

L'INSA Rouen Normandie, implantée au sein de la Métropole Rouen Normandie, propose dix formations d'ingénieurs en région Normandie. Parmi elles, la formation ingénieure Génie Civil et Urbain, a ouvert ses portes en 2008 sur le campus du Havre. En convention avec l'Université Le Havre Normandie, elle s'étend sur 3 ans à l'issue d'un premier cycle INSA ou d'un bac +2. Elle regroupe une trentaine d'élèves par promotion et accueille, depuis 2020, un double cursus Architecte-Ingénieur. Par des enseignements scientifiques théoriques et pratiques, des projets et des enseignements d'humanité, elle forme les futurs ingénieurs au pilotage, à la conception, la réalisation, l'exploitation ou encore la gestion d'ouvrages et d'infrastructures diverses. La présente contribution a été formalisée par des étudiants de 4ème année de double diplôme Ingénieur Génie Civil et Architecture, dans le cadre d'un projet pédagogique axé sur le montage et le pilotage d'une opération d'aménagement.

Contact : Département Génie Civil et Urbain

Adresse : 77 rue Bellot  
76600 Le Havre

Tel : 03 32 95 99 50

Mail : ai4@insa-rouen.fr

## Comment concilier activités marines et sécurités sociétales et sanitaires ?

La France s'est engagée dans un objectif de neutralité carbone à atteindre d'ici 2050. Pour réduire l'émission de gaz à effet de serre, une des solutions est de produire plus d'énergie renouvelable et de réduire la consommation des énergies fossiles (qui représentent aujourd'hui  $\frac{2}{3}$  de la consommation française). Aujourd'hui, la France possède des sources diversifiées pour produire de l'énergie, cependant, celles-ci ne sont pas assez développées et puissantes pour substituer les énergies fossiles. A cela, s'ajoute une constante augmentation des besoins et des prix en électricité depuis plusieurs années. Face à ce constat, l'État propose une solution : développer les énergies marines avec en tête d'affiche l'éolien en mer. La façade Normandie Haut-de-France, présente un environnement propice au développement des énergies marines sur de nombreux points de vue. Cependant, l'espace marin et littoral est déjà occupé par des activités diverses et de plus en plus denses. En effet, le littoral est un territoire attractif que ce soit socialement ou économiquement : industrie de la pêche, commerce et économie maritime, tourisme, transport, riche biodiversité, qualité de vie... Néanmoins, ce même littoral est fragile et vulnérable face à la montée des eaux et aux reculs du trait de côte. Le développement du littoral et son exploitation se fait malheureusement souvent au détriment de l'environnement et de la biodiversité locale dont il est pourtant plus qu'essentiel de protéger. Ainsi, à travers ce cahier d'acteurs nous essaierons de montrer l'enjeu auquel fait face la façade Normandie Haut de France pour concilier usages, activités maritimes et littorales tout en minimisant les risques sociétaux et sanitaires. Nous expliquerons dans un premier temps quel est l'impact du recul du trait de côte et de la montée des eaux sur la société, puis, dans un deuxième temps, que l'énergie renouvelable en mer peut être une des solutions pour lutter contre le réchauffement climatique. Enfin, nous évoquerons ses propres limites.



## L'IMPACT DU RECU DE LA CÔTE ET DE LA MONTÉE DES EAUX SUR LA SOCIÉTÉ

La mer est essentielle à protéger car elle abrite une biodiversité exceptionnelle. Elle est au cœur du défi du changement climatique, car elle joue un rôle essentiel dans les équilibres climatiques et représente un régulateur thermique. Les mers et océans sont au cœur de multiples enjeux comme la préservation de la biodiversité des espaces maritimes, la gestion des activités existantes et émergentes et la transition énergétique et écologique.

En plus de ces enjeux, la mer fait face à une augmentation exponentielle de son niveau moyen. Si les émissions de gaz à effet de serre ne cessent d'augmenter, alors le niveau de la mer pourrait s'élever de plus d'un mètre d'ici 2100 ! Ainsi, de nombreuses communes du littoral, et leurs habitants, sont exposés au risque de submersion marine. Par exemple, en Seine Maritime, ce sont 18 communes qui sont concernées.

La submersion marine est causée par une élévation temporaire du niveau de la mer souvent associée à une agitation du plan d'eau. Plusieurs facteurs entrent ainsi en jeu, comme la marée et son coefficient, la pression atmosphérique, le vent et la houle. Des solutions doivent être trouvées pour que des drames comme celui de la tempête Xynthia ne se reproduisent pas. Construire des digues n'est pas forcément la meilleure des choses à faire car la construction et la maintenance sont coûteuses et accentuent les phénomènes d'érosion. On privilégiera des solutions alternatives comme l'augmentation de la résistance du bâti ou la relocalisation des biens les plus exposés.

La montée des eaux participe à l'érosion des littoraux, faisant ainsi reculer le trait de côte. Le trait de côte est par définition la limite entre la mer et la terre. Le retrait de cette délimitation provoque de nombreux dommages sur la biodiversité et l'écosystème côtier, créant des déséquilibres dans les lieux. Mais ceci apporte aussi un certain nombre de risques aux populations habitant sur le littoral, notamment un fort risque d'inondations. L'augmentation du niveau de la mer et le retrait du trait de côte font empiéter la mer sur la terre, qui vient détruire les dunes et augmente l'érosion, mettant en danger les constructions et logements du littoral. C'est un réel enjeu sociétal car si ce phénomène s'intensifie, ce sont de nombreuses personnes qui vont devoir quitter leur domicile, et à grande échelle, ce déplacement de population risque d'être très problématique.

Le recul du trait de côte inquiète la population, aussi bien les personnes qui vivent très proche de la mer et qui sont soumis au risque de submersion marine, que d'autres qui remarquent un certain désintéressement de l'Etat mais qui



Figure 1 : Carte montrant les zones actuellement sous le niveau de la mer (en bleu) et les zones qui se retrouveraient sous l'eau si le niveau de la mer augmente de 1m en 2100 (en rouge) - (Infographie : creamcrackers. Source carte : Insee Analyses n° 87/décembre 2020)

appréhendent aussi une destruction des littoraux et donc des activités socio-économiques qui s'y trouvent.

On sait aujourd'hui que l'un des moyens de freiner l'augmentation du niveau de la mer est de limiter les émissions de gaz à effet de serre, ce qui signifie donc limiter notre consommation d'énergie et se tourner très largement vers les énergies renouvelables, dont l'éolien fait partie.

## L'EOLIEN, UNE DES SOLUTIONS POUR LUTTER CONTRE LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Pour pallier ces risques liés à la montée des eaux, aussi bien sur la biodiversité que sur les populations, il faut agir et se tourner vers les énergies renouvelables. La loi du 10 mars 2023, relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables, est construite autour de 4 piliers, dont l'accélération du déploiement de l'éolien en mer. Cette loi permettra de rationaliser le cadre législatif applicable aux projets éoliens.

En effet, l'éolien est une source d'énergie bas carbone, c'est-à-dire que la production n'émet pas ou peu de gaz à effet de serre. L'éolien, tout comme les énergies à faibles émissions de carbone, se présente donc comme une solution à privilégier pour favoriser la transition énergétique et répondre aux enjeux environnementaux actuels. D'ici 2030, l'Etat français a pour objectif de produire 40% de son énergie via des énergies renouvelables.

L'éolien en mer a l'avantage de présenter une grande capacité de production, de par le fait que les vents au large soient plus soutenus que sur terre. Développer l'éolien offshore pourrait ainsi aider la France à s'approcher de l'indépendance en électricité.

Bien sûr, il faut avoir conscience de l'importance d'effectuer un mix électrique et énergétique. En effet, aujourd'hui on se concentre presque uniquement sur le vent, mais la mer a de nombreuses autres ressources à mettre à disposition pour produire de l'énergie ! Énergie houlomotrice, énergie hydrolienne, énergie maréthermique, énergie marémotrice, énergie osmotique... Pourquoi ne pas mutualiser les espaces, en ajoutant aux pylônes des éoliennes, des hydroliennes, ou encore en

ajoutant dans cette même zone les quais de ravitaillement des navires, des points de surveillance ou de sauvetage ? Nous pourrions même imaginer implanter des zones de conchyliculture ! Tout ça dans la volonté d'optimiser au maximum l'empreinte de l'Homme sur la nature, qui se trouve touchée par ces projets. Quitte à développer tout un système de raccordement entre la mer et la terre, autant optimiser et anticiper une mutualisation des installations et des activités.

Au-delà du fait que l'éolien puisse être bénéfique pour lutter contre le réchauffement climatique, c'est aussi une branche qui offre énormément d'emploi. Aujourd'hui, c'est déjà presque 1,5 millions de personnes qui travaillent dans ce secteur, et 4800 postes ont été créés en 2020, rien que dans la filière de l'éolien en mer. Le gros enjeu sociétal qu'est l'emploi en France se trouve ainsi en lien avec l'éolien offshore.

### L'EOLIEN EN MER EST-IL SANS RISQUE ?

Si nous avons vu que l'éolien en mer était une solution pour participer à la transition énergétique, il est nécessaire d'évaluer les risques potentiels qu'il pourrait causer.

La baisse de la qualité de l'eau causée par l'installation des éoliennes est un risque qui impacterait les écosystèmes marins, jouant un rôle essentiel dans l'atténuation des changements climatiques et également impactant l'activité halieutique. En effet, l'installation des fondations des éoliennes provoque un remaniement des fonds marins et une remise en suspension des matières fines, pouvant contenir des polluants, qui entraînerait une baisse de la qualité de l'eau. Ainsi, une étude de la couche des sédiments marins est à prévoir avant l'installation des éoliennes en mer, afin de déterminer le degré de pollution de sols pour agir en conséquence.

Aussi, la méthode utilisée pour lutter contre la corrosion des structures métalliques immergées est la protection cathodique par anode galvanique. L'oxydation de ces anodes, souvent composées de zinc ou d'aluminium provoque leurs diffusions dans le milieu marin, risque potentiel de la baisse de qualité de l'eau. L'étude "Anode" (2019-2020) d'Ifremer et France Energies Marines qui évalue quantitativement les métaux libérés dans les milieux marins issus des anodes galvaniques des structures EMR (énergies marines renouvelables), a montré qu'il n'y avait pas de risque associé à la plupart des éléments composant les anodes galvaniques (zinc, fer, cuivre et cadmium). Cependant, l'étude n'a pas pu conclure concernant l'aluminium, manquant d'informations complémentaires. Une nouvelle étude "Ecocap" (2021-2024) de France énergie marines et l'université de Caen Normandie a pour objectif

d'approfondir les risques liés aux anodes galvaniques et notamment sur le risque de l'aluminium dans l'eau de mer. Les résultats de cette étude seront donc à prendre en compte pour préserver une bonne qualité de l'eau.

Enfin, la pollution aux hydrocarbures des bateaux effectuant l'installation et la maintenance des éoliennes est également un risque à prendre en compte, mais relativement minime.

De plus, l'implantation des éoliennes en mer constitue un nouvel obstacle auquel doivent faire face les êtres vivants marins et aériens, mais aussi les bateaux. La partie immergée des éoliennes en mer constitue des nouveaux supports sur lesquels vont se fixer les espèces benthiques, ce phénomène est appelé "effet récif". Le risque est que les structures peuvent être colonisées par des espèces invasives qui perturberaient les espèces marines actuelles et donc l'écosystème marin. Les retours d'expériences montrent que ces nouveaux récifs constituent surtout, un avantage pour le développement de la vie sous-marine.

A cela, s'ajoute le risque de collision pour les oiseaux. Selon une étude de la Ligue de protection des oiseaux (LPO) datant de 2017, la mortalité est hétérogène d'un parc à un autre, et d'avantage importante dans, ou à proximité des ZPS (Natura 2000). Aussi, les oiseaux migrateurs sont les plus touchés. Ainsi, il est important d'entendre ce que préconise la LPO, c'est-à-dire, de refuser l'implantation d'éoliennes à l'intérieur et à proximité des ZPS, de mieux prendre en compte les oiseaux migrateurs nocturnes, et de préserver les espaces vitaux des rapaces diurnes (premières victimes des éoliennes au regard de leurs effectifs de population). Des dispositifs existent pour éviter la collision d'un oiseau sur les éoliennes (caméra de détection avec système sonore pour avertir ou ralentissement des pales), mais restent trop peu efficaces. A noter que la recherche de solution pour éviter cette collision, est importante et concerne aussi bien les éoliennes en mer que sur terre. Rappelons que les oiseaux jouent un rôle essentiel au sein de la biodiversité.



Figure 2 : photographie du parc éolien de Saint- Nazaire (Infographie : © Parc éolien en mer de Saint-Nazaire - Production CAPA Corporate)

Ils pollinisent des plantes, dispersent des graines ou encore aident à combattre les insectes.

Enfin, le dernier risque de collision concerne les bateaux. Ce dernier, impacte les équipiers, la cargaison, qui peut être un polluant, le bateau mais aussi l'éolienne qui devra être réparée. Il est donc important de développer des balisages performants et des réglementations complètes (vitesse limitée, distance à l'éolienne minimale, interdiction du chalutage...) afin d'éviter toute collision, surtout de nuit, par mauvais temps, et lors de la phase de construction où les éoliennes sont peu visibles (par exemple, lorsque seule la partie immergée est construite).

Enfin, il est important de souligner les risques principaux de l'installation des éoliennes sur la santé de la faune marine : le bruit lié aux forages des fondations et les vibrations qui l'accompagnent. Les fondations gravitaires ou flottantes sont donc à privilégier car moins bruyantes. Aussi, des solutions sont à développer et à utiliser pour limiter cette nuisance sonore comme les rideaux de bulles.

En somme, nous avons pu voir que les éoliennes présentent certains risques pour la biodiversité, et donc sociétaux (dérèglement climatique, impact sur les activités halieutiques), mais qu'ils peuvent être limités. Les études scientifiques (études des sols, anodes galvaniques, réduction du bruit, type de fondation) doivent être poursuivies et prises en compte pour le développement de l'éolien en mer. Les dispositifs de visibilité (balisage, système permettant d'éviter la collision des oiseaux) doivent être développés et mis en œuvre. Enfin, les réglementations concernant la pêche et la préservation des zones Natura 2000 devront être mises en œuvre pour concilier sécurité sociétale, limitation des risques et préservation de la biodiversité.

## CONCLUSION.

La façade Normandie-Haut de France est très attrayante et suscite de nombreux défis en matière de sécurité sociétale et sanitaire. Il faut garder en tête qu'elle abrite en plus des activités sociales et économiques actuelles, la moitié des futures zones de projets identifiées par l'État comme étant propice au développement d'énergies marines renouvelables. Cette concentration des opérations sur la façade est source de conflits avec la population locale sujette à au syndrome NIMBY en plus d'être vulnérable face au recul du trait de côte. Dans ce secteur attractif au développement de l'énergie marine, la solution la plus adaptée semble être de renforcer les installations en cours, agir en adoptant une concentration et une mutualisation des installations afin de limiter les risques sociétaux et environnementaux (limiter le changement de paysage côtier à nouveau, perturber une autre zone d'écosystème...). Cependant, il est également nécessaire de s'ouvrir à d'autres opportunités et de ne pas rester focalisé sur un lieu ayant les caractéristiques les plus optimales purement scientifiquement. (ex: concentration des installations à Fécamp aujourd'hui considéré comme étant le site le plus favorable en termes de performance et de rendement). Les enjeux de la diversification sont doubles : ne pas miser toutes les ressources sur un seul site et favoriser l'acceptation par la population locale (sentiment de répartition des charges et des impacts des installations). L'étalement des infrastructures sur la façade est encouragé mais doit être limité et réglementé. Il y a actuellement peu de réglementation en vigueur pour le domaine maritime contrairement au domaine terrestre et la population de la façade Normandie et mer du Nord a besoin d'être rassurée en fixant des zones où l'éolien sera implanté ou non de manière très claire sur les prochaines années pour pouvoir se projeter et accepter sans avoir un sentiment d'invasion et d'impuissance. Malgré ces limites, l'éolien en mer reste une source d'énergie renouvelable prometteuse. Les risques sociétaux et sanitaires restent limités face à l'opportunité que l'énergie marine offre à la France pour se diriger vers un mix énergétique. Les recherches sur les énergies marines avancent et ne cessent de s'améliorer avec le temps. Il faut penser sur le long terme, se projeter vers le futur, accepter le changement sans se restreindre à une seule solution pour garder une place aux futurs progrès.

