanchard une ferme pilote : 6 nouvelles hydroliennes HQ 2,8 MW (total 16,8 MW Projet FloWatt). Initialement 7 hydroliennes HQ 2,5 MW. Profondeur : 35 m.
- En mai 2021, Hydroquest et Qair ont repris la concession maritime (0,28 km²) accordée à EDF Renouvelables pour son précédent projet « Normandie Hydro » (OpenHydro) au Raz Blanchard.
- Le développement des nouvelles hydroliennes a démarré en 2023, avec une mise en service prévue en 2028 (durée d'exploitation 20 ans).
- En juillet 2023, l'État a apporté un investissement de 65 M€ via France 2030 (subventions et avances remboursables) au projet FloWatt et a accordé un tarif d'achat préférentiel. En mai 2025, financement de 20 M€ du Fonds pour l'innovation de l'UE.

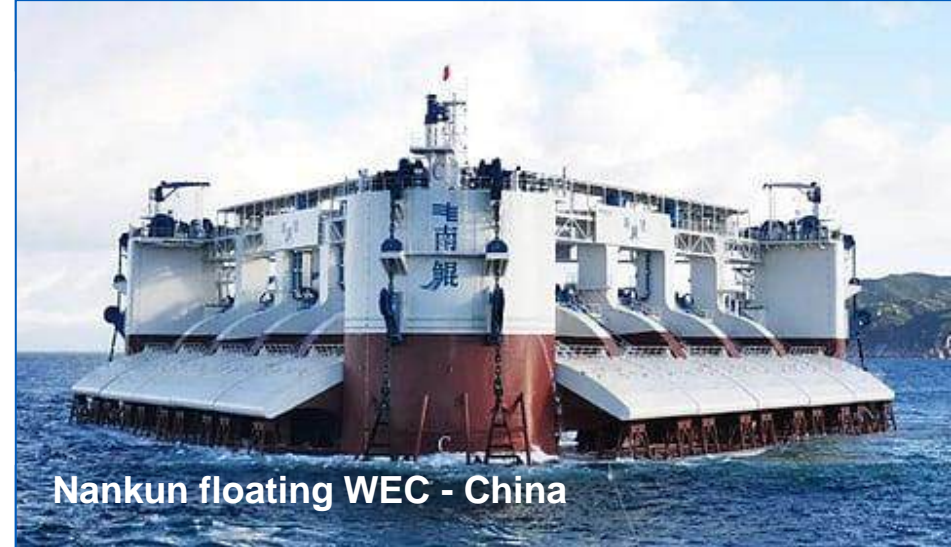


FLOWATT
LES HYDROLIENNES
DU RAZ BLANCHARD

Forum
Mers & Océan
de l'Institut Polytechnique de Paris



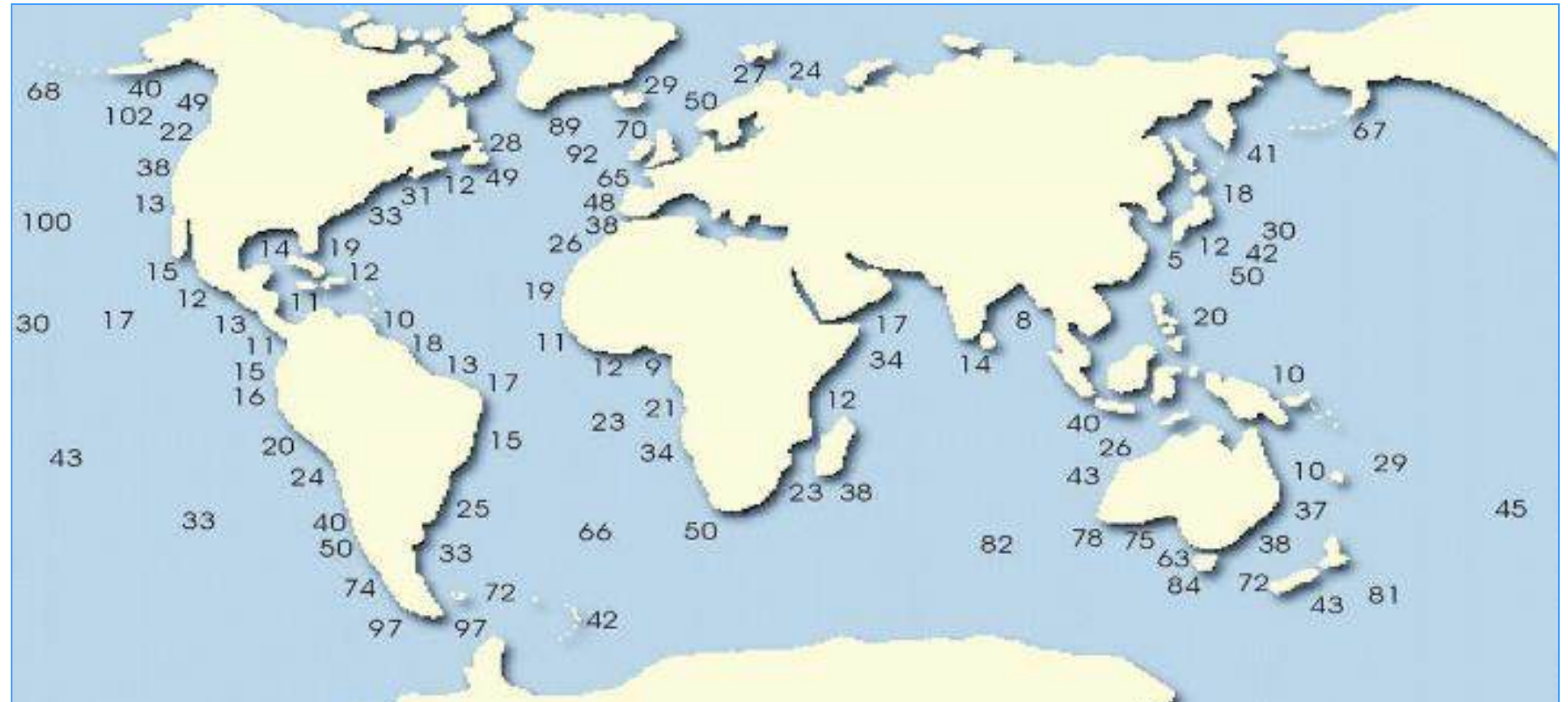
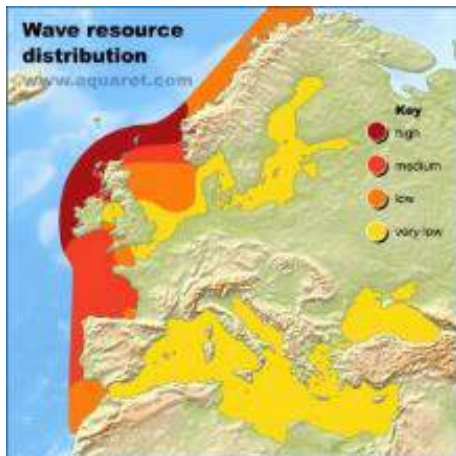
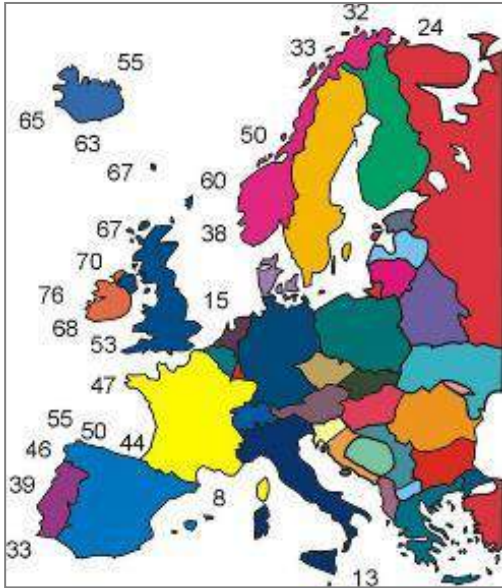
LE HOULOMOTEUR, L'ÉNERGIE DES VAGUES ET DE LA HOULE



Nankun floating WEC - China



RESSOURCE - HOULOMOTEUR



L'énergie des vagues s'exprime en kilowatt par mètre de front d'onde (kW/m). On considère la puissance moyenne annuelle transportée par mètre perpendiculaire à la direction de propagation des vagues.

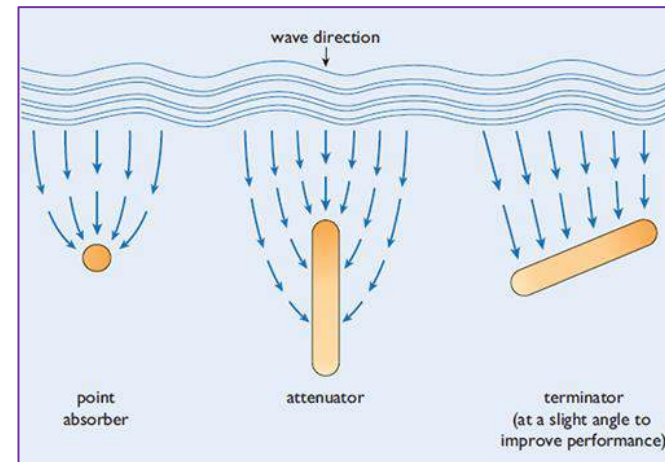
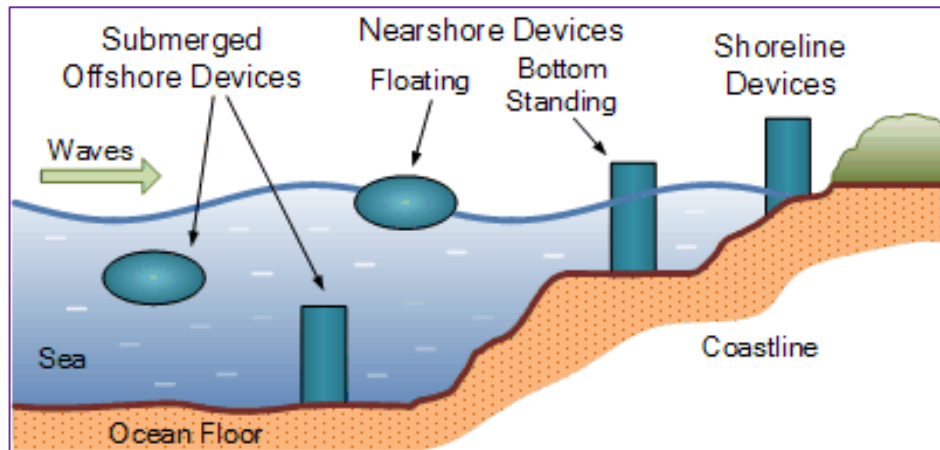
Estimation du Potentiel Technique Exploitable

- Monde : 2500-4000 TWh/an (1000-1500 GW)
- Europe continentale : 130 TWh/an (~50 GW)
- France métropolitaine : 30-40 TWh/an (10-15 GW)

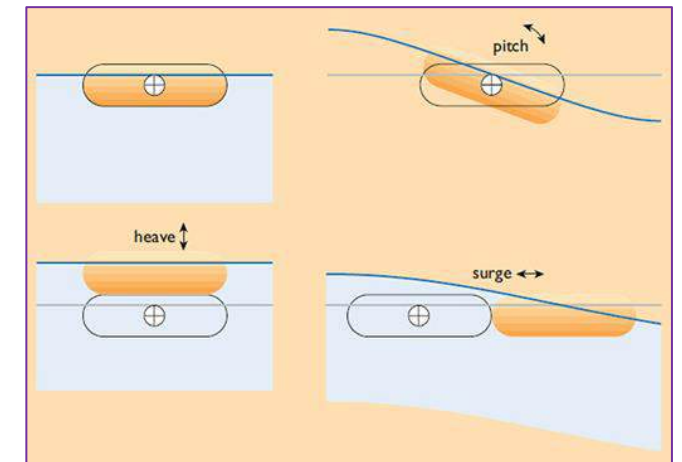


SYSTÈMES HOULOMOTEURS

- Les convertisseurs d'énergie houlomotrice (Wave Energy Converters - WEC) tirent leur énergie du mouvement des vagues et peuvent être installés de manière flexible - sur le littoral, près du rivage ou en mer à des profondeurs de plus de 100 m - afin d'exploiter l'énergie disponible de la manière la plus efficace. Une série de prototypes grandeur nature ont été déployés, mais le développement technologique, les essais et les démonstrations doivent se poursuivre avant la commercialisation et le déploiement industriel.
- Pour extraire cette énergie, les convertisseurs d'énergie houlomotrice doivent créer un système de forces réactives, dans lequel deux corps ou plus se déplacent les uns par rapport aux autres, tandis qu'au moins un corps interagit avec les vagues.
- L'énergie houlomotrice captée doit être transformée en électricité au moyen d'un système « Power Take Off » (PTO).
- Il existe trois types de systèmes « WEC » : « offshore » (qui capte l'énergie de la houle au large - pas les vagues déferlantes), « near shore » (près des côtes - amplitude maximale des vagues) et « embedded devices » (construits sur le littoral pour recevoir les vagues déferlantes, mais la perte d'énergie se produit lorsque les vagues déferlent).



Classification of wave energy converters according to size and orientation

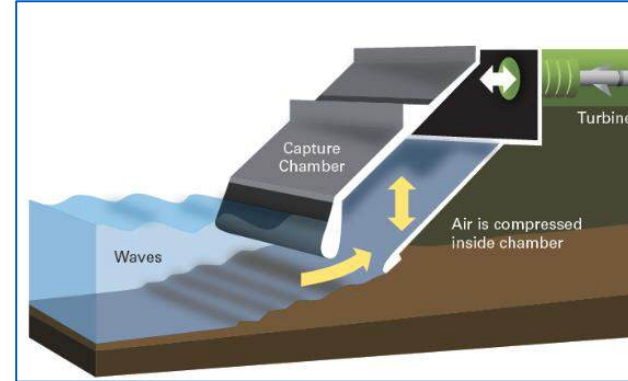
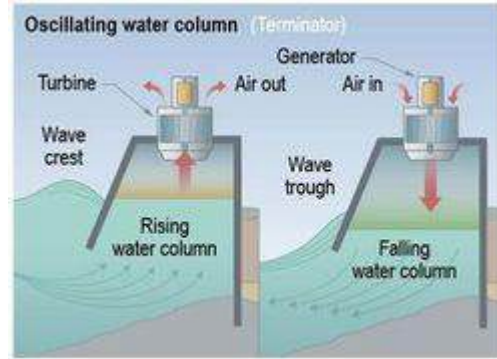
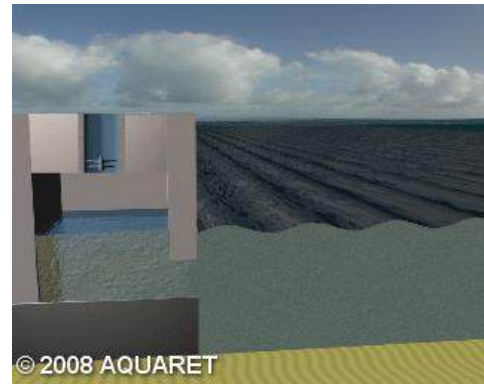


The pitch, heave and surge responses of a floating object to incident waves

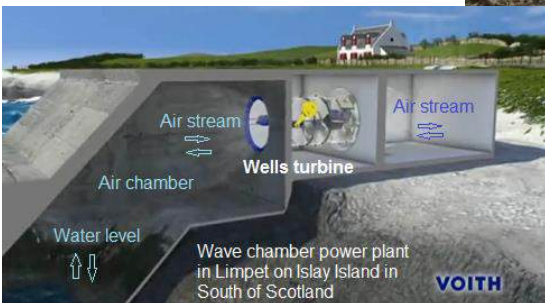
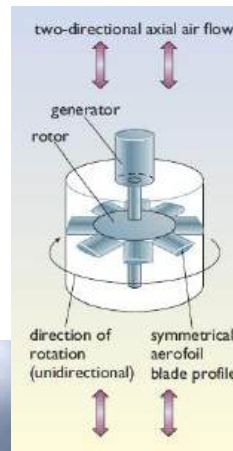
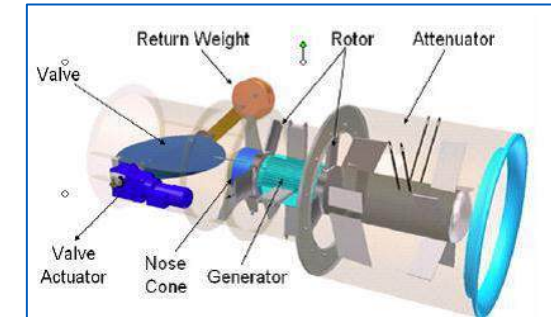


COLONNE D'EAU OSCILLANTE

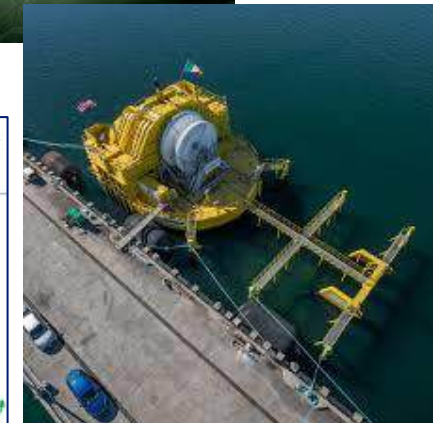
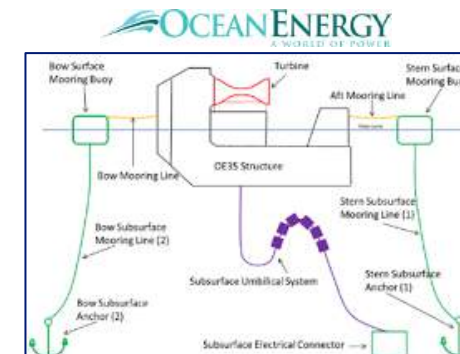
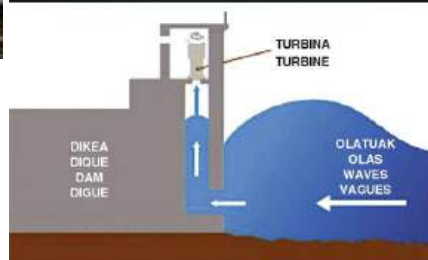
OSCILLATING WATER COLUMN



« Wells » turbine (air)

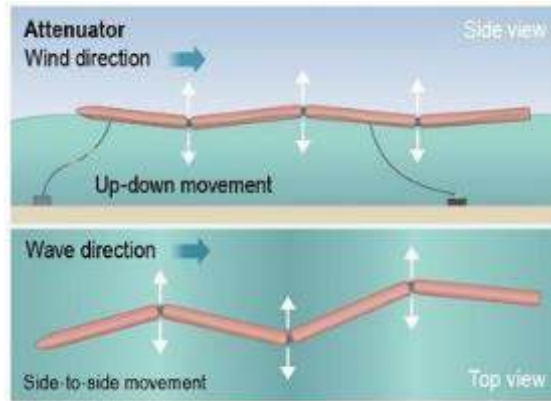
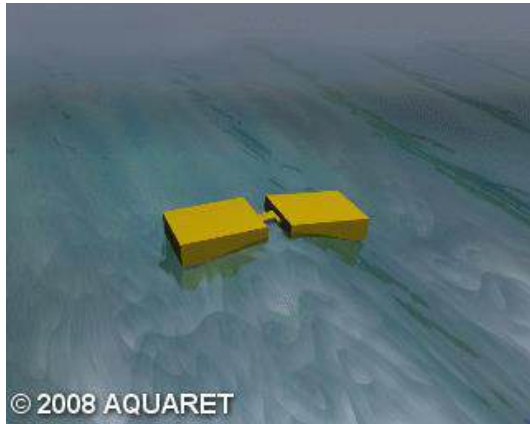


LIMPET (Land Installed Marine Power Energy Transmitter Islay – Scotland (500kW) 2000

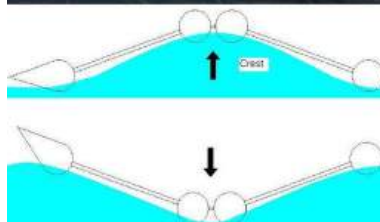
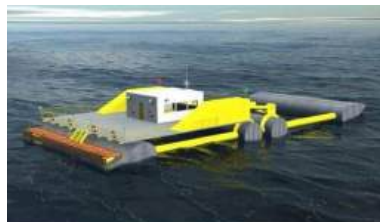
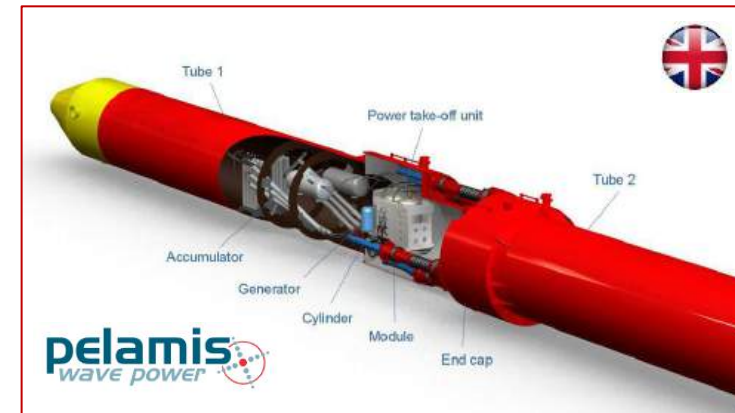
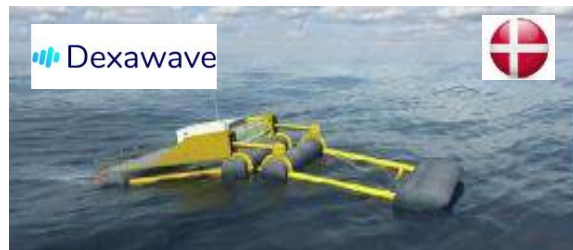


FLOTTEURS ARTICULÉS ATTÉNUATEURS

ATTENUATOR

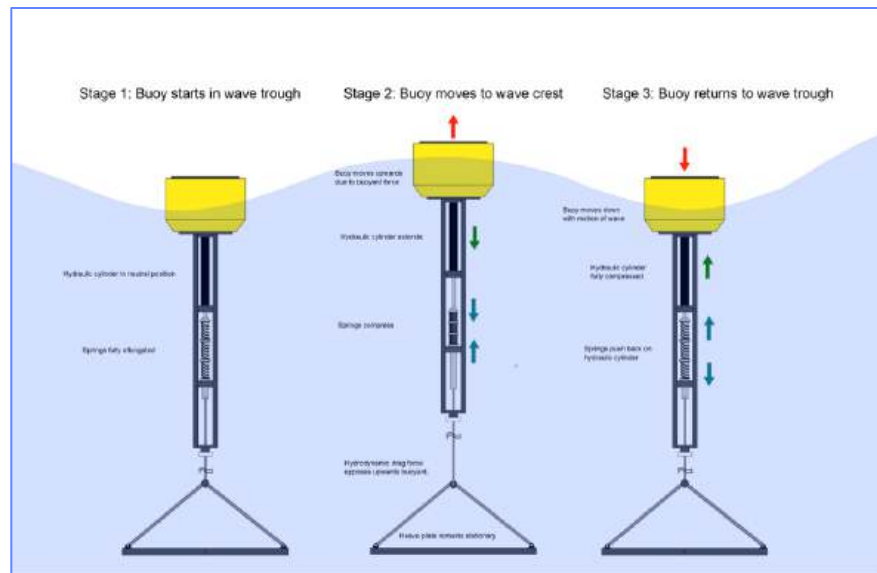


PELAMIS P2 pre-commercial model (2012)
180 m – 4 m diameter – 1350 t – 750 kW



FLOTTEUR VERTICAL ABSORBEUR

SURFACE POINT ABSORBER



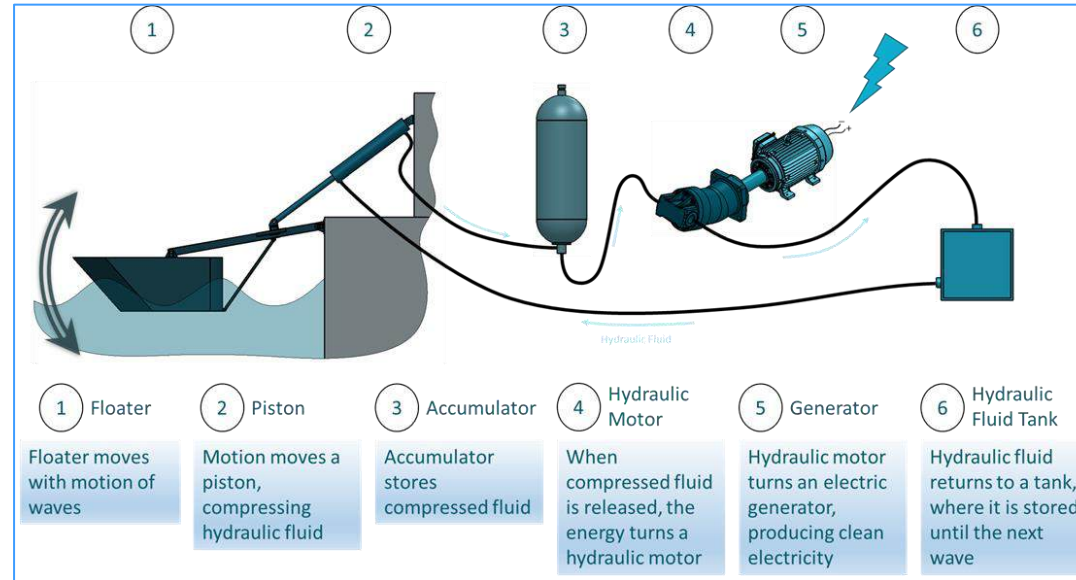
C4 70 tonnes

UMACK Anchor



FLOTTEURS ARTICULÉS ABSORBEURS

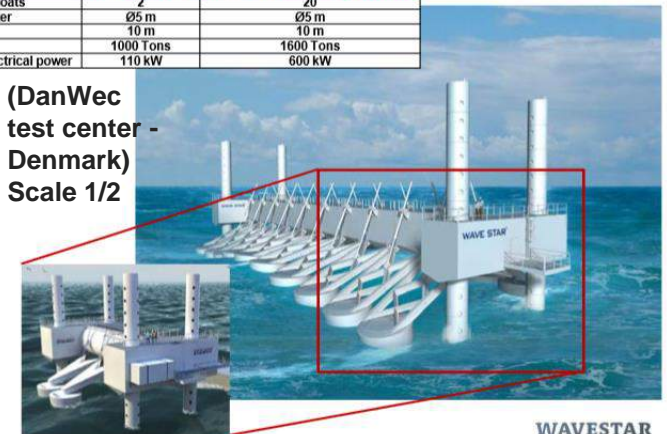
ARTICULATED POINT ABSORBER FLOATERS



The Roshage test unit is a section of the complete machine

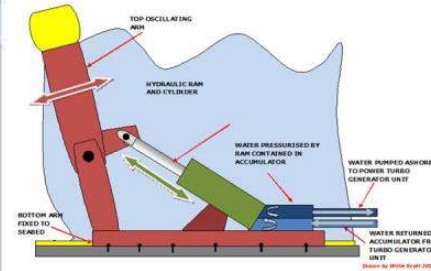
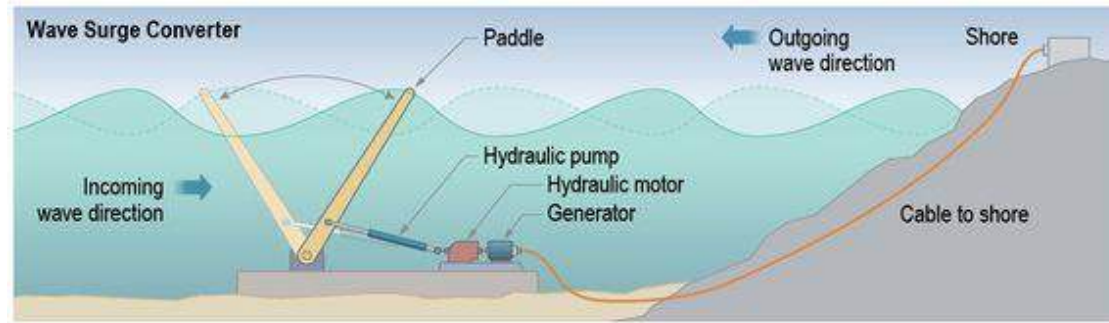
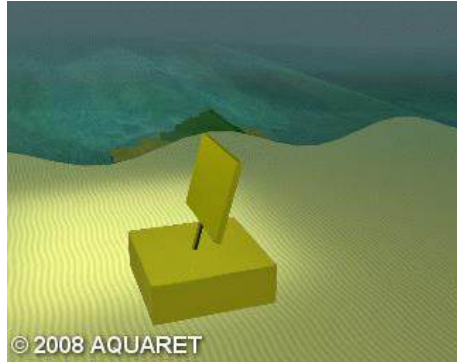
Parameter	Roshage test unit	Commercial Wave Star C5-600 kW
Number of floats	2	20
Float diameter	Ø5 m	Ø5 m
Arm length	10 m	10 m
Weight	1000 Tons	1600 Tons
Nominal electrical power	110 kW	600 kW

(DanWec
test center -
Denmark)
Scale 1/2

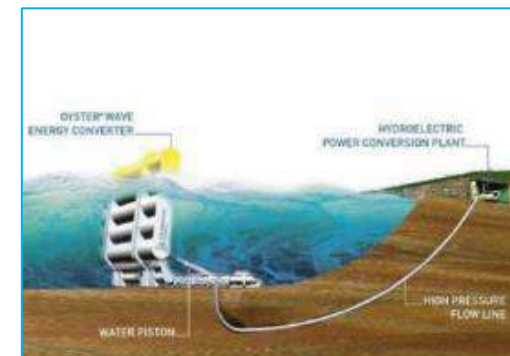


SYSTÈME OSCILLANT IMMERGÉ

OSCILLATING WAVE SURGE OR TERMINATOR

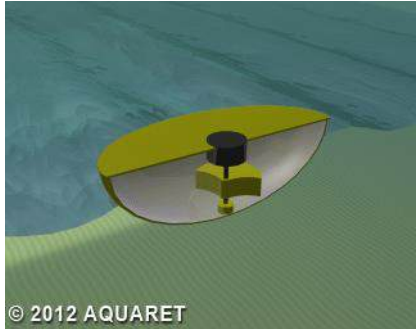


WaveRoller 350 kW Peniche (Portugal)

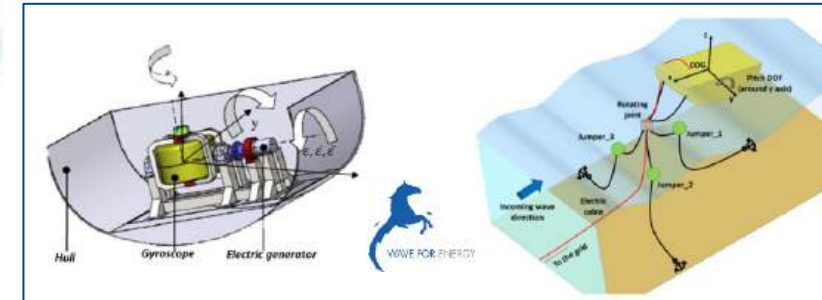
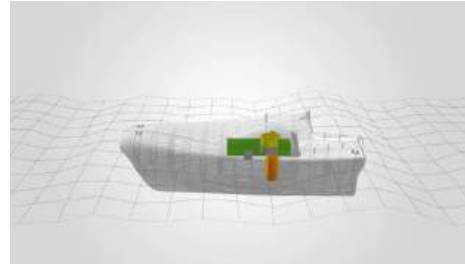


AUTRES TECHNOLOGIES HOULOMOTRICES

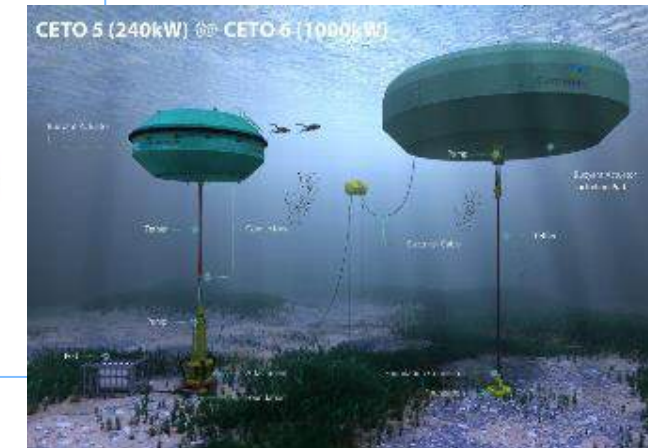
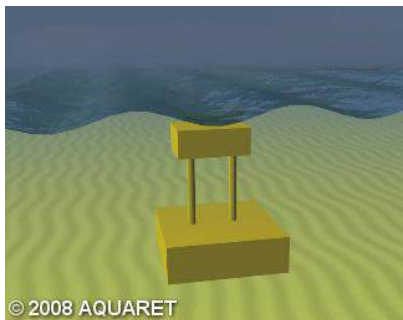
- Masse tournante (« *Rotating mass* »)



Wello-Penguin Wave Energy Converter



- Pression différentielle (« *Submerged pressure differential* »)



HYDROLIEN & HOULOMOTEUR : DÉVELOPPEMENTS ET PERSPECTIVES



Meygen – Atlantis AR1500



PRINCIPAUX DÉVELOPPEMENTS HYDROLIENS & HOULOMOTEURS



TIDAL

towards 2nd generation pilot farms

Tidal stream is now at pilot farm stage - the first multi-device arrays have been producing power for the past 6 years. Further full-scale devices have been demonstrated in real sea conditions and are ready to be deployed in the next wave of pilot farms.

Sustainable Marine floating tidal platform Bay of Fundy (Canada)

Sustainable Marine (UK/Germany) deployed their floating tidal platform, previously tested in Scotland and in Nova Scotia, Canada, in 2022. Located within some of the most powerful tides in the world, the project will be expanded up to 9 MW in future years (Garanovic, 2022).

C Power
Washington State [US]

CalWave Power Technologies San Diego [US]

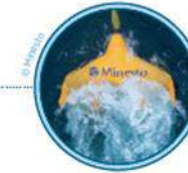
CalWave Power Technologies (US) deployed their scaled prototype off the coast of San Diego in California. After 10 months of continuous operation, the device was recovered, and the learnings will be applied to their next grid-connected deployment (CalWave, 2022).

OPT
Las Cruces [Chile]

WAVE

from full-scale prototypes to first pilot farms

Wave energy is now at prototype stage, with several scaled and full-scale devices being tested in real sea conditions. After the successful completion of those projects, the next step will be the deployment of the first wave energy pilot farms.



Minesto Faroe Islands [Faroe Islands]

Minesto (Sweden) has deployed two tidal "kites" (turbines) harnessing low-flow tides on the Faroe Islands. The company has a PPA with the Faroese electric utility company SEV with the objective of deploying additional 4 MW in the Vestmannaund strait (Minesto, 2020).

MeyGen pilot array Pentland Firth [UK]

A collaboration by Andritz Hydro Hammerfest (Austria) and SIMEC Atlantis Energy (UK) has resulted in the development of the world's biggest tidal energy farm, MeyGen, which comprises of four bottom-fixed turbines. It was deployed in 2016 in Pentland Firth, Scotland. (Garanovic, 2021) Over 50 GWh have been generated at the time of publication (SAE Renewables, 2023). MeyGen has recently won the tidal stream auction under the UK's Contracts for Difference scheme (see Box 3) and will seek to expand its generating capacity by 28 MW (OEE, 2022a).

Nova Innovation Shetlands [UK]
Megallanes Renovables Orkney [UK]
Orbital Marine Power Orkney [UK]
AWS Orkney [UK]
Mocean Energy Orkney [UK]

Havkraft Haddal [Norway]

Slow Mill Port of Den Helder [Netherlands]

Water2Energy Viissingen [Netherlands]

Sigma Energy Adriatic Sea [Slovenia]

Eco Wave Power Tel Aviv [Israel]

Hydrokinetic Bordeaux [France]

EEL Energy Brest [France]

SWEL Lamaca Bay [Cyprus]

Haan Ocean Shengsi Island [China]

LHD Xiushan Island [China]

SIMEC Atlantis Energy Naru Island [Japan]

GIEC Wanshan Island [China]

Hangzhou Huge Wave Energy Technology Daishan County [China]

Mutriku Wave Power Plant¹ Basque Country [Spain]

As a pioneering project, the 296 kW Mutriku wave power plant, located in the outer dock of the port of Mutriku in the Basque Country, stands out as the first commercial installation in the world to operate by injecting wave-generated electricity into the grid. (Garanovic, 2023).

CorPower Ocean single device & pilot farm Aguçadoura [Portugal]

CorPower Ocean (Sweden) will deploy their first full scale device in Aguçadoura, Portugal, in early 2023. This will then be complemented with other three devices to form one of the world's first wave energy pilot farms (CorPower Ocean, 2023).

Wave Swell Energy full-scale demonstration King Island [Australia]

Wave Swell Energy's (Australia) full scale device has been powering the grid in King Island, Tasmania, since mid-2021 (Wave Swell, 2021).

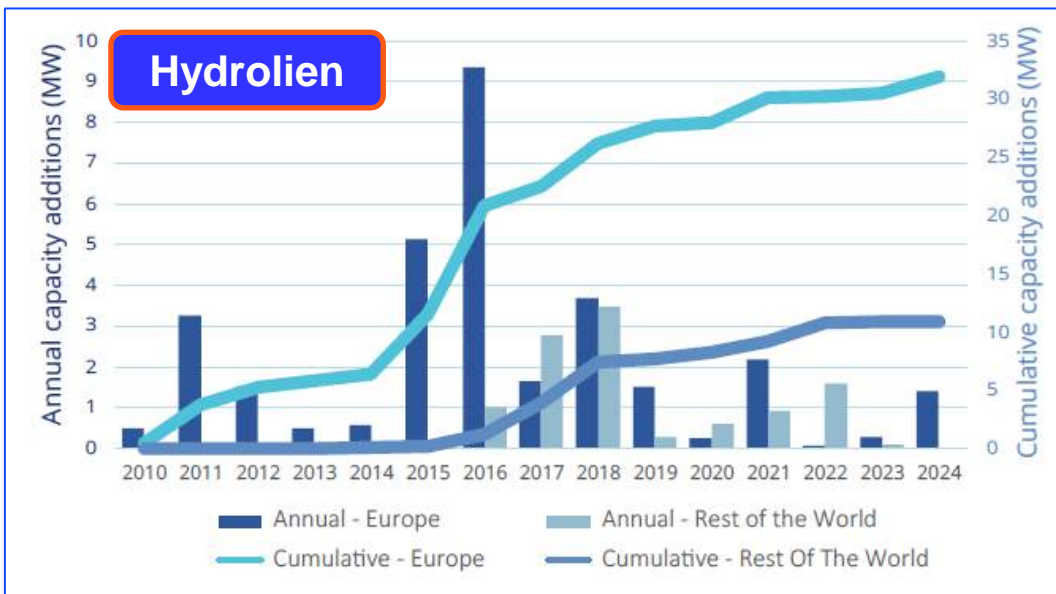


Notes: UK = United Kingdom; US = United States.

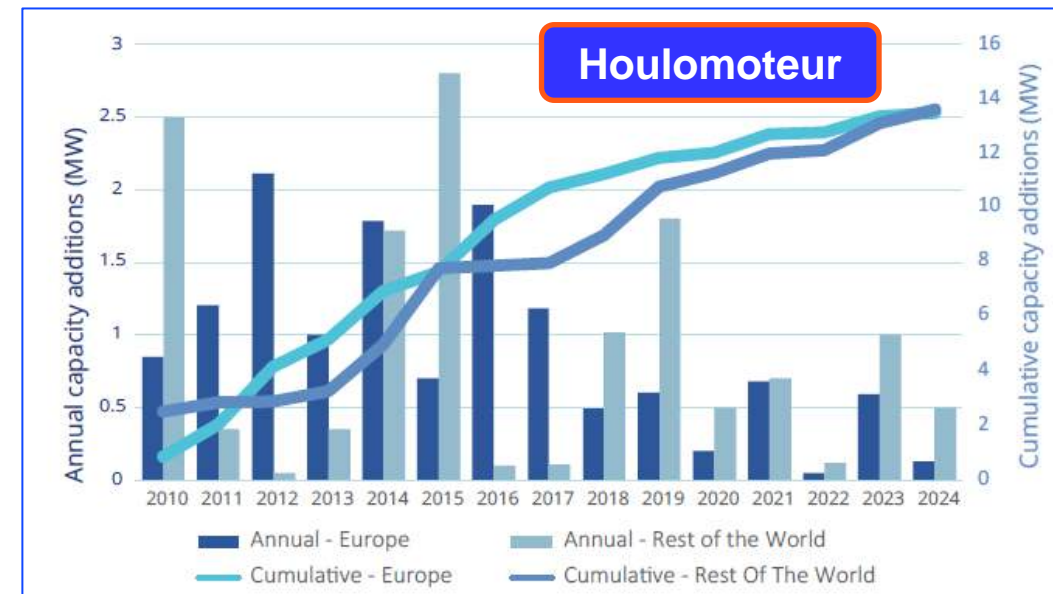
¹ This example was provided by the Representative from Spain to IRENA's Collaborative Framework on Ocean Energy and Offshore Renewables.

HYDROLIEN & HOULOMOTEUR – MONDE (2024)

Global installed tidal stream energy capacity



Global installed wave energy capacity



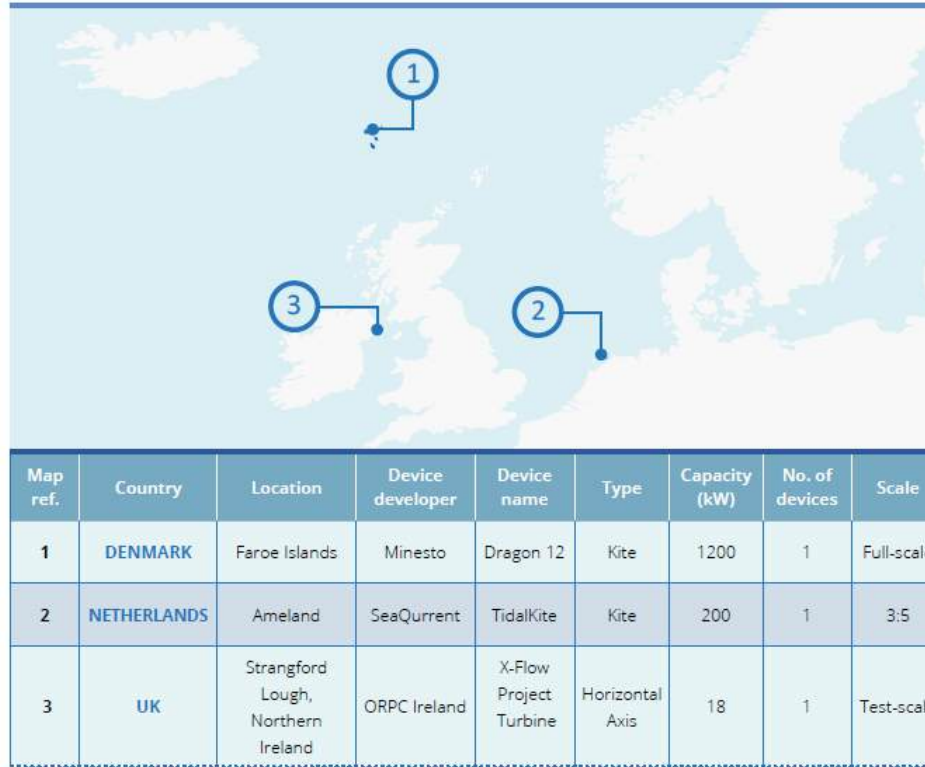
- No tidal stream devices were deployed outside Europe in 2024. Some projects were preparing for immediate deployment, like Proteus Marine Renewable's project in the Naru Strait in Japan (1.1 MW).
- In the US, two tidal stream projects were awarded the first instalment of a \$35m grant this year, to deliver a multimewatt project.



Wave energy deployments outside Europe in 2024

Country	Location	Device developer	Device name	Type	Capacity (kW)	No. of devices	Scale
US	Oahu, Hawaii	OceanEnergy Group	OE-35	Oscillating water column	500	1	1
US	Strait of Juan de Fuca, Washington	Panthalassa	Ocean 2	Other	40	1	1:10
AUSTRALIA	King Georges Sound	University of Western Australia (UWA)	M4	Attenuator	1 to 10	1	Prototype
AUSTRALIA	North Fremantle	Carnegie Clean Energy	MoorPower	Point Absorber	5.7	3	1:3

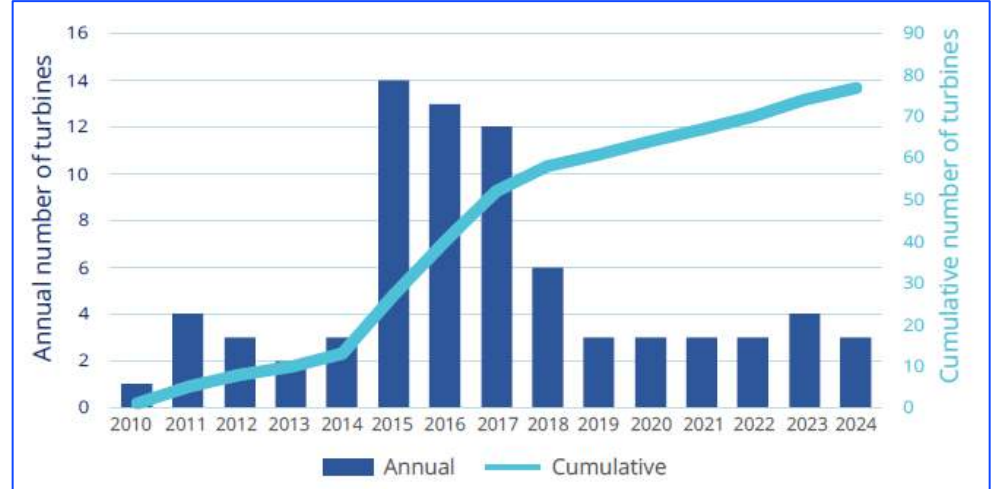
HYDROLIEN – EUROPE (2024)



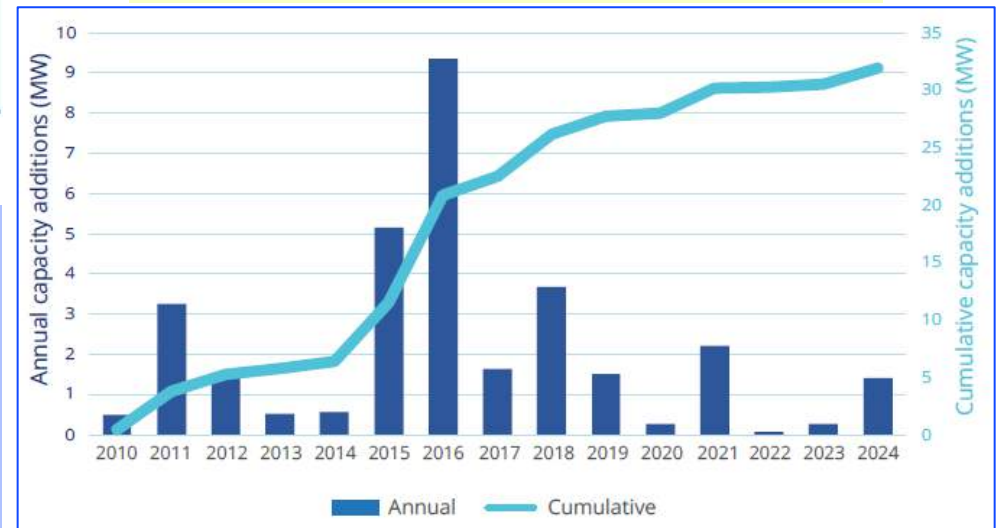
Tidal stream deployments in Europe in 2024

- Almost 32 MW of tidal stream capacity have been deployed in Europe since 2010.
- 12.7 MW are currently generating electricity, and 19.3 MW have been decommissioned at the end of their project lifetime.
- One full-scale device and two prototypes (kites) were deployed in 2024, representing 1.418 kW of new capacity.
- Cumulative electricity production from existing demonstration projects and tidal farms reached 106 GWh with an annual tidal production of 13.4 GWh in 2024.

Annual & Cumulative number of tidal turbines installation in Europe



Annual & Cumulative tidal stream capacity in Europe



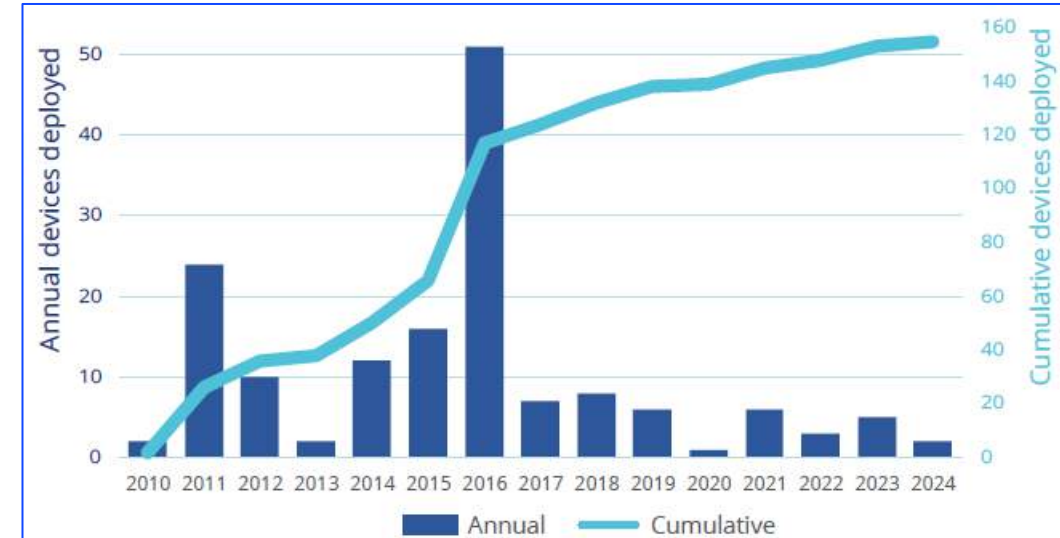
HOULOMOTEUR – EUROPE (2024)



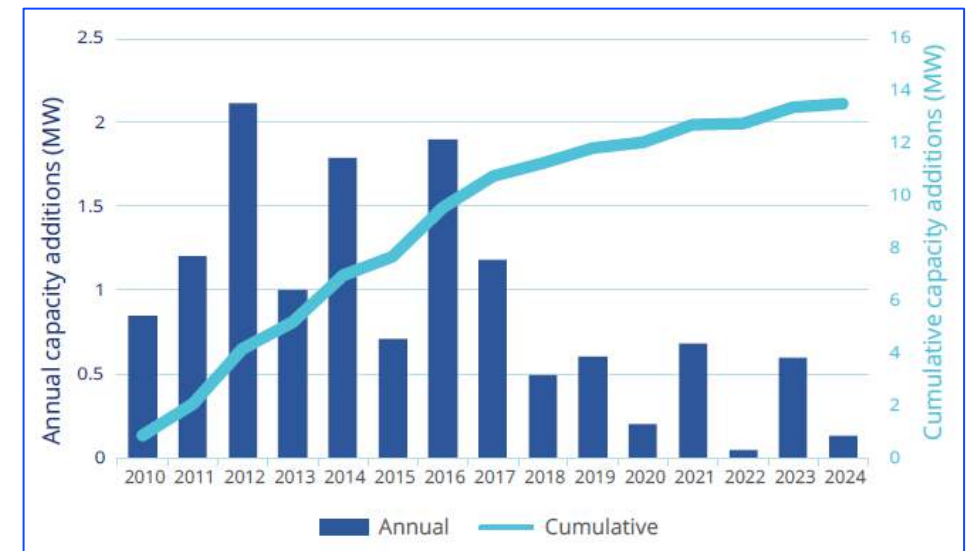
Wave energy deployments in Europe in 2024

- 2024 saw the deployment of two full-scale devices totalling 130 kW.
- 13.5 MW of wave energy capacity have been installed in Europe since 2010. 830 kW are currently in the water and 12.6 MW have been decommissioned following the completion of demonstration programs.

Annual & Cumulative number of wave energy converters in Europe



Annual & Cumulative wave energy converter deployment in Europe



EUROPE – PERSPECTIVES HYDROLIEN & HOULOMOTEUR

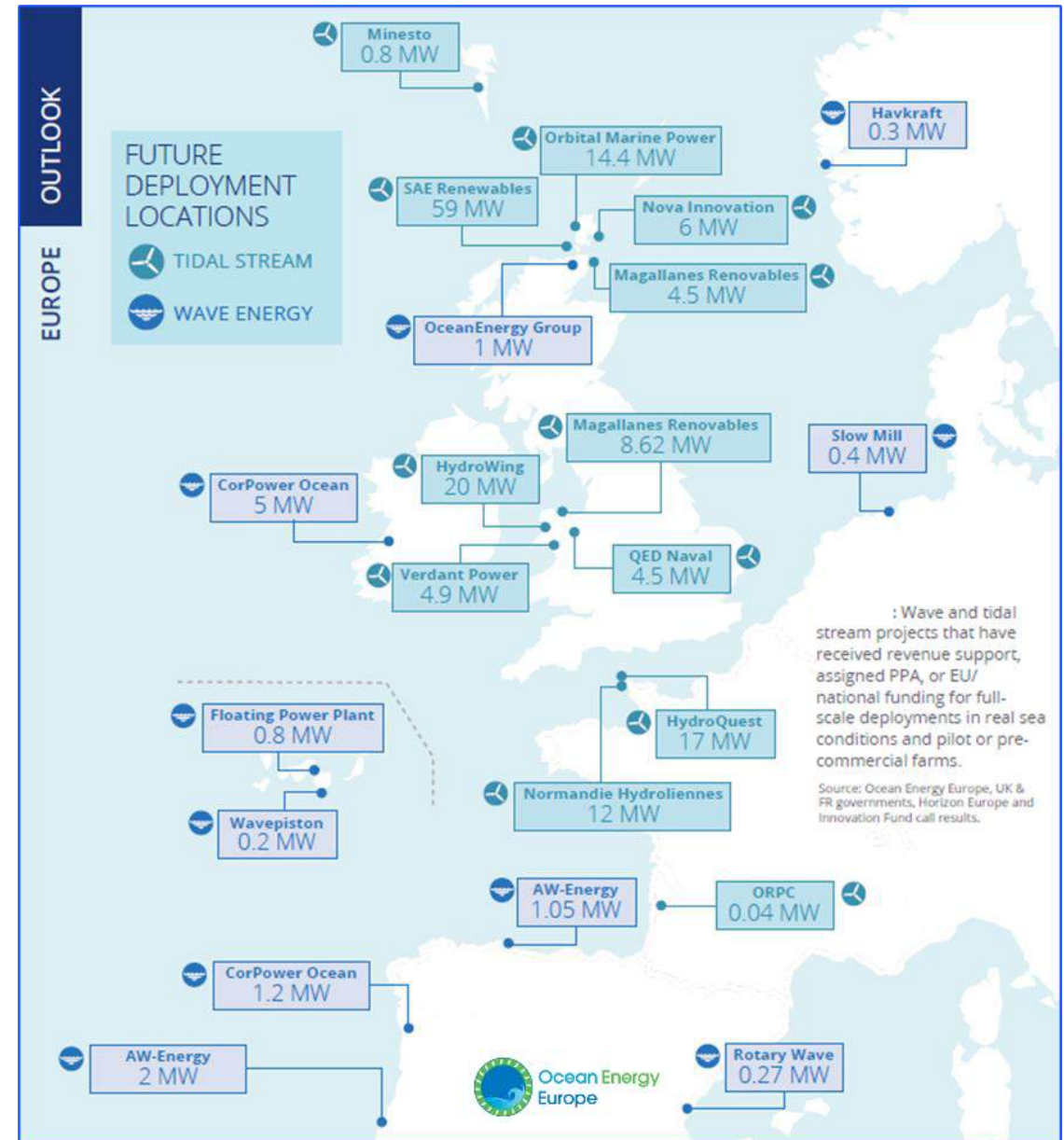
- 670 MW de projets hydroliens et houlomoteurs sont identifiés en Europe pour 2030.
- La stratégie de l'UE27 (European Commission's Offshore Renewable Energy Strategy) établie en novembre 2020, a prévu de développer 40 GW d'énergie des océans d'ici 2050 (dont 100 MW en 2025 et 1 GW d'ici 2030) !
- La France envisage dans la future PPE, un appel d'offres de 250 MW d'hydrolien au Raz Blanchard...



MagallanesRenovables



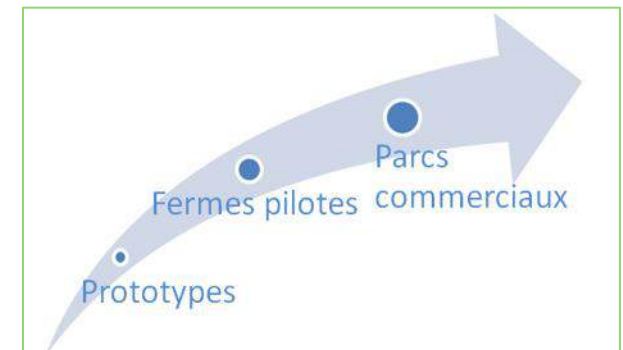
HYDROWING



CONCLUSION : ENJEUX ET DÉFIS DES AUTRES EMR

- Baisser les coûts des EMR (CAPEX & OPEX) !
- Développer des technologies robustes (« survivre » aux conditions extrêmes !) et fiables (réduire la maintenance sur site).
- Optimiser l'installation en mer (simple, rapide et à moindre coût !).
- Développer des solutions adaptées pour les ancrages, raccordements électriques sous-marins...
- Dimensionner les parcs : connaissance de la ressource, évaluation de la production (MWh), optimisation de l'implantation sur site (ex. effets de sillage).
- Mieux connaître les impacts environnementaux.
- Favoriser l'intégration avec les autres usagers de la mer.
- Garantir la sécurité du personnel (construction, exploitation...).
- Après la phase site pilote, développer les premiers parcs (80 – 100 MW). Investisseurs ?

Forte concurrence avec
l'éolien en mer y
compris le flottant !



Victor Hugo, Quatre-vingt treize (1874)

« Réfléchissez au mouvement des vagues, au flux et au reflux, au va-et-vient des marées. Qu'est-ce que l'océan ? Une énorme force perdue. Comme la terre est bête ! Ne pas employer l'océan ! »



MERCI

