

**INSA**  
ROUEN NORMANDIE

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 – INSA Rouen Normandie

**Adresse :** 76 rue Bellot  
76 600 Le Havre

**Tel :** +33 3 32 95 99 50

**Email :** ai4@insa-rouen.fr

## Le point de vue de l'INSA Rouen Normandie sur la mer en débat

### Aménagement et société

En France, nous assistons à une urbanisation croissante, un étalement urbain important, et un développement du tout automobile, ces phénomènes ont des conséquences néfastes sur les populations et les espaces naturels. Les littoraux, fragiles et convoités, y sont d'autant plus exposés. En effet, les littoraux sont des espaces attractifs soumis à une forte pression démographique. En France métropolitaine, l'ensemble des communes côtières ne représentent que 4% de la surface du territoire, mais concentrent pourtant 10% de sa population.

Les conséquences de ces phénomènes, tels que la pression foncière, l'urbanisation proche des côtes, les conflits d'usages ont un impact sur les sociétés et sur les manières d'urbaniser les littoraux. C'est pourquoi il est nécessaire de repenser les méthodes d'aménagement aux abords des côtes. Cette réflexion est essentielle dans le cadre d'un projet d'implantation d'éoliennes en mer car cela pose des questions de préservation des espaces naturels, de transition énergétique, de préservation des activités économiques existantes (pêche, tourisme), mais aussi d'aménagement et de société.

C'est selon le prisme "aménagement et société" que nous allons tenter d'examiner les défis qui doivent être relevés par un tel projet sur le territoire littoral. Notre but sera de mettre en évidence des réflexions sur une organisation du territoire cohérente qui n'irait à l'encontre ni de la population, ni des milieux naturels. Nous tenterons de savoir comment gérer le territoire pour allier économie, préservation de l'environnement, cadre de vie, emploi, loisirs, mobilité, équité sociale... tout en développant un urbanisme plus durable.

En tant qu'étudiants Architectes-Ingénieurs, notre expertise se mesure à notre sens critique concernant les enjeux du littoral, alimentée par nos connaissances en urbanisme qui se spécifient ici aux façades maritimes. En plus de cela, la participation aux ateliers de débat à Ouistreham nous a permis d'identifier clairement les enjeux. Ce cahier d'acteur nous permet donc d'exposer quelques réflexions autour de ce débat, sur des thématiques traitées dans le cadre de nos études et approfondies avec ce travail de rédaction synthétique.



## TRAIT DE CÔTE ET PAYSAGE

### Trait de côte et aménagement

Le recul du trait de côte est le déplacement vers l'intérieur des terres de la limite entre le domaine marin et le domaine continental. En général, c'est la conséquence d'une perte de matériaux sous l'effet de l'érosion marine naturelle, induite par les forces marines, alliée parfois à des actions continentales, ou d'une érosion générée ou accélérée par l'homme. Ceci combiné à la hausse de la température de l'air (1,2°C depuis la période pré-industrielle) qui cause la fonte des glaciers et la dilatation de l'eau et donc l'augmentation du volume des mers et des océans, en somme une hausse du niveau marin. Cette hausse du niveau marin a pour conséquence une accentuation d'une érosion côtière avec des répercussions sur la stabilité de certains versants littoraux.

Aujourd'hui, il existe une liste de communes impactées par le recul du trait de côte qui possèdent des ZERTC (Zone Exposée au Recul du Trait de Côte). Ces zones sont délimitées dans certains documents d'urbanisme afin d'adapter leur aménagement (si besoin par démontage ou démolition de certaines constructions et installations) en fonction de l'exposition au recul du trait de côte, à divers intervalles de temps. Leur délimitation dans ces documents d'urbanisme distingue les zones exposées au recul du trait de côte à l'horizon de 30 ans et celles exposées de 30 à 100 ans. Pour mieux tenir compte de ce cas particulier, la France a adopté une Stratégie Locale de Gestion Intégrée du Trait de Côte : SLGITC. Cette stratégie a pour objectifs d'améliorer la connaissance sur le trait de côte et son recul, et de mieux l'intégrer dans l'aménagement du littoral. Dans le but de prévenir les conséquences du recul de trait de côte sur les biens qui y sont exposés, un outil foncier a été créé : le droit de préemption pour l'adaptation des territoires au recul du trait de côte (DPRTC). Ce droit s'applique aux ZERTC à l'horizon de 30 ans. Un autre moyen d'accompagner l'adaptation des communes exposées au recul du trait de côte est le Bail réel d'adaptation à l'érosion côtière (BRAEC). En bref, il permet une gestion temporaire des biens acquis dans les zones exposées au recul du trait de côte. Grâce à ce bail, son preneur peut, de manière temporaire, bénéficier de droits réels immobiliers afin d'occuper, louer, exploiter, réaliser des installations, des constructions ou des aménagements.

Cependant, tous ces documents réglementaires, sont établis dans une logique de ne pas aggraver la situation mais ne proposent pas de lutte active contre le recul du trait de côte. Pourtant, il existe des moyens de lutter activement. Le ROL (Réseau d'Observation du Littoral de Normandie et des Hauts de France) propose des solutions douces (ingénierie écologique : pieux hydrauliques, épis en bois, géotextiles, rechargement du profil de plage), et plus récemment des Solutions Fondées sur la Nature (SFN). Ces SFN ont été révélées par le comité Français de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) et consistent à "protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés, pour relever directement les enjeux de société, de manière efficace et adaptative". A titre d'exemple, pour ralentir l'érosion des falaises,

une solution fondée sur la nature consisterait à mettre en place des fascines pour créer un écran de branchages retenant le sol afin de diminuer les effets de l'érosion et du ruissellement. Les SFN, ainsi que les solutions douces sont souvent coûteuses pour de petites communes côtières. C'est pour cela qu'il existe à présent une aide cofinancée par l'Union Européenne avec les Fonds Européen de Développement Régional (FEDER) qui permet la réalisation et concrétisation de projets pilotes et expérimentaux, visant à démontrer la faisabilité des démarches d'anticipation et d'adaptation au changement climatique en zone littorale. Cette subvention peut financer une opération à hauteur de 80 % par opération et s'adresse à toutes structures compétentes en matière de planification, d'aménagement, de développement local ou d'animation à l'échelle territoriale du projet : Collectivités, EPCL, syndicat mixte, SEM...

### Eolienne et paysage

L'impact visuel d'un parc éolien sur le paysage est lié à la taille des éoliennes, leur nombre, les conditions météorologiques et la distance entre l'observateur et les éoliennes. Le concept d'intégration paysagère est généralement utilisé lors de la conception de nouvelles infrastructures. Dans le cas de l'éolien, rechercher une harmonie avec le paysage est souvent illusoire en raison du décalage d'échelle avec les autres éléments du paysage. Protéger les paysages de manière traditionnelle n'est pas envisageable. Ainsi, la question à se poser n'est pas "comment dissimuler les éoliennes ?", mais plutôt "comment implanter des éoliennes en produisant de beaux paysages ?". En pratique, un exemple de solution serait d'implanter les parcs en fonction des lignes de forces de paysages pour réduire l'impact et même favoriser la lecture du paysage.

Des photomontages en avant-projet peuvent alors être mis en place pour donner une idée de l'impact visuel sur le paysage, tout comme des concertations sur les sensations visuelles : Mieux vaut-il trois immenses éoliennes ou bien six petites pour un même rendement ? Même question en termes de parc éolien : Mieux vaut-il de nombreux parcs de petite taille et contribuer à un mitage du paysage ou bien un grand parc et sacrifier une seule zone de la façade maritime ? Il pourrait être imaginé d'aller plus loin dans la concertation et de faire des modélisations 3D. Aujourd'hui, il est possible de faire des jeux vidéo très réalistes, rien n'empêche de mettre la pointe de la technologie au service de la concertation en recréant le paysage de nos côtes et en traitant tous les cas de figure : trame d'écartement, nombre d'éoliennes, interdistance entre les parcs.

Une autre stratégie serait de repenser la place de l'éolienne dans notre culture : au lieu de les voir comme des engins électriques qui gâchent la vue, il pourrait être envisagé d'en faire des objets d'art. Ce ne sera pas la première fois que l'art sera associé à l'industrie, comme le centre Pompidou à Paris.



Exemple éolienne peinte à Taiwan

## Production d'énergie et énergie renouvelable

La question de l'énergie en France est un sujet sensible et largement débattu de par son importance dans l'économie du pays et des ménages français.

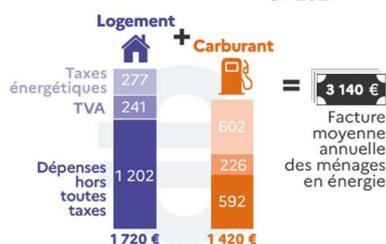
En effet, d'après le ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, en 2022, l'énergie pesait à hauteur de 116 Md€ dans le déficit commercial de la France et représente, pour les ménages, une dépense égale à 9 % de leur budget. Cette facture augmente, elle a été multipliée par 2,6 entre 2021 et 2022.

De plus, en 2022 et pour la première fois depuis 1980, la France est importatrice nette d'électricité, c'est à dire qu'elle a importé plus d'électricité qu'elle n'en a exporté à ses voisins. Simplement parce qu'une partie du parc nucléaire était indisponible en raison de problèmes de corrosion sous contrainte. Les énergies renouvelables peuvent être une solution à ces problèmes énergétiques. Depuis la création de la PPE (Programmation Pluriannuelle des Énergie), outil de pilotage de la politique énergétique pour la croissance verte, elles occupent une part croissante dans le mix énergétique national : 20,7 % en 2022 et les objectifs fixés par la PPE sont d'arriver à 33% en 2030. D'après le SDES (Service des Données et Etudes Statistiques), au 31 décembre 2023, le parc éolien français atteint une puissance de 23,5 GW, dont 22,0 GW d'éolien terrestre et 1,5 GW d'éolien en mer. Le secteur de l'éolien représente 2,5% dans les 20.7% d'énergie renouvelable. D'ici 2035, un des objectifs fixés par l'état est d'arriver à 18 GW de capacité éolienne en mer mise en service. Les parcs éoliens en mer présentent deux avantages énergétiques fondamentaux : la puissance installée des turbines peut être considérable car l'environnement s'y prête et le facteur de charge, représentant la durée annuelle de fonctionnement de la machine à pleine puissance, approche les 50%. Cela garantit une production importante et régulière de kWh renouvelables tout au long de l'année.

Cependant, il ne faut pas oublier que l'énergie qui a le moins d'impact est celle que nous n'avons pas besoin de consommer, et donc de produire. C'est pourquoi, selon le plan sobriété énergétique, dès le mois de juin, la France devrait réduire sa consommation d'énergie de 40% d'ici 2050. Cela suppose de transformer durablement les habitudes et les comportements des Français en termes de consommation. Ainsi, il ne faut pas que cette nouvelle source d'énergie renouvelable vienne grossir la production d'énergie mais plutôt remplacer les énergies fossiles.

Cela serait souhaitable que les données mises en ligne par l'État soient plus transparentes sur le remplacement des énergies fossiles par des énergies renouvelables.

Facture des ménages en énergie en 2021



## Eolien et durabilité

La durabilité d'un parc éolien se mesure à son efficacité énergétique, sa capacité à durer dans le temps et son impact sur l'environnement.

La durée de vie d'un parc éolien est de 20 à 30 ans selon l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME). Au-delà de cette durée, les installations deviennent inefficaces et la fiabilité technique des éoliennes est insuffisante. A noter qu'en l'absence de retours d'expériences suffisants sur les parcs éoliens en mer, les mêmes hypothèses que les parcs éoliens terrestres ont été formulées par l'ADEME.

La question du démantèlement des parcs éoliens se pose alors. Un projet, porté par un partenariat entre le centre de recherche britannique Offshore Renewable Energy (ORE) et l'organisation environnementale Zero Waste Scotland fondée par le gouvernement écossais, a pour ambition de recycler et de réutiliser les matériaux extraits du démantèlement de 600 éoliennes en mer, d'ici 2030. Ces matériaux en fin de vie pourront alors être ré-usinés, remis à neuf et bénéficier aux implantations de futurs parcs éoliens offshore. Cette initiative permet de réduire les déchets générés par les éoliennes et d'offrir des opportunités économiques pour le marché de l'éolien en mer.

Le gain considérable du recyclage des éoliennes pousse la France à faire émerger des initiatives similaires. Certains objectifs sont déjà fixés pour l'éolien terrestre, avec par exemple 95% du poids des éoliennes devant être recyclé à partir de 2024. Ces objectifs sont jumelés à de nouvelles innovations en termes de matériaux comme les matériaux composites qui composent les pales d'éoliennes, et qui sont plus facilement recyclables. Nous pouvons également nous poser la question des changements de modes de production d'énergie qui pourraient entraîner le délaissement des parcs éoliens en mer. En effet, la recherche en matière d'énergie engendre l'émergence de nouveaux modes de production de l'énergie, pour la plupart toujours plus respectueux de l'environnement. C'est ainsi qu'on peut envisager que de nouveaux modes de production énergétique émergent dans les 30 à 50 prochaines années et viennent remettre en cause l'intérêt que nous portons à l'énergie éolienne.

Parler de la durabilité des éoliennes implique de parler de leur rentabilité : la rentabilité des parcs éoliens se mesure à partir de leur rendement, soit du rapport entre l'énergie reçue et l'énergie produite par les éoliennes. Le rendement des parcs éoliens en mer est 2 fois plus important que le rendement de l'éolien terrestre, à puissance égale. Cela fait de l'éolien en mer un mode de production d'énergie particulièrement efficace.

## Eolien et partage des espaces maritimes

L'installation des éoliennes doit faire face à un autre enjeu majeur, celui du partage de l'espace maritime. Les parcs éoliens ne peuvent ni se trouver trop proche des côtes pour des raisons de sécurité, ni trop loin pour le raccordement. Il reste alors une zone étroite où les parcs sont idéalement installés, cette même zone est cependant prisée par d'autres acteurs : les bateaux

de commerces, de pêche et de loisir, sans oublier l'importance de la biodiversité.

D'abord, les voies maritimes dessinées pour le commerce international ainsi que les sorties et entrées de port doivent être prises en compte dans l'installation des parcs éoliens. Ni bateaux, ni équipements ne peuvent être amarrés ou installés sur ces voies. Une note technique du ministère de l'Environnement datant de 2016 recommande les zones propices à l'installation des éoliennes en mer en prenant en compte la sécurité du trafic maritime : la manœuvrabilité et giration des navires, les arrêts d'urgence, l'espace suffisant pour évaluer le risque d'abordage, la distance nécessaire pour minimiser les perturbations sur les radars des navires et sur les systèmes de radionavigation. Il en est conclu que la distance minimale de sécurité entre routes de navigation maritime et champs éoliens offshore est de 2 milles nautiques (3 704 m) et se limite à 0.45 milles nautiques (800 m) pour des circonstances particulières.

Ensuite, les aires maritimes protégées (AMP) sont, selon le ministère de la Transition Ecologique des "espaces délimités en mer qui répondent à des objectifs de protection de la biodiversité marine et qui favorisent la gestion durable des activités maritimes". L'objectif est de préserver un patrimoine naturel et une biodiversité exceptionnelle tels que les récifs coralliens, les herbiers de posidonie et les espèces en voie de disparition. Concrètement, d'ici 2030, 10% du territoire national devra être couvert d'une protection forte et 30% du territoire national terre et mer sous juridiction sera couvert d'aires protégées. Il semble plutôt logique que l'installation des éoliennes en mer dans ces zones soit interdite ou du moins fortement réglementée et contrôlée. Ceci parce que leur installation et leur présence altéreraient les fonds marins (pour les éoliennes ancrées dans le sol), interféreraient avec les axes de migration, perturberaient la communication des animaux sous-marins, ...

Type d'aire marine protégée	Comptabilité avec un projet éolien
Parc National (cœur)	Non
Réserve Naturelle Nationale	Non
Réserve Naturelle Régionale	Sous conditions
Parc Naturel Marin	Avis du conseil de gestion (simple ou conforme) ou du Conseil d'administration de l'OFB
Site Natura 2000	Soumis à évaluation d'incidences
Site Conservatoire du Littoral	Non
Arrêté Protection de Biotope	Non

L'exemple de la ville de Dunkerque nous montre qu'un parc éolien a été installé sur le réseau Natura 2000 (une aire maritime de protection européenne ayant pour objectif la protection des oiseaux et de leur habitat). Juridiquement, un projet peut être implanté uniquement s'il ne porte pas "atteinte aux objectifs de conservation d'un site Natura 2000" (article L. 414-4 VI. du Code de l'environnement).

Un projet de parc éolien doit donc être conçu dans une logique d'évitement de ces zones en suivant la séquence "éviter/réduire/compenser" : si l'installation dans ces zones ne peut pas être

évitée, des études d'impacts doivent être réalisées et l'avis de l'Office Français de la Biodiversité (OFB) respecté. A noter que l'implantation des éoliennes n'est pas toujours négative pour la biodiversité. En effet, de nouvelles espèces peuvent se fixer sur le mât des éoliennes et alors attirer leurs prédateurs, cela s'appelle "l'effet récif". L'écosystème est drastiquement changé mais peut fonctionner si les nouvelles espèces ne sont pas invasives pour les espèces présentes à l'origine.

Enfin, les espaces réservés aux parcs éoliens doivent cohabiter avec les aires maritimes profitant aux activités de la pêche. Tout d'abord, pendant l'installation des éoliennes (espaces interdits à la navigation et la pêche) puis pendant l'exploitation ; il est en effet difficile de pratiquer la pêche à la drague à cause des câbles, et de naviguer dans le parc et les environs car les radars sont perturbés par les ondes électromagnétiques émises par les éoliennes, ce qui se révèle encore plus dangereux en cas de mauvais temps. L'autre conséquence majeure est la modification de la ressource halieutique (ayant trait à l'exploitation et la gestion des ressources marines), notamment dû à "l'effet récif". Cet effet pourrait être un avantage si le type de pêche s'adapte au nouveau milieu. De plus, parfois "l'effet réserve" se produit : la perte de surface de zone de pêche est compensée avec un enrichissement de l'écosystème, qui promet une pêche plus abondante dans les zones adjacentes.

Par conséquent, lors de l'implantation des parcs éoliens, il est important de concerter bien en amont tous les acteurs concernés afin de prendre en compte les différents besoins, contraintes et sensibilités. Une co-construction en amont permettrait de sélectionner le site le mieux adapté, tout en définissant une réglementation de gestion spécifique et appropriée. Le parc pourrait en parallèle de son rôle énergétique, être à la fois ouvert à la navigation des navires de commerce, de pêche, et de loisirs. Il serait ainsi mieux intégré à la vie des communes concernées et à son environnement et irait jusqu'à devenir une ressource alternative de tourisme voire de sensibilisation.

## Synthèse

Les conditions climatiques actuelles qui causent entre autres le recul du trait de nos côtes, nécessitent une vigilance toute particulière et surtout un passage à l'action par un nouvel aménagement du littoral, notamment grâce au SFN. L'installation de parc éoliens en mer implique un large panel d'acteurs et de secteurs de notre société. Il est important de réunir les habitants pour les informer des enjeux en terme d'énergie et de les concerter pour collecter leurs avis et répondre à leurs craintes. Dans l'optique de créer de nouveaux parcs, tout en préservant la biodiversité et en conservant les axes maritimes, il est important de réunir ces acteurs pour qu'ils aménagent équitablement l'espace maritime.

