

PRODUCTION D'ELECTRICITE

Kévin Solari

UMR AMURE, Université de Bretagne Occidentale, IUEM, Rue Dumont d'Urville, 29280 Plouzané

Pierre Scemama

Ifremer, Univ Brest, CNRS, UMR 6308, AMURE, Unité d'Economie Maritime, IUEM, F-29280, Plouzané, France

Messages clés :

En SRM Golfe de Gascogne, la majorité des projets d'énergies renouvelables marins sont à l'état de prototype ou de démonstration. Elle a fait l'objet de 3 projets d'éoliennes fixes offshore, 2 projets d'éoliennes flottantes et 2 projets liés à l'énergie marémotrice.

Actuellement trois centrales électriques littorales utilisent le milieu marin comme source de refroidissement.

I. Description et situation générale de l'activité à l'échelle nationale

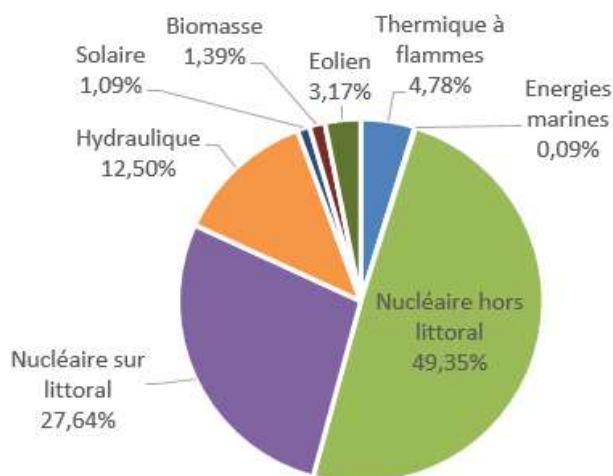
I.A. Définition du secteur

A ce jour, deux grands moyens de production d'électricité utilisant les eaux marines métropolitaines sont distingués : les énergies marines renouvelables et les centrales électriques utilisant l'eau de la mer pour le refroidissement de leurs installations.

I.B. La place des énergies marines et des centrales électriques dans la production d'électricité

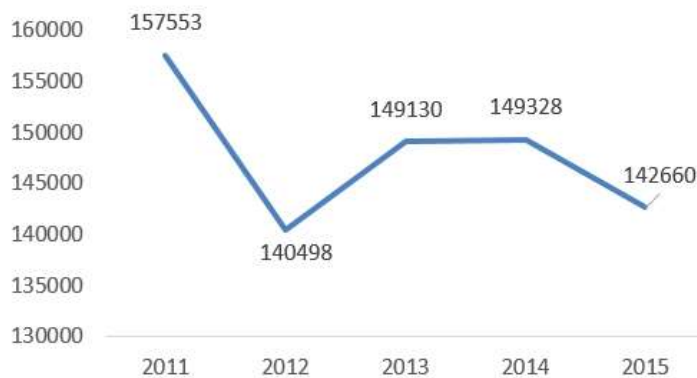
Sur le littoral de France métropolitaine, la production d'électricité est très majoritairement issue d'installations terrestres. En effet, selon le rapport « Statistiques de l'électricité en France 2014 » de RTE, la production d'électricité issue de la mer (énergies marines renouvelables) représente 0,09 % de la production totale française d'électricité, soit environ 0,5 TWh (figure 1). Cette petite part s'explique par le fait qu'il n'existe que deux sites de production d'énergies marines renouvelables : l'usine marémotrice de la Rance et le parc pilote hydrolien au large de Paimpol-Bréhat dans les Côtes d'Armor.

Figure 1 : Production d'électricité en France en 2014 en TWh (RTE, 2017)



La majeure partie de l'électricité est produite par les centrales nucléaires (76,99% en 2014). Dans le cadre de « l'utilisation des eaux marines » de la DCSMM, l'analyse se concentre sur les centrales nucléaires situées sur le littoral et utilisant l'eau de la mer pour refroidir les réacteurs. La figure 2 montre l'évolution de la production d'électricité par ces centrales nucléaires littorales. En 2014, selon le rapport « Statistiques de l'électricité en France 2014 » de RTE, les centrales nucléaires basées sur le littoral ont produit 35,90% de l'électricité nucléaire et 27,64% du total de la production d'électricité en France. La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) publiée au Journal Officiel du 18 août 2015, tend à porter la part du nucléaire à 50% (2014 : 76,99%) dans la production d'électricité pour 2015. Elle fixe des objectifs en matière de mix énergétique et de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Les objectifs de l'Etat en matière de développement des EMR sont fixés en puissance installée en 2023 à 3 000 MW pour l'éolien en mer posé et à 100 MW pour les autres énergies marines renouvelables.

Figure 2 : Production d'électricité d'origine nucléaire en TWh des centrales basées sur le littoral (RTE, 2017)



Seuls 2 sites d'énergies marines renouvelables sont actifs en 2017. Cependant, la multiplication des projets de production d'énergies marines renouvelables tend à montrer que cette part va significativement augmenter dans les prochaines deux décennies.

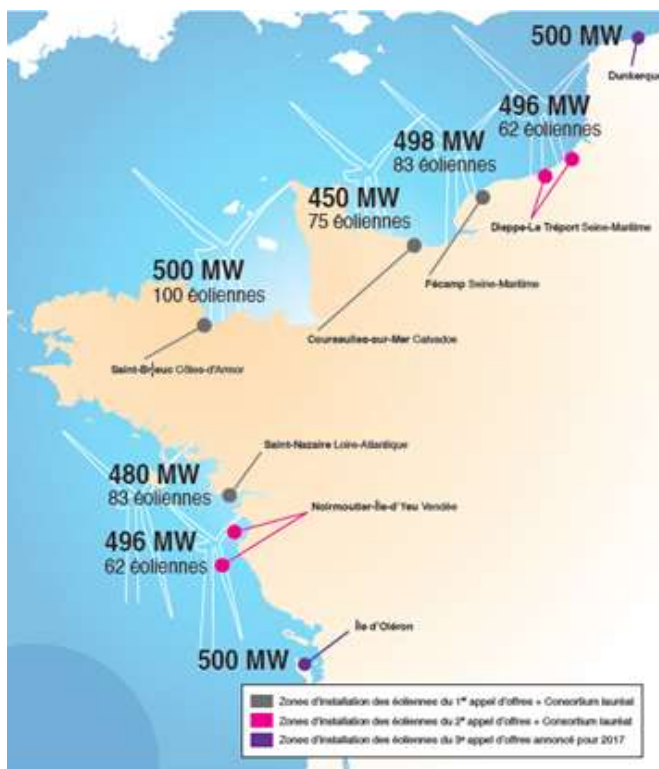
I.C. Etat des lieux des énergies marines

Différents types d'énergies marines renouvelables sont distingués, selon la source d'énergie utilisée (et dans le périmètre géographique de la DCSMM) :

- l'énergie du vent (éolienne offshore fixe ou flottante) ;
- l'énergie des marées (usine marémotrice) ;
- l'énergie des courants marins (hydrolienne) ;
- l'énergie de la houle (houlomotrice).

En 2017, aucun parc éolien offshore fixe n'est en exploitation. Des appels d'offre ont été lancés en 2011, 2013 et 2016 : les deux premiers parcs sont prévus pour 2021 et 2022. Un troisième appel d'offre est actuellement en cours pour les sites au large de Dunkerque. La figure 3 illustre les zones concernées par ces appels d'offre.

Figure 3 : Projets de parcs éoliens offshore fixes en 2017 (Observ'Er, 2016)



Concernant les éoliennes flottantes offshore, dont la technologie s'adapterait bien au littoral méditerranéen (car dépassant les 50m de profondeur), trois grands projets (modèle « spar », « *tension locked platform* » et semi-submersible) sont en développement mais aucun n'est en activité. D'autres appels d'offres commerciaux sont en préparation.

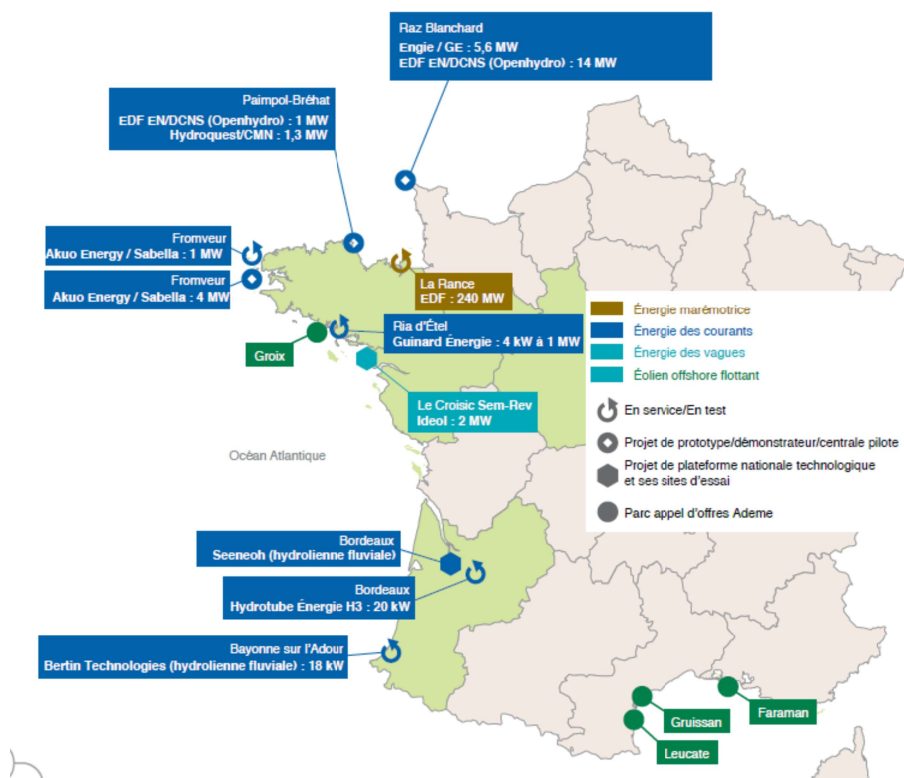
La technologie hydrolienne se compose d'une turbine sous-marine qui utilise l'énergie cinétique des courants marins pour créer une énergie mécanique transformée ensuite en électricité par un alternateur. Le potentiel français se situerait entre 2,5 et 3,5 GW, soit l'un des premiers européens. La quasi-majorité des projets sont en cours de développement. Il existe certaines hydroliennes en état de fonctionnement, de façon partielle, dans le passage du Fromveur dans le Finistère.

Les usines marémotrices utilisent la force des marées pour produire de l'électricité. Il existe un seul ouvrage de ce type sur le territoire national, le barrage de la Rance, de 240 MW, inauguré en 1966. Il est encore aujourd'hui parfaitement rentable et produit environ 5 GWh/an, soit l'équivalent d'un tiers de l'électricité générée en Bretagne. Il existe peu de barrages marémoteurs dans le monde, en raison des difficultés d'acceptabilité sociale qu'ils posent. Deux projets sont en cours dans la baie d'Audierne et sur le site expérimental de Sem-Rev (Le Croisic).

L'énergie houlomotrice est une forme concentrée de l'énergie du vent. Les centrales houlomotrices récupèrent une partie de l'énergie cinétique des vagues pour la transformer en énergie électrique. Selon l'ADEME, la capacité théorique serait de 400 TWh. L'objectif, à l'heure actuelle, est d'exploiter 10% de ce potentiel, principalement sur la façade Atlantique. Actuellement, le site d'expérimentation SEM REV du Croisic teste différents concepts houlomoteurs dans le cadre de l'Institut d'Excellence en Energies Décarbonisées (IEED). Il s'agit du seul site actuellement en cours d'expérimentation.

La figure 4 récapitule l'ensemble de ces projets d'énergies marines (sauf les éoliennes fixes).

Figure 4 : Ensemble des projets offshore d'énergies marémotrices, hydroliennes, houlomotrices et d'éoliennes flottantes en France (Observ'Er, 2016)



I.D. Etat des lieux des centrales électriques

Les centrales électriques installées sur le littoral utilisent l'eau de la mer pour le refroidissement de leurs installations, il est donc nécessaire de l'inclure dans les énergies utilisant le milieu marin. Plusieurs types de centrales électriques sont distingués en fonction de la source d'énergie utilisée. Le tableau présente l'ensemble des parcs électriques en activité en France en 2017.

Tableau 1 : Ensemble des parcs électriques installés ou en cours d'installation sur le littoral en 2017 en France (EDF)

Site	Constructeur	Année de mise en fonction	Nombre d'unités	Puissance par unité MW	Puissance totale MW
CHARBON					
Le Havre	EDF	1983	1	600	600
Cordemais	EDF	1983-1984	2	600	1200
CYCLE COMBINÉ GAZ NATUREL					
Dunkerque	ENGIE	2005	2	400	800
Martigues	EDF	2012-2013	2	465	930
NUCLEAIRE					

Gravelines	EDF	1980-1985	6	900	5400
Penly	EDF	1990-1992	2	1300	2600
Paluel	EDF	1984-1986	4	1300	5200
Flamanville	EDF	1985-1986	2	1300	2600
Flamanville	EDF	2018	3	1 650	1 650
Le Blayais	EDF	1981 - 1983	4	900	3 600
FUEL					
Cordemais ¹	EDF	1976	2	700	1400

La quasi-majorité des centrales électriques sont de type nucléaire. Les centrales thermiques à flamme (gaz, charbon, combustion, fuel, à combustion) occupent une place plus petite et sont utilisées pour ajuster la production d'électricité à la consommation. Pour faire face à la nouvelle réglementation européenne sur les émissions de carbone, certaines centrales thermiques à flamme se voient fermées, d'autres modernisées.

I.E. Réglementation

Depuis 2012, la réglementation en vigueur n'a pas changé. Celle-ci se situe en annexe de ce document.

II. Etat des lieux à l'échelle de la façade Sud Atlantique

L'analyse produite dans le cadre de 'l'utilisation des eaux marines' de la DCSMM est réalisée à l'échelle des sous-régions marines. La façade Sud Atlantique (SA) et ses eaux marines constituent une partie de la sous-région marine Golfe de Gascogne (SRM GdG). Ainsi, les résultats présentés ci-après sont à entendre à l'échelle un peu plus large que celle de la façade SA : celle de la SRM Golfe de Gascogne.

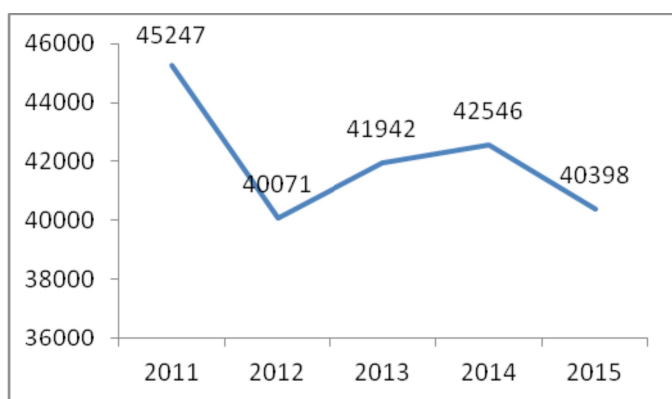
La majorité des projets d'énergies marines renouvelables sont à l'état de prototype ou de démonstration. De ce fait, il n'est pas possible de dresser un portrait économique de la région, ni d'évaluer la valeur ajoutée générée par le secteur. Un inventaire des projets d'énergies marines renouvelables est néanmoins réalisé. Concernant les centrales électriques situées sur les littoraux, les données manquent en termes de valeur ajoutée et de chiffres d'affaires, seule la production a pu être analysée.

II.A. Production électrique littorale

Une centrale nucléaire est présente dans la SRM GdG (tableau 1). La figure 5 montre l'évolution de la production électrique d'origine nucléaire par les centrales basées sur le littoral de la façade.

Figure 5 : Production d'origine nucléaire en TWh par les centrales basées sur le littoral du Golfe de Gascogne (RTE, 2017)

¹ La tranche fioul a été mise à l'arrêt en 2018 (source : EDF, consultation des instances et du public).



II.B. Production éolienne posée en mer : les projets en GdG

Le tableau 2 présente les projets d'éolien offshore fixe en GdG retenus dans le cadre des appels d'offres.

Tableau 2 : Ensemble des projets de parcs éoliens offshore fixes en GdG en 2017

Site	Constructeur	Année de mise en fonction	Nombre d'unités	Puissance totale MW	Taille (km ²)	Coût	Emploi
Premier appel d'offre							
Saint-Nazaire	Éolien Maritime France	complet en 2020	83	480	78	2 milliards d'euros	300
Seconde appel d'offre							
Yeu-Noirmoutier	Engie (EDP, Neoen Marine, Areva)	complet en 2021	62	496	83	2 milliards d'euros	1500

II.C. Production d'éoliennes flottantes : les projets en GdG

Le tableau 3 présente les projets de parcs d'éoliennes flottantes dans la SRM GdG.

Tableau 3 : Ensemble des projets de parcs éoliens flottants offshore dans la SRM GdG – DGEC

Site	Constructeur	Année de mise en fonction	Nombre d'unités	Puissance totale MW	Taille du site (km ²)	Coût
Croisic	Quadran, Servion, Ideol		4	24		
Groix	Eolfi, DCNS, GE	2019 - 2020	4	24	11	1.200 millions

						d'euros
--	--	--	--	--	--	---------

A 20 km au large du Croisic, le premier modèle d'éolienne offshore flottante, baptisé Floatgen, est en phase de démonstration. C'est la première éolienne offshore installée en France. Lorsqu'elle sera en phase d'exploitation, elle sera capable de produire 2 MW, soit la consommation annuelle d'environ 2000 foyers.

II.D. Production d'énergie marémotrice : les projets en GdG

Tableau 4 : Ensemble des projets de centrales marémotrices dans la SRM GdG – DGE

<i>Site</i>	<i>Constructeur</i>	<i>Année de mise en fonction</i>	<i>Nombre d'unités</i>	<i>Puissance totale MW</i>	<i>Taille (km²)</i>	<i>Coût</i>
Baie d'Audierne	DCNS, Fortum	n.d	1	1,5	n.d	n.d
Sem-Rev (Le Croisic)	Geps Techno de Saint-Nazaire	n.d	1	60	0,3	n.d

III. Interactions de l'activité

III.A. Interactions avec d'autres activités

Le tableau ci-dessous référence les impacts potentiels des énergies renouvelables sur les autres activités maritimes.

Tableau 4 : Impacts potentiels entre les EMR et les autres activités maritimes (Direction générale de l'énergie et du climat, 2012)

Thèmes	Conflits potentiels
Pêche professionnelle	Impacts sur les espèces commerciales Perte de superficie de pêche Modifications des trajets de pêche Augmentation des coûts en carburant et perte de bénéfice
Activités aquacoles : pisciculture marine et activités conchylicoles	Impact de l'implantation des EMR et des câbles de raccordement sur des exploitations existantes au large ou sur l'estran Impact indirect sur la qualité de l'eau pendant les travaux, l'exploitation et le démantèlement des EMR
Zones d'évolution militaire	Perte ou restriction d'espaces utilisables
Câbles de communication sous-marine	Perte ou restriction des couloirs disponibles pour leurs implantations
Extraction de granulats marins	Perte temporaire ou restriction des extractions

	Perturbation des exploitations existantes
Activités pétrolières et gaz offshore	Exclusion temporaire ou restriction d'exploitation ou d'exploration
Sites d'immersion de matériaux de dragage	Perte des capacités d'accueil du site
Tourisme	Modification du paysage qui entraîne des pertes de revenus liés au tourisme

III.B. Interactions avec le milieu marin

III.B.1. Interactions de type 'pressions-impacts'

III.B.1.i. Pressions/impacts exercés par les installations de production d'électricité sur le littoral

Le prélèvement d'eau utilisé pour le refroidissement des centrales nucléaires sur le littoral ainsi que le rejet d'eau réchauffée peuvent perturber les écosystèmes mais en zones très localisées. Pour prévenir le développement de biosalissures dans les circuits de refroidissement, les centrales nucléaires de bord de mer utilisent pendant une partie de l'année un biocide (chlore actif produit in situ par électrochloration de l'eau de mer). Les décisions de l'Autorité de Sûreté Nucléaire applicables à chaque centrale fixent les prescriptions relatives à ce traitement protecteur de la source froide, aux rejets associés et à la surveillance dans le milieu naturel sur la base des résultats des études d'impact environnementale et sanitaire. Enfin, les installations de production d'électricité sur le littoral peuvent également être sources de dérangement pour la faune.

III.B.1.ii. Pressions/impacts exercés par les installations de production d'énergie marine renouvelable (EMR)

Hormis le site de la Rance, aucun projet d'énergies marines renouvelables n'est en activité. Les pressions et impacts décrits ci-après sont donc potentiels. Les phases de construction des parcs et les phases d'exploitation sont distinguées car les impacts (positifs et négatifs) ne sont pas systématiquement les mêmes et peuvent ne pas avoir la même ampleur. Ils diffèrent également selon la technologie employée.

- Pressions/Impacts identifiés lors de la phase de construction (Direction générale de l'énergie et du climat, 2012) :

- génération du bruit et de vibrations lors du transport du matériel et son installation (impacts notamment sur les mammifères marins) ;
- modification des fonds marins lors de la préparation du terrain en vue de l'installation ;
- remise en suspension des matériaux et de particules qui entraîne une augmentation de la turbidité et du colmatage.
- dommages et pertes physiques d'habitats benthiques.

- Pressions/Impacts identifiés lors de la phase d'exploitation (Direction générale de l'énergie et du climat, 2012) :

- génération de bruit et de vibrations dues au fonctionnement de certaines EMR (éoliennes offshore fixes et flottantes notamment) ;
- introduction de substances chimiques via la peinture antifouling utilisé sur les structures des EMR afin d'éviter la prolifération d'espèces qui constitue une entrave potentielle à leur fonctionnement et d'anodes sacrificielles;
- risque de collisions avec l'avifaune et chiroptères ;
- dérangement, qui se manifeste pour certaines espèces par de l'évitement des parcs éoliens et peut entraîner une modification/allongement de leur routes migratoires par effet barrière (malgré le manque de preuve empirique à ce sujet) ; le dérangement peut également engendrer des pertes de zones fonctionnelles en mer pour les oiseaux (zone d'alimentation, de repos).

III.B.2. Interactions de type 'dépendance'

Les énergies marines renouvelables ne semblent pas dépendantes de la bonne santé du milieu marin.

Références :

Ademe, Chabot B, 2002, Premières conclusions tirées de l'analyse économique des projets éoliens à terre et en mer ». Séminaire Ademe-Clarom « Eoliennes offshore », Rueil : IFP, 10 pages.

RTE, 2017, Base de données EcoMix : <http://www.rte-france.com/fr/eco2mix/eco2mix>

DGEC, Etude méthodologique des impacts environnementaux et socio-économiques, 2012, 361 pages.

Ernst & Young, 2009, Cost and financial support for offshore wind. London: Department of Energy and Climate Change, URN 09D/534, 27.4.2009, 37 pages.

Observ'Er, 2016, Observatoire des énergies renouvelables, Le baromètre 2016 des énergies renouvelables électriques, Julien Courtel, Aude Richard et Juliette Talpin sous la direction de Frédéric Tuillé, responsable des études,

OCDE-Agence pour l'énergie nucléaire, 2003, Options de rejet des effluents des installations nucléaires. Contexte technique et aspects réglementaires. Protection radiologique. ISBN 92-64-02147-7

Secrétariat général de la mer, 2002, Energie éolienne en mer. Recommandations pour une politique nationale.