



—

CONSTRUIRE
LES FONDATIONS D'UNE
ÉNERGIE DURABLE

L'ÉOLIEN OFFSHORE

—

03
ÉDITO

04 - 05
EOLIEN OFFSHORE :
UNE RÉPONSE AUX DÉFIS
DE LA TRANSITION
ÉNERGÉTIQUE

06 - 07
LES FONDATIONS
GRAVITAIRES
UNE SOLUTION MAÎTRISÉE

08 - 09
LES FONDATIONS
FLOTTANTES :
UNE TECHNOLOGIE
D'AVENIR

10 - 11
LA FORCE
BOUYGUES
TRAVAUX PUBLICS

12
QUESTIONS/RÉPONSES

ÉDITO



Bertrand Burtschell,
directeur général de
Bouygues Travaux Publics

L'éolien en mer (ou offshore) s'appuie sur une source d'énergie naturelle et renouvelable. Il fait partie des solutions les plus prometteuses pour relever les défis de la transition énergétique. Ce potentiel se traduit par l'émergence de projets de plus en plus nombreux et ambitieux, qui exigent des solutions toujours plus performantes en termes de technologies, de coûts et de délais.

Face à cette demande, Bouygues Travaux Publics se positionne naturellement comme un partenaire privilégié des développeurs et des investisseurs. Notre engagement sociétal en faveur d'une croissance durable et responsable, notre expertise reconnue dans le domaine du génie civil et des ouvrages maritimes, notre esprit d'innovation et notre capacité d'industrialisation sur des chantiers inédits et d'envergure exceptionnelle, tels que le parc éolien en mer de Fécamp, font en effet de nous un partenaire clé au service des énergies décarbonées et de l'éolien en mer. Je vous invite à découvrir les solutions innovantes et à forte valeur ajoutée que nous proposons pour accompagner le développement de ce secteur.

EOLIEN OFFSHORE

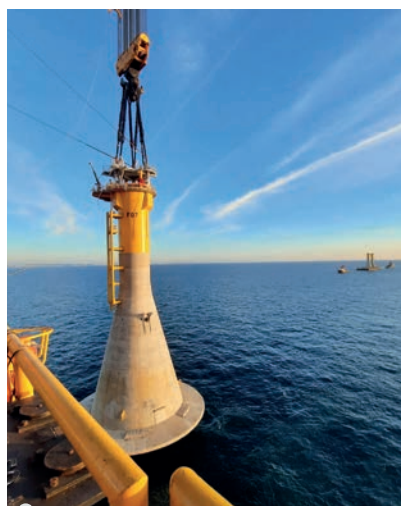
UNE RÉPONSE AUX DÉFIS DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Dans un contexte de changement climatique, de raréfaction des ressources fossiles et de sécurisation des approvisionnements énergétiques, la transition vers des sources d'énergies décarbonées est plus que jamais nécessaire. L'éolien offshore est l'une des réponses à ce défi.

UNE RESSOURCE NATURELLE À UTILISER

Capter la force motrice du vent à l'aide des pales d'une hélice pour la transformer en énergie mécanique, puis la convertir en énergie électrique grâce à un générateur : c'est le principe des éoliennes, connu depuis la fin du XIXe siècle. Mais si l'éolien terrestre, apparu dans les années 1970, a longtemps été privilégié car moins cher à mettre en œuvre, il trouve ses limites en termes de rendement, de nuisances visuelles et sonores, ainsi que de disponibilité des sites d'implantation. D'où l'essor plus récent de l'éolien en mer, qui s'affranchit d'une partie de ces contraintes. Bénéficiant de vents plus forts et plus constants, il offre, en plus, une production d'énergie plus continue, tandis que sa localisation

au large des côtes limite son impact sur le paysage et permet d'implanter des parcs de taille plus importante. L'essor de cette nouvelle filière est toutefois conditionné à l'évolution des technologies et à la diminution des coûts de réalisation et d'exploitation.



Pose en mer d'une fondation,
Parc éolien en mer de Fécamp - 2022.



57,6 GW
Capacité d'énergie
éolienne offshore
installée dans le
monde en 2022⁽¹⁾,
dont environ 50 %
en Europe⁽²⁾.



300 GW
Objectif fixé par
la Commission
européenne à
l'horizon 2050⁽³⁾.

(1) Source : Global Offshore Wind Report.
(2) Source : Wind Energy in Europe.
(3) Source : Commission européenne.

BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS, AU CŒUR DE L'ÉOLIEN OFFSHORE

Depuis des décennies, Bouygues Travaux Publics s'illustre sur des grands projets d'infrastructure réalisés sur les 5 continents. L'entreprise est reconnue pour son excellence technique et a prouvé sa capacité de management de projets complexes en particulier dans les domaines maritimes et portuaires.

Fort de sa direction technique de plus de 400 personnes, et de son ancrage pérenne sur plusieurs continents, Bouygues Travaux Publics a mis très tôt ses compétences et sa capacité d'innovation au service de grands projets, avec une approche industrielle de la fabrication de structures massives en béton armé et en particulier des infrastructures nécessaires à la production d'énergie éolienne en mer. Les chantiers d'extension en mer de Monaco et des fondations du parc éolien en mer de Fécamp font partie des références les plus récentes de l'entreprise en la matière.

2011

Alors que l'éolien offshore décolle en France à la suite du coup d'envoi donné par le Grenelle de la Mer, Bouygues Travaux Publics accompagne les porteurs du projet de parc éolien en mer au large de Fécamp dans leur réponse à l'appel d'offres de l'État, qu'ils remportent deux ans plus tard. Bouygues Travaux Publics est ensuite sélectionné pour concevoir, construire et installer les fondations de ce qui deviendra le deuxième parc éolien en mer en France.

2020

Signature du projet de conception-réalisation du parc éolien en mer de Fécamp.

2022

Bouygues Travaux Publics confirme ses ambitions dans l'éolien offshore flottant en acquérant une technologie innovante d'embase flottante en béton appelée OO-STAR, offrant un rendement accru, une grande durabilité et des coûts d'exploitation et de maintenance optimisés. La technologie permet une fabrication en série dans des délais performants et à un coût compétitif.

2013

Bouygues Travaux Publics embarque à bord du projet expérimental Floatgen visant à confirmer la faisabilité et la performance de l'éolien flottant.

UN SAVOIR-FAIRE D'ARCHITECTE ENSEMBLIER

Si l'expertise de Bouygues Travaux Publics en matière de génie civil et de travaux maritimes s'est révélée essentielle dans le succès du parc éolien en mer de Fécamp (voir page suivante), sa capacité à proposer une solution intégrée de conception/fabrication/installation et à assurer l'interface avec les autres lots du projet (fourniture des turbines, pose des câbles...) fait également la différence en termes de gestion des coûts et des délais et de maîtrise des risques. Bouygues Travaux Publics se positionne ainsi comme un concepteur-constructeur et un intégrateur de solutions globales EPCI (Engineering Procurement Construction Installation).

Décryptage

UNE CONVICTION, UNE EXPERTISE, UN ENGAGEMENT



Jérôme Furgé, responsable des activités Nuclear and Offshore Wind chez Bouygues Travaux Publics, explique l'engagement de l'entreprise dans l'éolien offshore et ses atouts sur ce marché.

Pourquoi Bouygues Travaux Publics s'est-il tourné vers l'éolien offshore ?

J.F. Ce choix stratégique s'explique par la convergence de plusieurs facteurs. D'une part, notre conviction forte que nous avons un rôle à jouer dans la décarbonation de la production d'énergie. D'autre part, notre savoir-faire en génie civil et en ouvrages maritimes, parfaitement transposable à l'éolien offshore. Je pense notamment aux réalisations telles que le front de mer de Beyrouth, le complexe portuaire de Tanger Med, l'extension en mer de Monaco et plus particulièrement à l'expérience acquise sur le parc éolien en mer de Fécamp pour les fondations gravitaires et sur le projet Floatgen pour les fondations flottantes.

Quelles sont les attentes du marché ?

J.F. Les développeurs et les investisseurs veulent des solutions techniques performantes répondant à leurs besoins, réalisables à des coûts compétitifs et dans des délais ambitieux. Ils recherchent des partenaires capables de maîtriser les risques sur ces projets complexes.

Comment Bouygues Travaux Publics y répond-il ?

J.F. En se positionnant comme un véritable intégrateur de solutions, à l'écoute des besoins de ses clients, capable d'élaborer des offres sur mesure basées sur des technologies éprouvées et, surtout, de proposer des solutions globales EPCI.

→ Voir ci-contre.

LES FONDATAIONS GRAVITAIRES UNE SOLUTION MAÎTRISÉE

La mise en œuvre de 71 fondations gravitaires (ou GBS, Gravity Based Structures) pour supporter des éoliennes de 7MW sur le parc éolien en mer de Fécamp, constitue un projet référence par son ampleur. La livraison des fondations dans les temps démontre la maîtrise d'un schéma qui s'appuie sur une préparation minutieuse et une industrialisation de la construction. Cela ouvre également la voie à d'autres projets d'éolien posé, dont le potentiel n'est plus à démontrer.

UN CHANTIER EXCEPTIONNEL

Un socle creux en béton armé précontraint, posé au fond de la mer sur un lit de gravier et rempli de ballast : c'est le principe des 71 fondations gravitaires réalisées par Bouygues Travaux Publics⁽⁴⁾. D'environ 5 000 tonnes chacune, elles ont été construites au Havre sur une usine créée spécifiquement pour le projet, transportées par barge au large de Fécamp dans des profondeurs de 25 à 30 mètres d'eau, levées et posées en place au moyen d'un navire-grue de forte puissance. L'optimisation conjointe du design, des méthodes et du transport en mer, a permis de minimiser les quantités de matériaux pour obtenir des GBS conçues au plus « juste ».

(4) leader du groupement associant Saipem et Boskalis.

DE NOMBREUX ATOUTS

Posée sur le fond marin, la GBS permet de s'affranchir du battage ou forage offshore de pieux de grandes dimensions, source de difficultés et de surcoûts notamment en cas de géotechnique complexe. Lors des opérations d'installation en mer, les nuisances sonores sous-marines sont évitées. L'emploi du béton permet des durées de vie pouvant dépasser 100 ans avec une maintenance minimale pour la fondation. Mise en œuvre sur Fécamp pour des éoliennes de 7MW, la solution est disponible pour des puissances allant jusqu'à 20MW et des développements sont en cours pour pouvoir l'utiliser au-delà.

UNE LOGIQUE INDUSTRIELLE

Utiliser les méthodes de production de série : c'est le tour de force réalisé par Bouygues Travaux Publics sur le chantier du parc éolien en mer de Fécamp. Au cœur de ce succès : la mise en œuvre des principes du Lean Management, un découpage de projet optimisant le planning et l'allocation des ressources, des équipes spécialisées réparties en quatre lignes de production parallèles, ainsi qu'un recours aux outils digitaux pour piloter efficacement la production et la qualité. Offshore, une préparation rigoureuse associée à l'emploi de moyens navals importants, avec des cadences de travail très élevées. Bilan : des embases livrées seulement 21 mois après le démarrage du chantier !

UN CHANTIER QUI PARTICIPE AU DÉVELOPPEMENT LOCAL

Naturellement propices à une implantation locale des chantiers, les solutions de fondations gravitaires proposées par Bouygues Travaux Publics contribuent à la création de valeur et d'emploi sur le territoire. Le chantier du parc éolien en mer de Fécamp a ainsi mobilisé près de 1000 personnes au pic de l'activité, dont 250 en insertion et a permis à de nombreuses entreprises locales de contribuer à la chaîne de valeur du projet, facteur supplémentaire d'acceptabilité des parcs éoliens en mer.

Repères



71
embases
en béton



21 MOIS
de réalisation :
un temps record !



5
semaines
de pose en mer



4
lignes de
production en
parallèle



1 000
personnes
mobilisées
au pic de l'activité



Nicolas Jestin,
directeur de production
des fondations du Parc
éolien en mer
de Fécamp,
Bouygues Travaux
Publics

LA RELATION CLIENT AU CŒUR DU SUCCÈS DE FÉCAMP

« Réaliser la fabrication des 71 fondations gravitaires du parc éolien de Fécamp en à peine plus d'un an et demi est bien sûr une véritable prouesse opérationnelle, qui démontre notre capacité à mettre en place un outil industriel performant pour répondre aux attentes de nos clients en termes de planning et de coûts. Ce succès demande également une préparation minutieuse très en amont, pour concevoir le schéma d'exécution et industriel qui soit le plus adapté au projet et pour permettre la sécurisation des moyens et ressources clés, terrestres ou maritimes, nécessaires à sa réalisation. **Bâtir une relation de confiance et d'écoute avec notre client, initiée dès les premières étapes de développement du projet et entretenue tout au long du chantier, est dans un tel contexte un facteur essentiel du futur succès commun.** Le déploiement de notre « départ lancé », avec la mobilisation dès la phase commerciale de personnel enchaînant ensuite sur la phase d'opération, a permis d'assurer la continuité dans les échanges avec le client et la culture de projet. »

LES FONDATIONS FLOTTANTES

UNE TECHNOLOGIE D'AVENIR



2028 : c'est l'horizon attendu pour le démarrage de la construction des premiers projets d'éoliennes offshore flottantes. Dans l'intervalle, les technologies doivent gagner en maturité et en compétitivité. Fort de l'expérience acquise sur le projet expérimental Floatgen et grâce à l'acquisition d'un brevet exclusif d'embase flottante (OO-STAR), Bouygues Travaux Publics poursuit ses développements pour préparer la transition vers la nouvelle génération d'éoliennes en mer.

FLOATGEN, UN PROJET PIONNIER

C'est en 2013 que Bouygues Travaux Publics a rejoint l'aventure de l'éolien en mer flottant en participant au projet Floatgen. L'objectif était de réaliser la toute première éolienne flottante française au large du Croisic, sur le site d'essais en mer pour les énergies marines renouvelables (SEM-REV) de l'École Centrale de Nantes. Si les technologies ont évolué depuis, ce projet pilote a démontré la pertinence du principe de fondations flottantes pour la production d'énergie décarbonée en mer.

CAPTER DES VENTS PLUS SOUTENUS

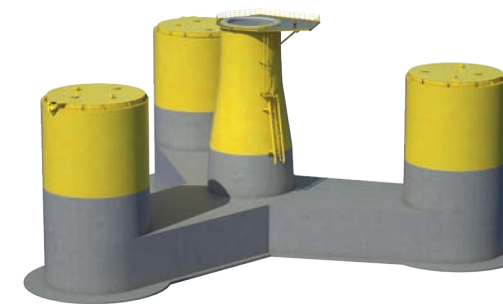
Les fondations flottantes sont au cœur de l'effort d'innovation de Bouygues Travaux Publics pour répondre aux futures attentes du marché. Elles sont complémentaires aux fondations gravitaires qui atteignent leurs limites vers une profondeur de 60 à 70m. L'implantation d'éoliennes offshore flottantes permet également de capter des vents plus forts et plus constants et d'accueillir des turbines plus puissantes, dans une logique d'optimisation des coûts d'investissement. En outre, certains concepts de flotteurs, comme l'OO-STAR proposé par Bouygues Travaux Publics, permettent la réutilisation des fondations en fin de concession ou l'accueil d'un nouveau projet de parc éolien en mer.

LE CONCEPT OO-STAR, FRUIT DE 15 ANS DE R&D

Acquise en exclusivité par Bouygues Travaux Publics en 2022, la technologie OO-STAR a été développée par la société norvégienne Dr.techn Olav Olsen, experte dans la conception d'infrastructures pour l'industrie pétrolière et gazière. Elle consiste en une plateforme semi-sousmersible composée de trois flotteurs satellites répartis en étoile (d'où le nom du concept) autour d'un flotteur central accueillant l'éolienne. Adaptée à une construction modulaire, cette embase peut être assemblée à quai ou en mer avec un tirant d'eau raisonnable avant d'être remorquée sur le site d'installation. Son comportement hydrodynamique et structurel, testé depuis une décennie, garantit une performance optimale de la turbine y compris dans les conditions météorologiques les plus sévères.

PROPOSER DES SOLUTIONS INTÉGRÉES ET COMPÉTITIVES

Afin de répondre aux attentes du marché en termes de performance des turbines (rendement, opérabilité, résistance aux conditions marines, etc.), mais aussi de compétitivité économique et de délais, Bouygues Travaux Publics s'efforce d'optimiser la conception et la mise en œuvre de sa technologie de flotteur OO-STAR. Objectif : proposer une offre globale couvrant le design, la construction, l'installation, voire l'opération et maintenance et le démantèlement. L'accessibilité aux flotteurs par les navires de transport de personnel et d'intervention en mer pour la maintenance, la conception de moyens de production spécifiques ou encore la déconstruction en fin de concession font ainsi partie des domaines d'optimisation explorés par Bouygues Travaux Publics.



DES INNOVATIONS POUR UNE SOCIÉTÉ DURABLE

Parce que les enjeux de développement durable sont au cœur des préoccupations de ses clients, Bouygues Travaux Publics souhaite exploiter au maximum le potentiel de décarbonation de sa solution d'embase flottante OO-STAR. Cette réflexion intègre notamment l'utilisation de béton et d'acier bas carbone, ou des solutions encore plus innovantes comme la production et le stockage d'hydrogène dans les flotteurs.



Catherine Boucard,
directrice technique
éolien offshore

LA FORCE TECHNIQUE DE BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

un facteur de différenciation au cœur du projet

« Bouygues Travaux Publics s'appuie sur l'expertise de sa direction technique de plus de 400 personnes, réunissant l'ensemble des compétences requises en hydrodynamique, calcul de structures, conception de méthodes de construction, de mise à l'eau et d'installation en mer, appliqués à de larges infrastructures en béton et notamment à l'éolien offshore. Toujours dans le but d'améliorer performance et compétitivité, nous nous entourons de partenaires clés tels que Dr.techn Olav Olsen et d'autres issus de secteurs très spécialisés (opérations en mer, turbine, maintenance, câble), ce qui nous permet de déployer des solutions techniques innovantes et à forte valeur ajoutée pour nos clients. Plusieurs brevets sont en cours de développement autour du flotteur OO-STAR. »

Repères

RÉPONDRE AUX BESOINS D'AUJOURD'HUI... ET DE DEMAIN



Témoignage
d'Audrey Goulven,
responsable du
développement
commercial de
l'éolien offshore.

Les fondations flottantes vont-elles remplacer les fondations gravitaires ?

A. G. Non, les deux sont appelées à coexister car elles répondent à des besoins différents. Dans l'éolien offshore posé, les turbines sont arrimées au fond marin par des fondations en béton (solution proposée par Bouygues Travaux Publics) ou métalliques. Mais au-delà d'une certaine profondeur, cette solution est plus complexe et plus onéreuse à mettre en œuvre. C'est pourquoi, après avoir équipé les zones les moins profondes, on peut s'attendre à ce que les porteurs de projets se tournent vers l'éolien flottant, qui permet une implantation à une plus grande profondeur, là où la ressource en vent est plus qualitative.

Où en est la solution de fondation flottante proposée par Bouygues Travaux Publics ?

A. G. A l'heure actuelle, de nombreux concepts de flotteurs sont imaginés par les acteurs qui souhaitent se positionner sur le marché. La technologie d'embase flottante OO-STAR dont Bouygues Travaux Publics a acquis l'exclusivité en 2022 se distingue par sa plus grande maturité, puisqu'elle bénéficie de plus de 15 ans de R&D. Actuellement au stade de développement TRL 5*, elle passera prochainement au niveau TRL 7-8 grâce à des projets prototypes.

*Les TRL (Technology readiness level) forment une échelle d'évaluation du degré de maturité atteint par une technologie.

LA FORCE BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

Bouygues Travaux Publics accompagne l'essor des projets de production d'énergie décarbonée en mer en proposant des solutions performantes qui répondent aux attentes du marché.

DES COMPÉTENCES ÉPROUVÉES

➡ Les solutions de fondations en béton proposées par Bouygues Travaux Publics pour le marché de l'éolien offshore s'appuient sur une expertise de plus de 35 ans en génie civil et en grands projets d'infrastructures maritimes.

UNE CAPACITÉ D'INDUSTRIALISATION

➡ Démontrée avec succès sur le projet du parc éolien en mer de Fécamp, la capacité de Bouygues Travaux Publics à industrialiser la fabrication de ses fondations, qu'elles soient gravitaires ou flottantes, répond aux attentes du marché en termes de compétitivité et de délais de réalisation des projets d'éoliennes offshore.

CRÉATION DE RICHESSE ET D'EMPLOI À L'ÉCHELLE LOCALE

➡ À la différence des solutions de fondations métalliques, dépendantes d'un schéma industriel basé sur l'import des matériaux, les solutions de fondations en béton proposées par Bouygues Travaux Publics permettent une implantation locale des chantiers de fabrication, créant ainsi de la richesse et de l'emploi sur le territoire.

UN SAVOIR-FAIRE DE CONCEPTEUR-CONSTRUCTEUR

➡ En proposant des offres intégrant l'ingénierie et la production, Bouygues Travaux Publics garantit à ses clients des solutions au design optimisé, tenant compte des méthodes de construction, ainsi qu'une meilleure maîtrise des coûts et des délais.

DES OUVRAGES PÉRENNES

➡ Parce qu'elles offrent une durée de vie pouvant dépasser les 100 ans avec une maintenance minimale, les fondations en béton sont une solution pertinente pour réduire les coûts d'exploitation des fermes éoliennes marines.

Hauteur
DE 48 À 54 M
Poids
5 000 TONNES



FONDACTIONS GRAVITAIRES

Une solution de référence qui a fait ses preuves



FONDATION FLOTTANTE OO-STAR

Une technologie inédite proposée par Bouygues Travaux Publics

Hauteur
~ 40 M
Diamètre
~ 80 M
(pour une turbine de 15 MW)

En savoir plus QUESTIONS/RÉPONSES



QUELLE EST LA DIFFÉRENCE ENTRE L'ÉOLIEN OFFSHORE POSÉ ET FLOTTANT ?

Les éoliennes offshore posées sont installées sur des fondations en béton posées sur le fond marin, appelées fondations gravitaires ou GBS (Gravity Based Structures). De leur côté, les éoliennes offshore flottantes reposent sur des plateformes qui flottent à la surface de l'eau.



QUELS SONT LES AVANTAGES RESPECTIFS DES DEUX TECHNOLOGIES ?

L'éolien posé est la solution la plus pertinente jusqu'à 60 à 70 mètres. Au-delà, l'éolien flottant permet en outre d'exploiter des vents plus forts et plus stables avec des turbines de plus forte capacité. En particulier, le caractère robuste de l'OO-STAR lui confère un comportement hydrodynamique idéal qui optimise le rendement de la turbine, même dans les environnements les plus sévères.



QUELLES SONT LES RÉFÉRENCES DE BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS DANS L'ÉOLIEN OFFSHORE ?

Bouygues Travaux Publics a été l'un des pionniers de la production d'énergie éolienne en mer en France, en construisant les fondations du parc éolien en mer de Fécamp, ainsi que celle de la première éolienne flottante française dans le cadre du projet expérimental Floatgen.



L'ÉOLIEN OFFSHORE EST UN MARCHÉ RÉCENT POUR BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS. L'ENTREPRISE EST-ELLE PRÊTE À RÉPONDRE À SES ENJEUX ?

La légitimité de Bouygues Travaux Publics sur l'éolien offshore s'appuie avant tout sur son expertise historique et ses références en génie civil et en construction d'ouvrages maritimes. Au-delà du parc éolien en mer de Fécamp et de Floatgen, ses références telles que l'extension en mer de Monaco, le port de Tanger, ou le front de mer de Beyrouth, font de Bouygues Travaux Publics un acteur clé du secteur.



EN QUOI LES SOLUTIONS DE BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS POUR L'ÉOLIEN OFFSHORE SONT-ELLES DURABLES ?

Si la production d'énergie renouvelable issue du vent est naturellement vertueuse, Bouygues Travaux Publics va plus loin dans la décarbonation en intégrant dans ses offres l'utilisation de matériaux durables tels que le béton et l'acier bas carbone. Des réflexions sont également menées sur les synergies possibles des fondations flottantes avec la production et le stockage d'hydrogène.



COMMENT BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS ACCOMPAGNE-T-IL SES CLIENTS DANS LEURS PROJETS D'ÉOLIENNES OFFSHORE ?

Conscient de l'ampleur, de la complexité et de l'investissement que représente la création de parcs éoliens offshore, Bouygues Travaux Publics propose à ses clients un accompagnement tout au long du cycle de vie de leurs projets, de l'écoute des besoins à la réponse aux appels d'offres, la co-construction de solutions optimisées sur mesure, la production et l'installation des fondations, voire la maintenance et le démantèlement.

CONTACT

Direction de la communication de Bouygues Travaux Publics

✉ fr.moreau@bouygues-construction.com • ✉ e.chetrit@bouygues-construction.com

Direction commerciale Offshore Wind

✉ sales.offshore-wind@bouygues-construction.com

**BOUYGUES
TRAVAUX PUBLICS**