

LES EOLIENNES EN MER: Un groupe d'ingénieurs professionnels de France ont eu le plaisir de visiter le parc

éolien en mer du calvados. Ce parc éolien en mer est en cours de construction; il fait partie d'un grand plan de développement de l'éolien français dans lequel EDF s'est inscrit comme d'autres fournisseurs d'énergie. Actuellement Saint Nazaire, saint Briec, Fécamp sont en fonctionnement . Ils représentent 1,48 Giga Watts sur les 45 Giga Watts prévu en 2050. D'autres sont à différentes étapes : l'étude préliminaire, l'étude des travaux ou la construction des différents éléments et la mise en fonction partielle ou totale. On peut en citer quelques-uns sur la Manche : Dunkerque, Dieppe, le

Tréport, **Courseulles sur mer** (qui est dénom-

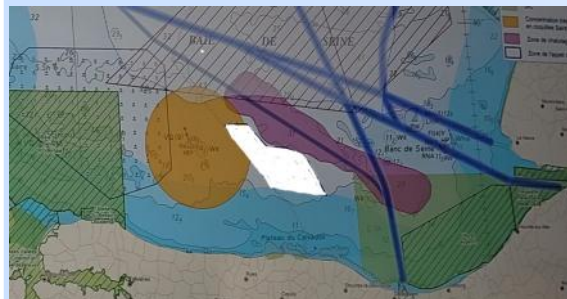
mé le **parc éolien du calvados**). Le centre Manche 1, le centre Manche 2 .Le sud Bretagne, Yeu Noirmoutier, le sud Atlantique et sur la méditerranée : Des éoliennes flottantes soit au stade prototypes ou bien en expérimentation industrielle PGL , Port Saint Louis du Rhône ou en cours de construction. **Le parc éolien du Calvados a été installé dans un endroit spécifique** bénéficiant du plateau continental peu profond.il est dans une bonne exposition au vent.

Le site du Calvados comprend le parc des éoliennes près de **Courseulles**, et le site de maintenance et d'exploitation localisé sur le port de Ouistreham .L'emplacement est dans une zone particulière qui prend en compte l'évitement des différents lieux de protection de l'environnement protégé (les animaux oiseaux poissons), la pêche avec les zones de coquilles saint Jacques, les zones militaires et le trafic maritime des bateaux sur la Manche. L'espace du parc éolien du fait de ses contraintes s'étend sur une surface de 40 km2 alors que les autres parcs font environ 70 km2. Le parc « Calvados » comprend 64 éoliennes. **La distance entre chaque éolienne est de 1 km de part et d'autres** et de manière symétrique. Les pêcheurs pourront évoluer sur le site moyennant une règle préalablement établie, une fois que toutes les éoliennes seront installées; sachant qu'il existe un système de jachère annuelle pour la pêche des coquilles st Jacques. D'ores et déjà il est observé sur les enrochements installés pour les éoliennes et la protection des câbles électriques une occupation des poissons et crustacés. Afin de participer à la mémoire des lieux maritimes historiques

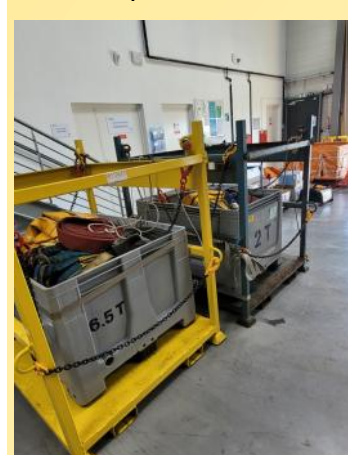
du débarquement de Normandie en 1944 dans lequel le parc éolien est installé, **il a été décidé de baptiser chacune des 64 éoliennes du nom d'un des bateaux qui ont participés à ce débarquement.** Une étude des épaves a été réalisée pour éviter l'implantation des éoliennes dans l'espace sanctuaire de la dernière guerre mondiale. Les éoliennes sur ce parc possèdent un mat de 81 mètres au-dessus du niveau de la mer. Les pales mesurent 75 m de long. La verticalité complète (mat et pales) est de 185m. **Le socle des fondations** sur le site sur du Calvados de type fondation mono pieu * fait 9 mètres de diamètre pour une grande majorité d'entre elles contre 8 mètres de diamètre sur une grande partie des autres sites. (Voir les explications des différents types d'éoliennes ci-dessous). **Il faut 9 jours pour assurer le forage** de chacune des éoliennes. Le bruit sonore sous l'eau des foreuses a été préalablement étudié pour ne pas déranger la faune et du coup la survie des espèces. Les différentes sociétés sont sollicitées pour les différentes parties de la fabrication de l'éolienne, son implantation en mer, la récupération de l'énergie et son transport vers la terre. **Siemens Games** assure la **structure éolienne**, **les Chantiers de l'Atlantique** réalise le **poste électrique en mer**, ce dernier mesure 40 m de long 30 m de large et 30 mètres il collecte l'énergie réalisée par l'ensemble des éoliennes et la renvoie vers la terre pour le réseau RTE. **Prysmian group** est impliqué dans la réalisation des **câbles inter-éoliennes**, **Saipem** : met en œuvre **les fondations en mer**. **RTE** : assure **les raccordements du parc** sur le réseau. **Une flotte de navires participe à l'installation des travaux en mer**. **Le SAIPEM 7000** est en charge des fondations il est le troisième plus grand navire grue semi submersible au monde pour ce type d'exécution. Long de 198 m. **Le BOLD TERN** : C'est un navire auto élévateur conçu pour le transport et l'installation d'équipements off-shore. Il effectue les opérations de forage : Long de 131,72 m. **Le GRANE R** il est en charge de la préparation du sol marin où le bateau auto élévateur pourra se poser et stabiliser ses pieds pour forer les puits ou seront installées les fondations : Long 93 m. **EEMS DOVER** il assure l'approvisionnement en carburant et autres fournitures des navires

Une étude des épaves a été réalisée pour éviter l'implantation des éoliennes dans l'espace sanctuaire de la dernière guerre mondiale.

Les éoliennes sur ce parc possèdent un mat de 81 mètres au-dessus du niveau de la mer. Les pales mesurent 75 m de long. La verticalité complète (mat et pales) est de 185m. **Le socle des fondations** sur le site sur du Calvados de type fondation mono pieu * fait 9 mètres de diamètre pour une grande majorité d'entre elles contre 8 mètres de diamètre sur une grande partie des autres sites. (Voir les explications des différents types d'éoliennes ci-dessous). **Il faut 9 jours pour assurer le forage** de chacune des éoliennes. Le bruit sonore sous l'eau des foreuses a été préalablement étudié pour ne pas déranger la faune et du coup la survie des espèces. Les différentes sociétés sont sollicitées pour les différentes parties de la fabrication de l'éolienne, son implantation en mer, la récupération de l'énergie et son transport vers la terre. **Siemens Games** assure la **structure éolienne**, **les Chantiers de l'Atlantique** réalise le **poste électrique en mer**, ce dernier mesure 40 m de long 30 m de large et 30 mètres il collecte l'énergie réalisée par l'ensemble des éoliennes et la renvoie vers la terre pour le réseau RTE. **Prysmian group** est impliqué dans la réalisation des **câbles inter-éoliennes**, **Saipem** : met en œuvre **les fondations en mer**. **RTE** : assure **les raccordements du parc** sur le réseau. **Une flotte de navires participe à l'installation des travaux en mer**. **Le SAIPEM 7000** est en charge des fondations il est le troisième plus grand navire grue semi submersible au monde pour ce type d'exécution. Long de 198 m. **Le BOLD TERN** : C'est un navire auto élévateur conçu pour le transport et l'installation d'équipements off-shore. Il effectue les opérations de forage : Long de 131,72 m. **Le GRANE R** il est en charge de la préparation du sol marin où le bateau auto élévateur pourra se poser et stabiliser ses pieds pour forer les puits ou seront installées les fondations : Long 93 m. **EEMS DOVER** il assure l'approvisionnement en carburant et autres fournitures des navires



(suite 1) travaillant sur place : Long 107,95 m. Pendant les travaux en cours une flottille de vedettes assure la sécurité du chantier empêchant les bateaux pêcheurs ou autres navires de s'approcher trop près ou s'aventurer dans la zone du parc éolien. Le jour de notre visite **290 personnes travaillaient sur le parc en mer**. Certains bateaux sont installés pour que le personnel soit hébergé avec restauration, chambres, salle de détente. Le site de Ouistreham est à 19 km du parc éolien. Il est installé en début du port qui permet aux bateaux de grand gabarit d'apporter les matériels nécessaires à la maintenance du parc. Ce site dispose d'un bâtiment de 1972 m² avec 3 zones pour les équipes d'exploitation, de maintenance et les bureaux. 30 personnes travaillent actuellement sur ce site. Lorsqu'il sera opérationnel une centaine de personnes dont 60 p en maintenance des éoliennes seront présentes sur le site. Le site dispose d'une salle de coordination des travaux qui deviendra par la suite une salle d'exploitation électrique. Cette salle avec des moyens informatiques et visuels, assure le contrôle des travaux par caméras interposées, Cette salle permet à ses équipes d'effectuer les contrôles du nombre de personnes effectuant les opérations sur le parc éolien et des bateaux qui travaillent sur le site le parc. Dans la salle on s'assure de la qualification des techniciens sur le chantier en mer en fonction de la spécificité des travaux, des qualifications et des homologations exigées pour le travail de chaque journée. On peut voir sur des écrans les personnes qui exécutent leurs travaux quotidiens et il est possible de contrôler si elles sont au bon endroit dans les travaux demandés. Dans cette salle on surveille aussi les bateaux de pêcheurs et autres très proches des zones d'activités éoliennes. Le parc dispose des bateaux dit « chien de garde » qui surveillent la proximité de la zone. Ils sont en liaison directe avec la police maritime. Le site de terre de Ouistreham est en lien avec les stations météorologiques. Le service de pilotage en salle peut décider l'arrêt des travaux en mer si les conditions météorologiques sont défavorables. Le service de pilotage de ce site travaille en équipe de 3*8H. **De plus ce centre a en liaison visuelle l'ensemble de la production électriques des autres sites éoliens EDF de France et à l'étranger.** Il connaît en direct les éoliennes en production ou en maintenance, les conditions météorologiques en instantanée et le total de l'électricité produite sur tous les parcs EDF. Le parc du Calvados c'est 7 mega watts par éolienne et de la tension à 33000 volts. Le



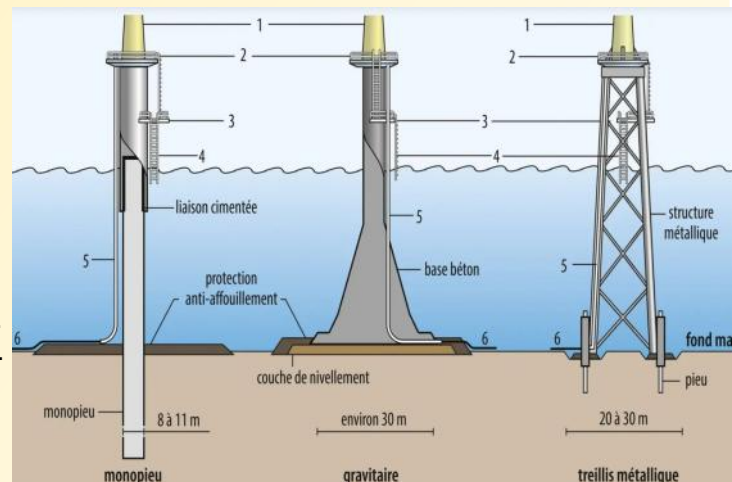
financement du parc éolien du calvados provient de la participation d'EDF avec 2 partenaires actionnaires l'un canada et l'autre allemand. **Le site est aussi le centre de maintenance du parc.**

C'est ici que sont préparés les équipements de maintenance dans des bacs. Les éoliennes disposent d'une grue permet leur hissage dans celles-ci des matériels. Les tenues du personnel de la maintenance des éoliennes en mer sont en jaune pour des raisons de visibilité. Une tenue spécifique est mise à leur disposition dès que la température baisse à partir de 12 degrés. Lors des opérations de maintenance des éoliennes, le personnel est au minimum 3 par éolienne pour des raisons de sécurité. EDF recrute des techniciens de maintenance électriques mais surtout la société a besoin que ces techniciens aient la capacité à travailler en plein mer avec des conditions météorologiques variables et qu'ils ne soient pas soumis au vertige.



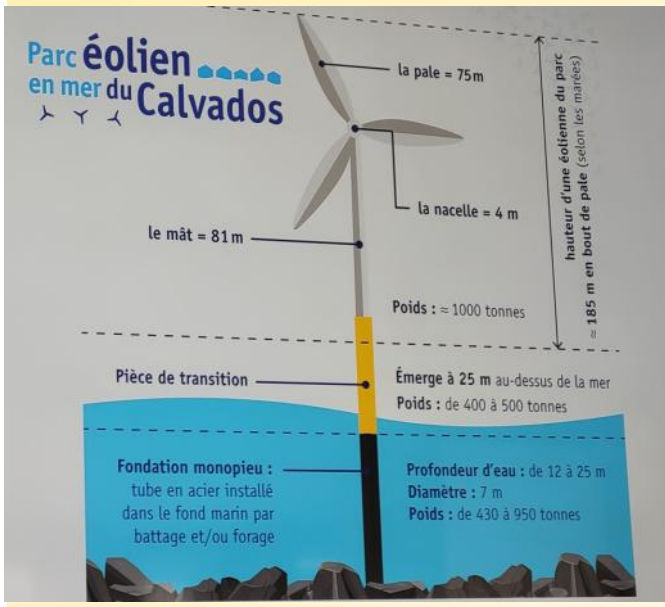
Les différentes sortes d'éoliennes off-shore posées ou enfoncées sur le fond marin : Le parc éolien de Calvados comprend des éoliennes avec la

fondation Mono pieu : La structure est constituée d'un tube en acier. Celui-ci est enfoncé dans les parties dures du sous-sol marin. il peut être comme c'est le cas sur le Parc éolien du Calvados renforcé par des graviers compressés à l'intérieur du tube est sur ses pourtours. **L'éolienne gravitaire** dont la structure est composée d'un socle de base en béton. **L'éolienne Jacket.** La structure en treillis métallique repose sur trois à quatre pieux. Dans chaque fondation, on trouve un **câble inter-éolien qui assure la liaison vers le poste électrique en mer** (le raccordement). **Le fonctionnement des éoliennes offshore reprend le même principe que les modèles terrestres traditionnels.** Concrètement, les pales vont tourner au rythme du vent et entraîner la génératrice. Celle-ci se charge de transformer l'énergie mé-



canique en énergie électrique comme le ferait une dynamo de vélo. Ainsi, elle peut produire de l'électricité verte. Pour produire de l'énergie, elle doit au moins atteindre les 10 km/h.

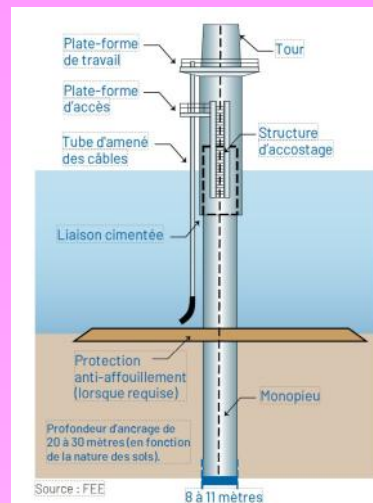
La pale: sa forme profilée lui permet de capter un maximum de vent. **La nacelle** contient la génératrice, c'est ici que l'électricité est produite, le rotor d'une éolienne est composé du nez et de l'hélice (construits sur le même modèle qu'un avion). Son rôle est de convertir l'énergie du vent en énergie mécanique puis il **entraîne un axe** dans la nacelle, **appelé arbre**, relié à **un alternateur**. Grâce à l'énergie fournie par la rotation de l'axe, l'alternateur produit **un courant électrique alternatif**. Le **mât:** Il supporte la nacelle et les pales, il abrite également des éléments électriques importants, **Le Monopieu** c'est la structure métallique constituée d'un pieu enfoncé dans le fond marin



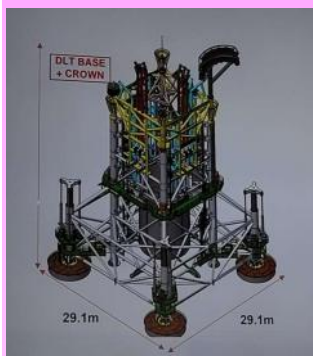
(suite 2) L'éolienne en monopieu sa spécificité d'ancrage sur le sol sous-marin

Cette fondation est effectuée par différents bateaux . **Le GRANE R** il prépare le sol marin où le bateau auto élévateur

pourra se poser et stabiliser ses pieds pour forer les puits où seront installées les fondations : **Le BOLD TERN** : est le navire auto élévateur qui effectue les opérations de forage. **Le SAIPEM 7000** est en charge des fondations il est le troisième plus grand navire grue semi submersible au monde. L'opération est d'abord de consolider le sol pour reposer et stabiliser le bateau auto-élévateur qui effectue le forage. La foreuse est posée au sol pour creuser le sous-sol marin et réaliser un trou d'un diamètre de 9 mètres et d'une profondeur d'une vingtaine de mètres le consolider et préparer l'enfoncement du mono pieu. Des graviers sont compressés à l'intérieur du socle et sur les pourtours. La partie basse de l'éolienne comprend à un niveau plus élevé de la mer, une structure d'accostage avec une échelle à grimper pour au moins 3 personnes par équipe de maintenance devant accéder sur l'éolienne.



Le chargement de matériel est transporté par une grue de manutention installée dans chaque éolienne au niveau de la plate-forme de travail. C'est l'une des raisons que les interventions sont effectuées uniquement lorsque la météo et la mer présentent des dispositions favorables. Le poste électrique en mer (Images à droite) Il récupère toute l'énergie réalisée par les éoliennes du parc par les



câbles- interconnectés et il renvoie le courant électrique environ **450 MW par an** avec une **tension de 33000 volts** vers la terre pour le réseau électrique .Les diamètres des câbles sont conséquents.(2 d'entre eux sont présentés en coupe sur l'image de droite avec différents objets).

Les éoliennes flottantes: Elles sont moins développées que les précédentes, elles sont pour certaines en expérimentation. Mais elles promettent d'être en plein essor. En effet elles peuvent être localisées dans des endroits où les conditions des vents sont favorables pour leur fonctionnement sans avoir les problèmes d'un sous- sol marin propice à leur installation En effet, les profondeurs maximales sous-marines pour les éoliennes avec fondation et ancrage sont de 50 à 60 m et le sol et le relief sous- marin doivent être le plus plane possible. Les avantages de leurs localisations, ont aussi des inconvénients comme les mouvements irréguliers des eaux suivant la météo à conjuguer avec le mouvement des pales qui présentent des défis technologiques (équilibre de l'éolienne, usure des matériaux.) - La faune dont les poissons ou crustacées peuvent s'installer et créer des surcharges, des encrassements de l'installation (le biofouling).- Des câbles de récupérations de l'énergie qui sont soumis à des mouvements etc..). En France un parc industriel pilote d'éoliennes flottantes a été installé : **Provence Grand Large PGL** .3 éoliennes flottantes de 8 Megawatts chacune sont en production / expérimentation.



Recyclage des éoliennes : Une très grande partie des éoliennes sont recyclables. Avec des pièces qui peuvent réutilisées en partie ou totalité ,d'autre par la récupération des métaux. Le plus complexes sont les pales qui comprennent des matériaux composites (résine, fibres carbonées, et balsa. Elles sont broyées pour servir de remblai des travaux publics et aussi suivant les composants dans les bétons d'ouvrages Des pales nouvelles comprennent des dispositions techniques qui permettent d'ouvrir en deux les pales dans le cycle de recyclage pour séparer le balsa qui sert d'âme dans les pales avec les résines et fibres carbonées. La filière se penche également sur des travaux consistant à mettre au point des techniques pour séparer les différents composants (époxy et fibres de verre ou de carbone) qui constituent les pales des éoliennes. Cette solution consiste à extraire les molécules d'époxy usagées pour les transformer en résines vierges qui viendront intégrer des pales neuves. Les fibres de verre ou de carbone restant pourront être recyclées dans les filières déjà existantes. Une autre méthode innovante consiste à remplacer le type de résine utilisée, aujourd'hui thermodurcissable, par une résine thermoplastique. Le groupe Siemens-Gamesa indique qu'il a mis au point des pales entièrement recyclables mais reste toutefois très discret sur la composition des matières de sa nouvelle pale. Il semblerait que c'est une combinaison de matériaux moulés avec de la résine » dont « la structure chimique [...] permet dissocier la résine des autres éléments en fin de vie »