



*Ailes Marines SAS*

# "Lot n°4 de Saint-Brieuc"

N° 2011/S 126 - 208873

**APPEL D'OFFRES ÉOLIEN EN MER I** Janvier 2012



## Note D1 > Caractéristiques Générales du Projet

"L'énergie est notre avenir, économisons-la !"

## SYNTHESE NOTE D1

Le Consortium porté par IBERDROLA et Eole-RES propose l'implantation de 100 éoliennes sur la zone de Saint-Brieuc.

Les éoliennes sélectionnées par le Consortium sont des aérogénérateurs de 5 MW produits par AREVA Wind (M5000-S), [REDACTED]. Celles-ci bénéficient déjà de plusieurs années d'exploitation à terre puis en mer.

L'ingénierie et la construction du parc, ainsi que la fabrication des fondations [REDACTED] et la mise en œuvre des réseaux électriques inter-éoliens seront conduits par le groupe d'ingénierie français : Technip. Ce groupe détient une importante expérience de la construction en mer, tant en phase de conception, fabrication et installation de structures maritimes diverses.

La note D1, décrit et détaille l'ensemble des composants du parc éolien envisagé ainsi que les critères de conception et d'optimisation qui ont guidés le Consortium, sur les bases des expériences cumulées de chacun de ses membres, notamment au cours de réalisations de projets éoliens en mer.

### D1.1 Identification du lot

Zone considérée : Saint-Brieuc (Lot N°4)

### D1.2 Description technique

#### **D1.2.1 Caractéristiques des aérogénérateurs**

Partenaire Industriel : AREVA Wind.

Aérogénérateur sélectionné : AREVA M5000 classe S (diamètre du rotor : 135 m) , 5 MW ; adapté aux conditions des côtes françaises.

Nombre d'aérogénérateurs : 100.

Diamètre du rotor : 135 m, [REDACTED]

Puissance de l'installation objet de l'offre : CO = 500 MW.

#### **D1.2.2 Type de fondation**

Partenaire industriel : Technip.

Caractéristiques environnementales à prendre en compte : profondeur de 28 m à 38 m. Gravier hétérogène. Marnage maximum : plus de 10 m.

Type de fondation : jacket.

Dimensions de référence : 62 m de hauteur ; Base : 34,90 x 24,68 m ; Poids : 769 tonnes ; Pieux (de 15 m à 20 m de longueur, 1,30 m de diamètre).

#### **D1.2.3 Caractéristiques des câbles électriques**

Partenaire industriel : Technip.

Câble marin tripolaire.

Caractéristiques des câbles : 3 sections différentes : 185 mm<sup>2</sup> Cu, 500 mm<sup>2</sup> Cu, 630 mm<sup>2</sup> Cu.

Protection des câbles : enfouissement selon exigences de l'appel d'offres (à 1,5 et 0,80 m de profondeur).

Fibres optiques : intégrées dans les câbles [REDACTED]



**D1.2.4 Caractéristiques du poste électrique de livraison**

1 poste électrique de livraison pour le parc éolien équipé de transformateurs à double enroulement

**D1.2.5 Localisation et empreinte**

Installation à empreinte réduite (45% de la zone proposée).

**D1.2.6 Equipements spéciaux**

1 mât météorologique, structure en treillis, hauteur : 100 m au-dessus NMM. Système autonome.

**D1.2.7 Nombre d'heures de fonctionnement à capacité nominale**

Production d'énergie nette annuelle : 1 757 256 MWh/an.

Facteur de capacité net : 3 515 h/an (équivalent pleine puissance).

**D1.2.8 Certification du projet éolien**

Selon la norme DNV-OS J 101.

**D1.3 Optimisation du choix des aérogénérateurs**

Choix des aérogénérateurs reposant sur :

- Un nombre minimum d'aérogénérateurs et de fondations
- Le bilan de fonctionnement des aérogénérateurs en exploitation
- Une optimisation des rotors pour des sites à régimes de vents à vitesses moyennes.

**D1.4 Plan d'exploitation et de maintenance**

Objectif : garantir une disponibilité maximale en appliquant plusieurs niveaux de maintenances (préventive et curative).

Suivi à distance permanent du fonctionnement du parc.

Proximité des équipes de maintenance depuis les ports de Saint-Quay ou Saint-Cast.

Accès par bateaux et hélicoptère.

**D1.5 Etude d'optimisation globale du projet (minimisation du cout de l'énergie produite)**

Le Consortium a collaboré étroitement avec ses partenaires industriels pour garantir des solutions technologiques, de conception et d'ingénierie optimales : machine éprouvée technologiquement, production des fondations standardisées,...

**D1.6 Identification des Ports**

Fabrication des fondations : Saint-Nazaire.

Fabrication des turbines : Le Havre.

Capacité de stockage tampon : Brest (solution privilégiée) ou Cherbourg.

Opération et Maintenance (O&M) des installations : port de Saint-Cast ou de Saint-Quay.

## SOMMAIRE

<b>SYNTHESE NOTE D1 .....</b>	<b>2</b>
<b>1. IDENTIFICATION DU LOT (D1.1).....</b>	<b>6</b>
<b>2. DESCRIPTION TECHNIQUE DE L'INSTALLATION (D1.2) .....</b>	<b>8</b>
2.1. AEROGENERATEURS (D1.2.1) .....	8
2.1.1. Rotor .....	8
2.1.2. Nacelle .....	9
2.1.3. Système de régulation SCADA.....	11
2.1.4. Mât.....	12
2.2. LE TYPE DE FONDATIONS(D1.2.2) .....	12
2.2.1 Références.....	12
2.2.2 Glossaire .....	13
2.2.3 Conditions liées au site, données environnementales physiques .....	13
2.2.4 Implantation.....	22
2.2.5 Différents type de fondations envisageables .....	23
2.2.6 Pré-étude comparative des types de fondations.....	28
2.2.7 Description technique des Jackets .....	30
2.2.8 Analyse globale combiné fondation turbine .....	39
2.3. LES CARACTERISTIQUES DES LIAISONS ELECTRIQUES (D1.2.3) .....	40
2.3.1 Description générale des réseaux de la centrale éolienne.....	40
2.3.2 Description du matériel envisagé .....	42
2.3.3 Description du réseau électrique de la centrale .....	45
2.4. LES CARACTERISTIQUES DU POSTE ELECTRIQUE DE LIVRAISON .....	48
2.4.1 Description générale .....	48
2.4.2 Situation et rôle du poste électrique.....	49
2.4.3 Normes .....	49
2.4.4 Architecture du réseau électrique.....	50
2.4.5 Descriptifs des éléments constitutifs du poste électrique .....	50
2.5. LA LOCALISATION SUR LE DOMAINE MARITIME (D1.2.5).....	55
2.5.1 Données d'entrée .....	55
2.5.2 Schémas des installations .....	57
2.6 DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS PARTICULIERS (D1.2.6) .....	59
2.6.1 Mât de mesures météorologiques.....	59
2.7 DUREE ANNUELLE DE FONCTIONNEMENT (D 1.2.7).....	64
2.7.1 Méthodologie de calcul.....	64
2.7.2 Climat de vent .....	64
2.7.3 Variation de la vitesse de vent au sein du site .....	66
2.7.4 Performance des éoliennes et gisement brut.....	66
2.7.5 Modélisation du sillage.....	67
2.7.6 Pertes opérationnelles .....	68
2.7.7 Gisement net et facteur de capacité .....	70
2.7.8 Analyse d'incertitude et probabilités de dépassement .....	70
2.8 CERTIFICATION DU PROJET (D1.2.8) .....	71
<b>3. OPTIMISATION DU CHOIX DES AÉROGÉNÉRATEURS (D1.3).....</b>	<b>72</b>
<b>4. PLAN D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE PRÉVU (D1.4) .....</b>	<b>75</b>
4.1. AEROGENERATEURS .....	75
4.2. LA MAINTENANCE PLANIFIEE .....	75
4.3. LA MAINTENANCE CORRECTIVE D'URGENCE .....	76
4.4. INFRASTRUCTURES .....	76
4.5. SOUS-TRAITANCE .....	77
4.6. CONTROLES REGLEMENTAIRES.....	77
4.7. QUALIFICATION ET FORMATION .....	77
4.8. ORGANISATION .....	77



4.9.	PLANNING PREVISIONNEL.....	77
4.10.	MAINTENANCE DES FONDATIONS .....	78
<b>5.</b>	<b>OPTIMISATION GLOBALE DU COÛT DE L'ÉNERGIE (D1.5) .....</b>	<b>80</b>
<b>6.</b>	<b>IDENTIFICATION DES PORTS (D1.6) .....</b>	<b>83</b>
<b>ANNEXES</b> .....		<b>86</b>

## 1. IDENTIFICATION DU LOT (D1.1)

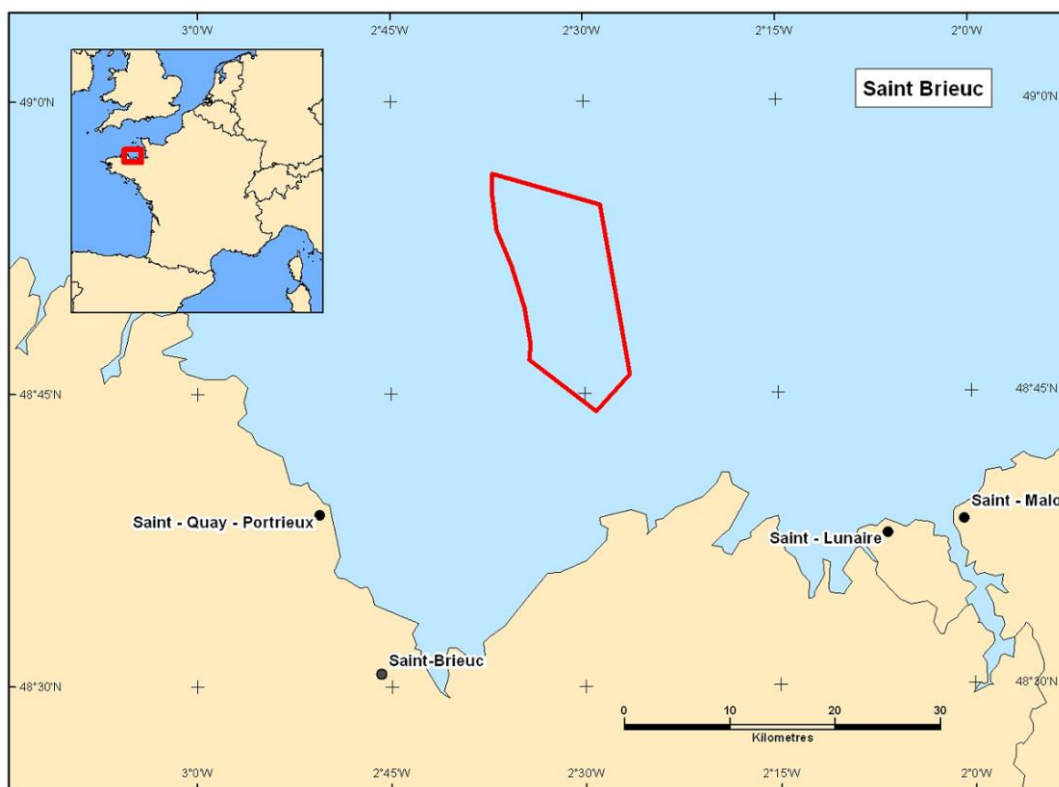
Le consortium constitué par IBERDROLA et Eole RES (le "Consortium") a choisi la zone de Saint-Brieuc, à 20 milles nautiques au large de la côte de la Bretagne du Nord et à 18 milles nautiques de St-Quay-Portrieux pour construire une ferme éolienne en mer CO=500 MW.

Le Consortium a créé une société de projet désignée « Ailes Marines SAS » pour développer, construire et exploiter le projet de parc éolien en mer.

Le site de la ferme éolienne est représenté sur la Figure 12 aux coordonnées suivantes :

- Longitude : 2°25' à 2°35' O
- Latitude : 48°45' à 48°55' N

Il s'étend sur une superficie de 179 km<sup>2</sup> et les profondeurs d'eau sont comprises entre 28 et 38 m.



**Figure 1 Carte de localisation – Saint Brieuc**

L'installation se compose de cent turbines de 5 MW (AREVA M5000 135) reposant sur des fondations de type jacket fixées au fond marin, d'un câblage inter-rangées, d'un mât météorologique et de son instrumentation associée, d'un poste électrique en mer.



La sélection de cette zone de développement, parmi celles proposées dans le cadre de l'appel d'offres, repose sur une évaluation détaillée du site par le Consortium.

- Deux études géophysiques réalisées sur la zone ont permis de caractériser l'état des fonds marins et ainsi de déterminer le type de fondations le plus adéquat
- L'évaluation des données météocéaniques montre que les conditions d'une exploitation offshore sont favorables
- Les caractéristiques des ressources physiques, environnementales et humaines le long de cette côte sont de premier plan

L'objectif du Consortium est de proposer un projet apportant d'importants bénéfices industriels à la région.

Le Consortium a choisi des partenaires industriels forts d'un historique prouvé de réussite dans le secteur de l'énergie et de l'industrie en mer. Ces partenaires seront des acteurs régionaux essentiels soutenant de façon durable la croissance économique de la zone de Saint-Brieuc tout en offrant d'importantes opportunités d'accès à des marchés situés hors de France.

Les turbines seront fabriquées au port du Havre : les composants des turbines y seront assemblés jusqu'à être prêt au transport et à l'installation.

Les fondations seront quant à elles construites à Saint-Nazaire puis directement transportées et installées sur le site ou stockées temporairement à Cherbourg ou éventuellement à Brest.

Enfin, certains composants mineurs seront fabriqués et stockés à Cherbourg.

La note D3 apporte l'ensemble des détails concernant l'utilisation des différents ports.

## 2. DESCRIPTION TECHNIQUE DE L'INSTALLATION (D1.2)

### 2.1. AEROGENERATEURS (D1.2.1)

Pour le site de Saint-Brieuc, le Consortium propose d'utiliser les éoliennes AREVA M5000 S (WTG, *Wind Turbine Generator*). La M5000 S est une éolienne spécialement conçue pour les environnements offshore. Le choix de ce modèle répond à des critères de fiabilité, de maintenance et d'adaptation au site. De plus, AREVA a déjà éprouvé un autre modèle in situ en Allemagne et dispose donc d'un historique de cinq années d'exploitation en offshore.

L'AREVA M5000 S est une éolienne de 5 MW qui se compose :

- d'un rotor de 135 mètres de diamètre balayant une surface de 14326 mètres carrés
- d'une nacelle abritant tous les composants de conversion de l'énergie éolienne

Ces éléments sont installés sur un mât tubulaire.

Elle offre un très bon rendement énergétique



Figure 2 Eolienne offshore AREVA M5000

#### 2.1.1. Rotor

Le rotor est constitué de trois pales de 65 mètres de long fixées sur un moyeu.

Les pales sont fixées au moyeu par des boulons. Chaque pale peut être orientée de façon indépendante selon un pas précis à l'aide de moteurs d'entraînement internes. De cette manière, un contrôle primaire de la vitesse de rotation de la turbine est réalisé. Cette méthode de régulation de la puissance est simple, fiable et efficace. Elle permet de réduire au maximum la transmission des charges dynamiques à la structure de l'éolienne. Par l'ajustement graduel automatique du pas des pales, la



puissance maximale peut être maintenue à une valeur présélectionnée, ce qui permet de compenser les variations de densité de l'air et autres facteurs affectant les pics de puissances au rotor.

Le système d'orientation des pales est complètement incorporé à l'intérieur du moyeu du rotor afin de le protéger de l'environnement externe.

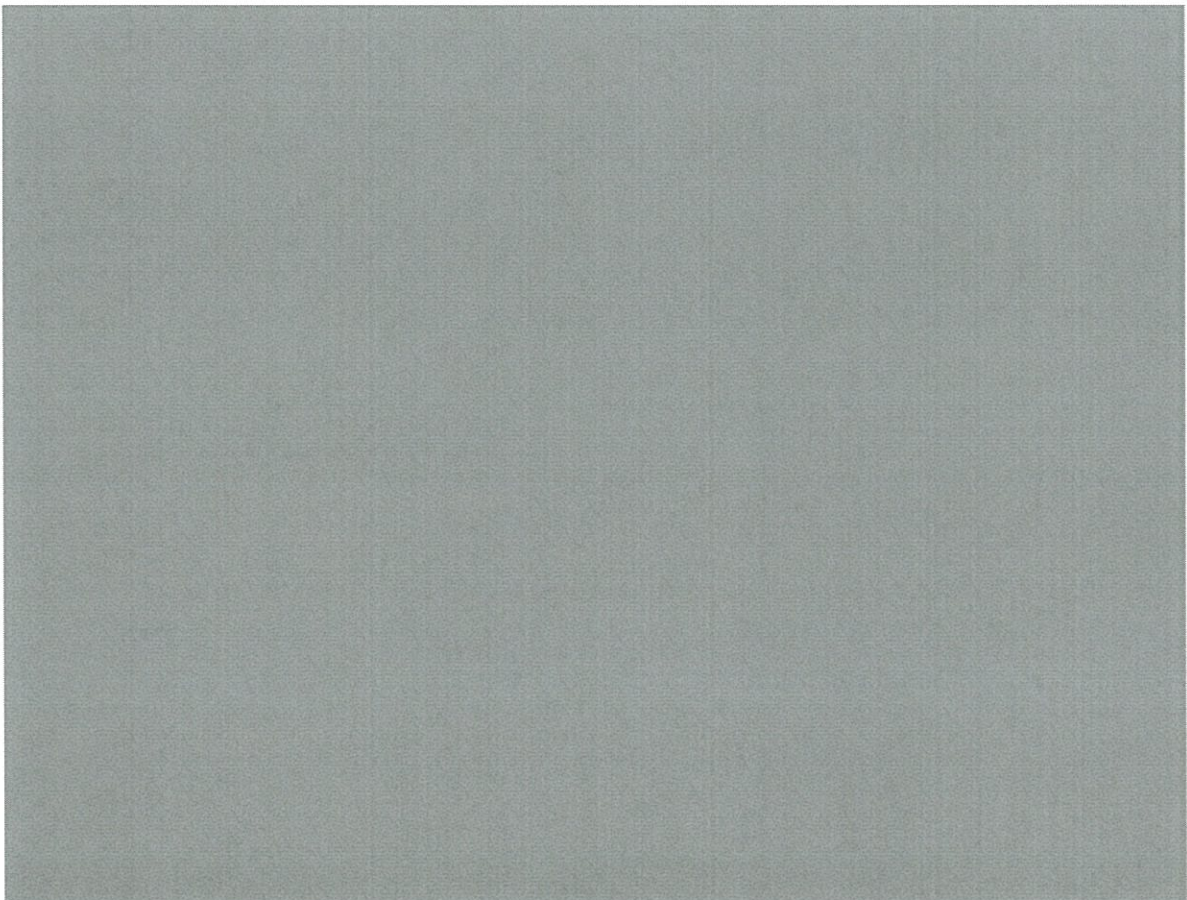
L'éolienne M5000 fonctionne à vitesse variable et angle de pale constant sous vitesse de vent nominale, et dès que la vitesse du vent dépasse la vitesse nominale, le système de pas intervient pour réguler la vitesse du rotor de l'aérogénérateur.



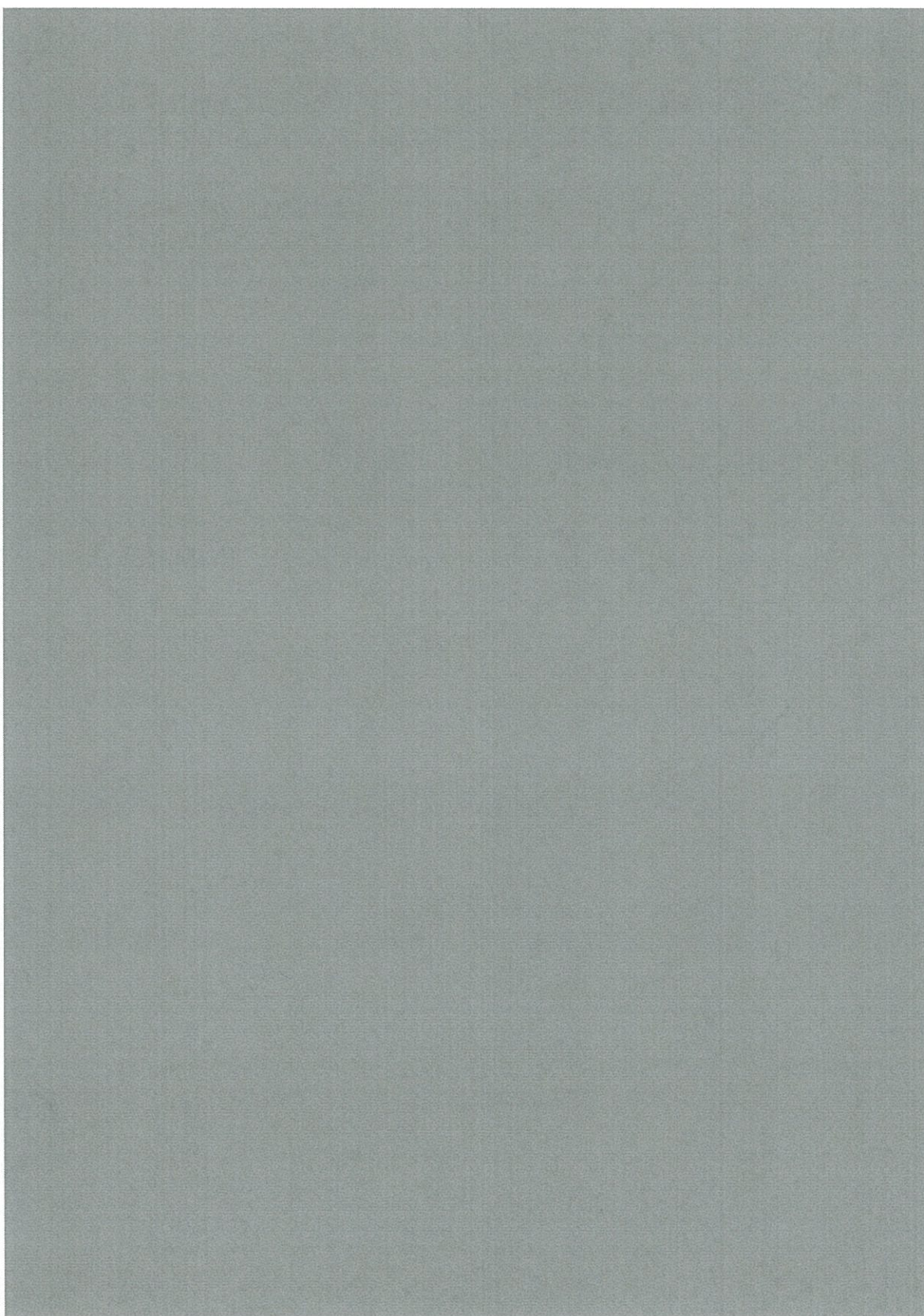
Figure 3 Vue des pales

### 2.1.2. Nacelle

La nacelle abrite une structure de support moulée avec un roulement principal à une extrémité supportant le rotor, la boîte de vitesses (gearbox) et le générateur.









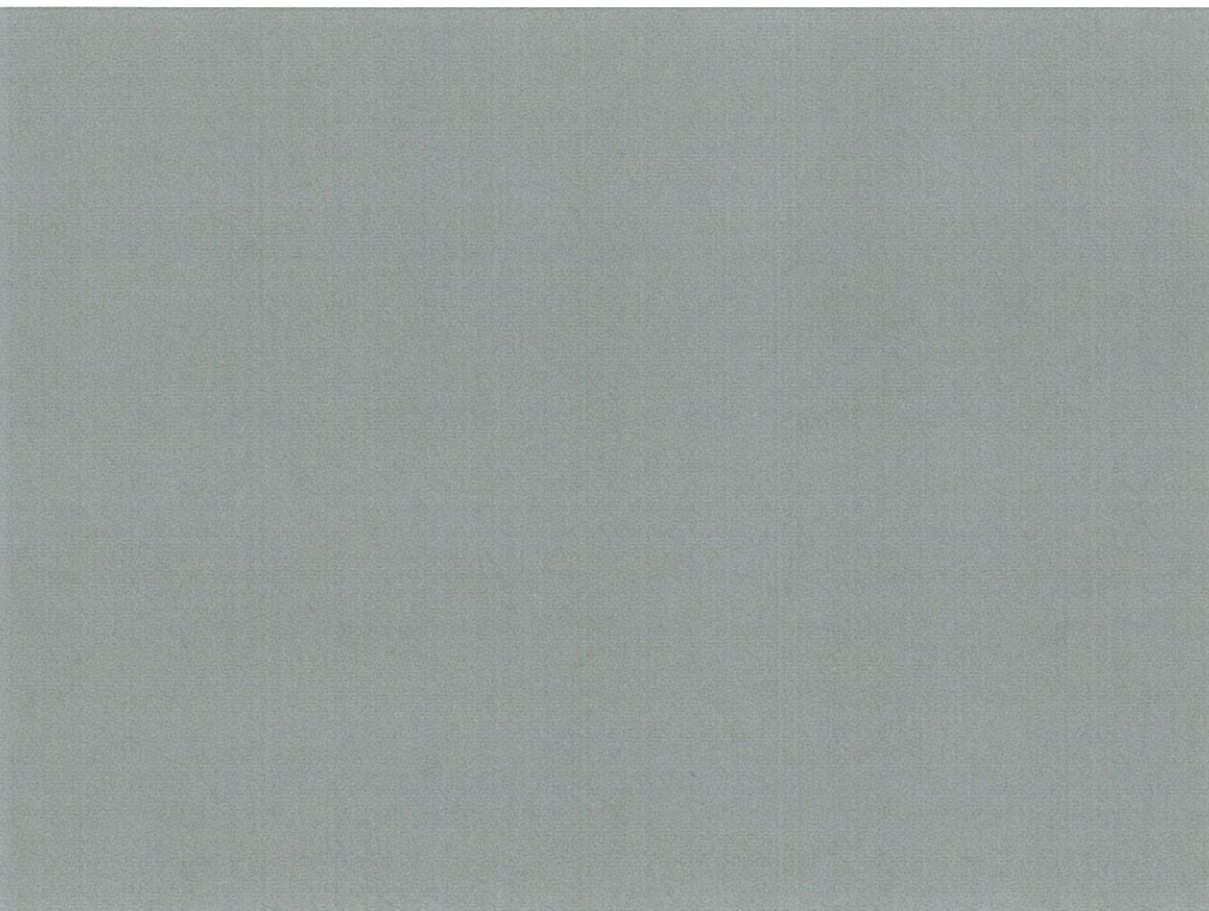
### 2.1.3. Système de régulation SCADA

L'éolienne M5000 utilise un système SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition, *contrôle de surveillance et acquisition de données*) pour la régulation, le contrôle et la supervision du bon fonctionnement de la turbine.

Le système SCADA vérifie le bon fonctionnement de la turbine par l'intermédiaire de plusieurs capteurs installés sur le pourtour de l'éolienne. Ces capteurs surveillent tous les éléments nécessaires à la régulation de puissance, à l'orientation au vent de l'éolienne et d'une manière générale à son exploitation. Toutes ces capteurs sont redondants afin de garantir la fiabilité de la machine.

Le système SCADA utilise des seuils d'exploitation prédéterminés pour tous les aspects de contrôle de l'éolienne. Ainsi, des alarmes d'avertissement sont générées lorsque l'exploitation de l'éolienne s'écarte des points de consigne nominaux.

Toutes les données SCADA sont envoyées par fibres optiques intégré dans les câbles électriques jusqu'à un site à terre. Depuis ce point, le parc éolien est surveillé 7 jours sur 7 et 24 heures sur 24. Le système SCADA permet également d'informer le personnel de service d'une défaillance à l'intérieur de la turbine. L'acheminement des composants et des outils appropriés pour réparer l'éolienne est anticipé et réduit ainsi les durées d'indisponibilité.



## 2.2. LE TYPE DE FONDATIONS(D1.2.2)

Le choix du type de fondation adapté aux éoliennes retenues doit prendre en compte divers aspects techniques, environnementaux et économiques.

Notre approche consiste à étudier dans un premier temps les caractéristiques de la zone en terme de bathymétrie, géotechnique, descente de charges et de données environnementales.

Ces données permettent de déterminer les différents types de fondations envisageables sur la zone. Ensuite nous proposerons une étude comparative technique et financière afin de démontrer que le type de fondation retenu est la plus adapté.

Dans un second temps nous détaillerons les différentes caractéristiques du type de fondation retenu ainsi que le principe de dimensionnement.

Ce choix doit aussi prendre en compte les possibilités locales en termes de fabrication et de stockages détaillées dans la note D3.

### 2.2.1 Références

Les documents de référence suivants ont été utilisés pour renseigner les travaux d'ingénierie.

- [1] Caractérisation de la zone de l'appel d'offres Offshore France – Saint-Brieuc/Etude bibliographique RES/08-2011 [Non publiée]
- [2] Projet éolien en mer de Saint-Brieuc Analyses préliminaires/Etude bibliographique IBERDROLA/ 06-2011 [Non publiée]
- [4] APPEL D'OFFRES OFFSHORE SAINT-BRIEUC Hauteur des éoliennes et profondeur d'eau, Réf. : 02814-000067 Rév 6/ Eole RES / 12-2011
- [5] APPEL D'OFFRES OFFSHORE SAINT-BRIEUC Hauteur poste électrique en mer et profondeur d'eau, Réf : 02814-000192 Rév. 3 /Eole RES / 12-2011



- [6] ANEMOC Atlas Numérique D'Etats de Mer et Côtiers Graph\_EXTR\_ANEMOC\_COAST\_2635.pdf (<http://anemoc.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>)
- [7] Etude du concept de fondations pour Saint-Nazaire et Saint-Brieuc / RES Offshore / 11-2011. [Non publiée]

## 2.2.2 Glossaire

Français		English	
Termes relatifs aux niveaux de marées		Terms Relating to Tidal Levels	
<b>ZH</b>	Zéro Hydrographique	<b>CD</b>	Chart Datum
<b>PBMA</b>	Plus Basse Mer Astronomique	<b>LAT</b>	Lowest Astronomical Tide
<b>PHMA</b>	Plus Haute Mer Astronomique	<b>HAT</b>	Highest Astronomical Tide
<b>BM</b>	Basse Mer	<b>MLW</b>	Mean Low Water
<b>PM</b>	Pleine Mer	<b>MHW</b>	Mean High Water
<b>NM</b>	Niveau Moyen	<b>MSL</b>	Mean Sea Level
<b>BMVE</b>	Basse Mer moyenne de Vive-Eau	<b>MLWS</b>	Mean Low Water Springs
<b>PMVE</b>	Pleine Mer moyenne de Vive-Eau	<b>MHWS</b>	Mean High Water Springs

*Tableau 1 - Glossaire*

## 2.2.3 Conditions liées au site, données environnementales physiques

Plusieurs études bibliographiques ont été réalisées au sein du Consortium, celles-ci ont donc été prise en compte pour réaliser une analyse générales des conditions environnementales spécifiques à la zone de Saint Brieuc.

Les sources de données suivantes, disponibles gratuitement ou achetées, ont été consultées dans le cadre de cette évaluation :

- Carte bathymétrique générale des océans (GEBCO)
- Atlas Numérique d'Etats de Mer Océaniques et Côtiers (ANEMOC)
- Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), carte au 1:500 000 et livret joint 'Les Sédiments Superficiels de la Manche'
- Carte BRGM 'Carte Géologique de la France' 2003
- Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM)

Afin de valider les conditions bathymétriques et de fonds marins obtenus dans les études bibliographiques, le Consortium a entrepris de réaliser deux séries d'études bathymétriques et géophysiques sur la zone de Saint-Brieuc :

- Etude Novembre/Décembre 2010, effectuée par CERES sur la partie sud de la zone, avec bathymétrie monofaisceau, sonar à balayage latéral et sondage sédimentaire ;
- Etude Novembre 2011, effectuée par IxSurvey sur l'ensemble de la zone, comprenant bathymétrie multifaisceaux, sonar à balayage latéral et sonar SAR, sondage sédimentaire, magnétométrie et échantillonnage de sédiments avec imagerie vidéo déroulante.

L'objet des études géophysiques était de caractériser la bathymétrie de la zone et les conditions du fond marin et d'identifier les éventuels risques spécifiques qui pourraient impacter la bonne installation et la bonne exploitation d'un parc éolien dans cette zone. Les deux études ont été menées le long d'une structure de grille et étaient complémentaires, chacune ayant permis de combler les lacunes de données de l'autre étude. Les résultats ont ensuite été comparés à des sources bibliographiques permettant d'étayer le modèle géologique ou d'identifier d'éventuels écarts.

### **Bathymétrie**

Les analyses du profil bathymétrique de la zone d'étude sont basées sur des données provenant des rapports bibliographiques référencés et validées par les relevés de bathymétrie spécifique commanditée par le Consortium

Ce relevé superposé à la zone d'implantation présentée sur la Figure 8 montre que les éoliennes se situent entre 28 et 38 m de profondeur (PBMA). La profondeur augmente en direction du Nord. On ne note pas d'irrégularité bathymétrique majeure à l'intérieur de la zone exceptée une irrégularité du profil (passage abrupt de 35 à 40m à l'Est de la zone implantation. Celle-ci a été évitée pour s'affranchir de toutes variations de profil trop importantes pouvant causer un problème pour la stabilité des fondations.

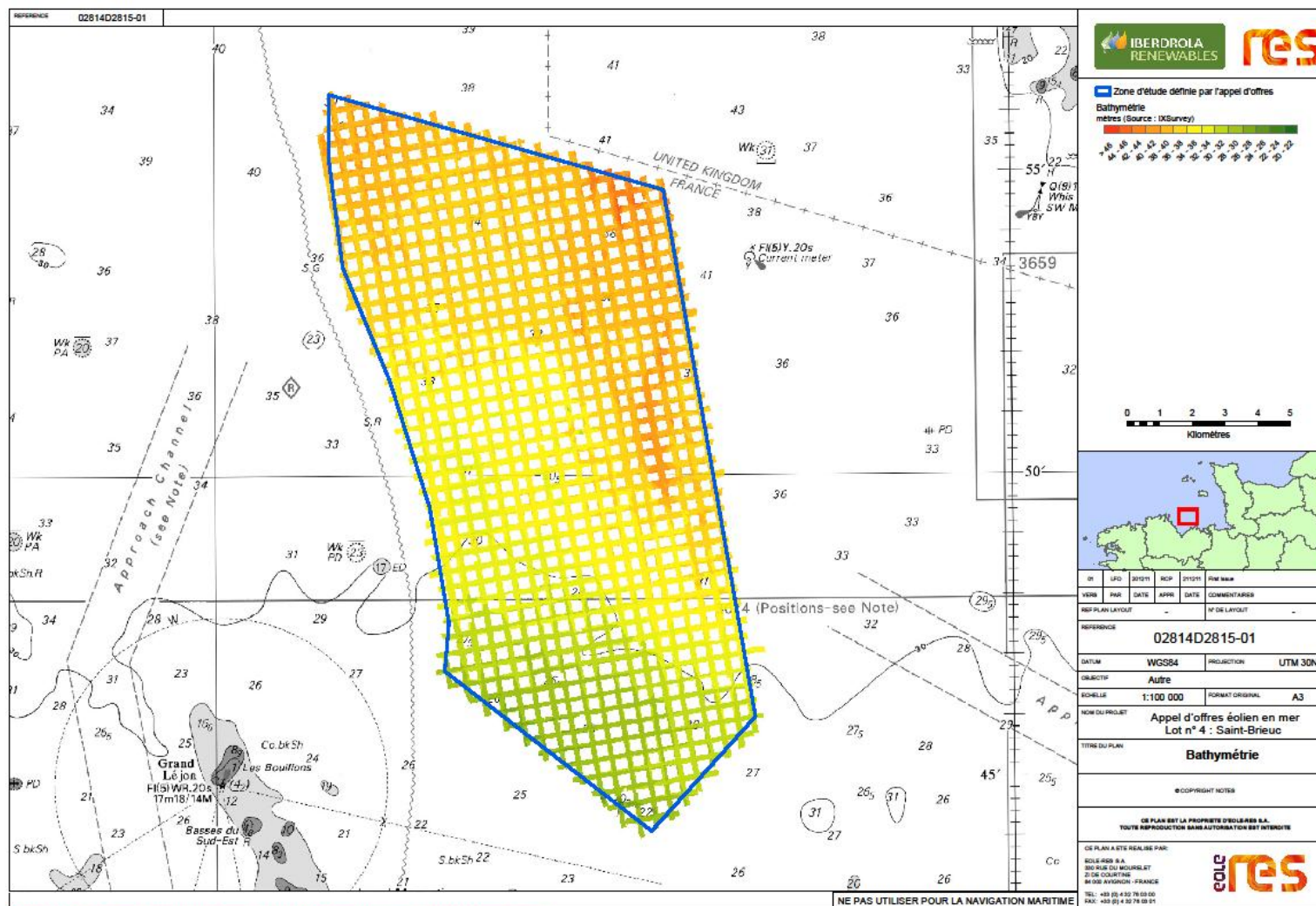


Figure 8 Profil Bathymétrique Saint Brieuc



## **Géologie et sédiments**

Les sédiments de surface se composent principalement de dépôts sablonneux et de graviers d'épaisseur variable sur l'essentiel de la zone, avec de nombreux affleurements rocheux locaux. Les strates rocheuses dans cette zone sont de dureté variable mais sont généralement de nature ignée. Cette zone se trouve au-delà de l'action des glaciers du Pléistocène, de sorte que les dépôts superficiels sont soit très minces soit totalement absents.

Le profil géologique est issu de dépôts de différents âges dont la répartition reflète l'influence des courants de marée. Lorsque les courants de marée sont forts, le fond marin est nu, excepté des galets (ou fragments de coquillages).

Les courants moins importants donnent naissance à des rubans et ondulations de sable et de gravier, avec des lits d'épaisseur croissante de dépôts à grain fin dans les zones protégées.

Les études géophysiques effectuées par le Consortium montrent que les conditions du fond marin ci-dessus se rencontrent de façon générale. L'épaisseur des sédiments de sable et de gravier varie entre 1 m et 5 m, avec des affleurements rocheux localisés. Le canal plus profond dans la partie Est du site est rempli de dépôts sensiblement plus épais. La Figure 9 montre la variation de l'épaisseur des sédiments dans la zone.

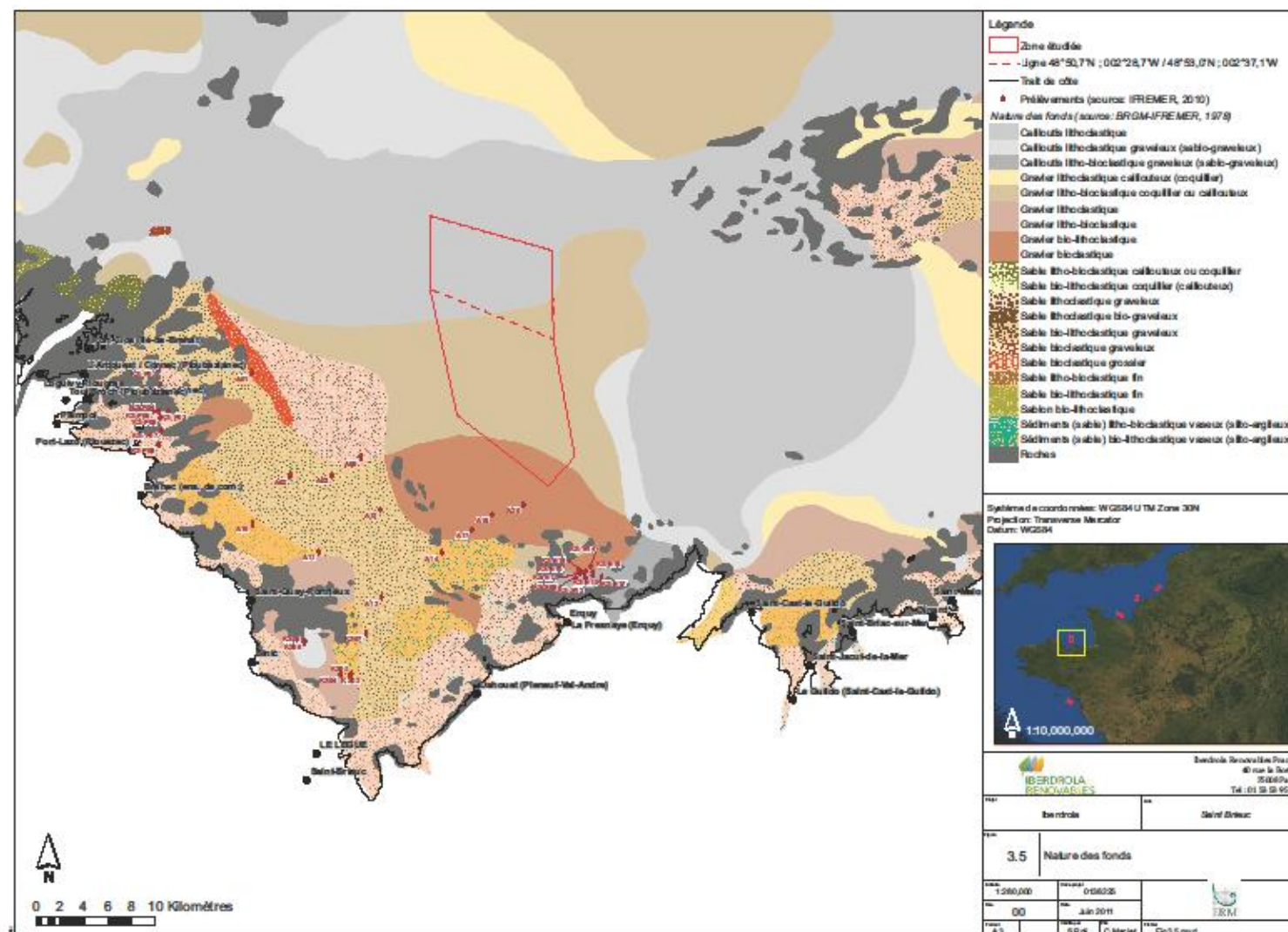
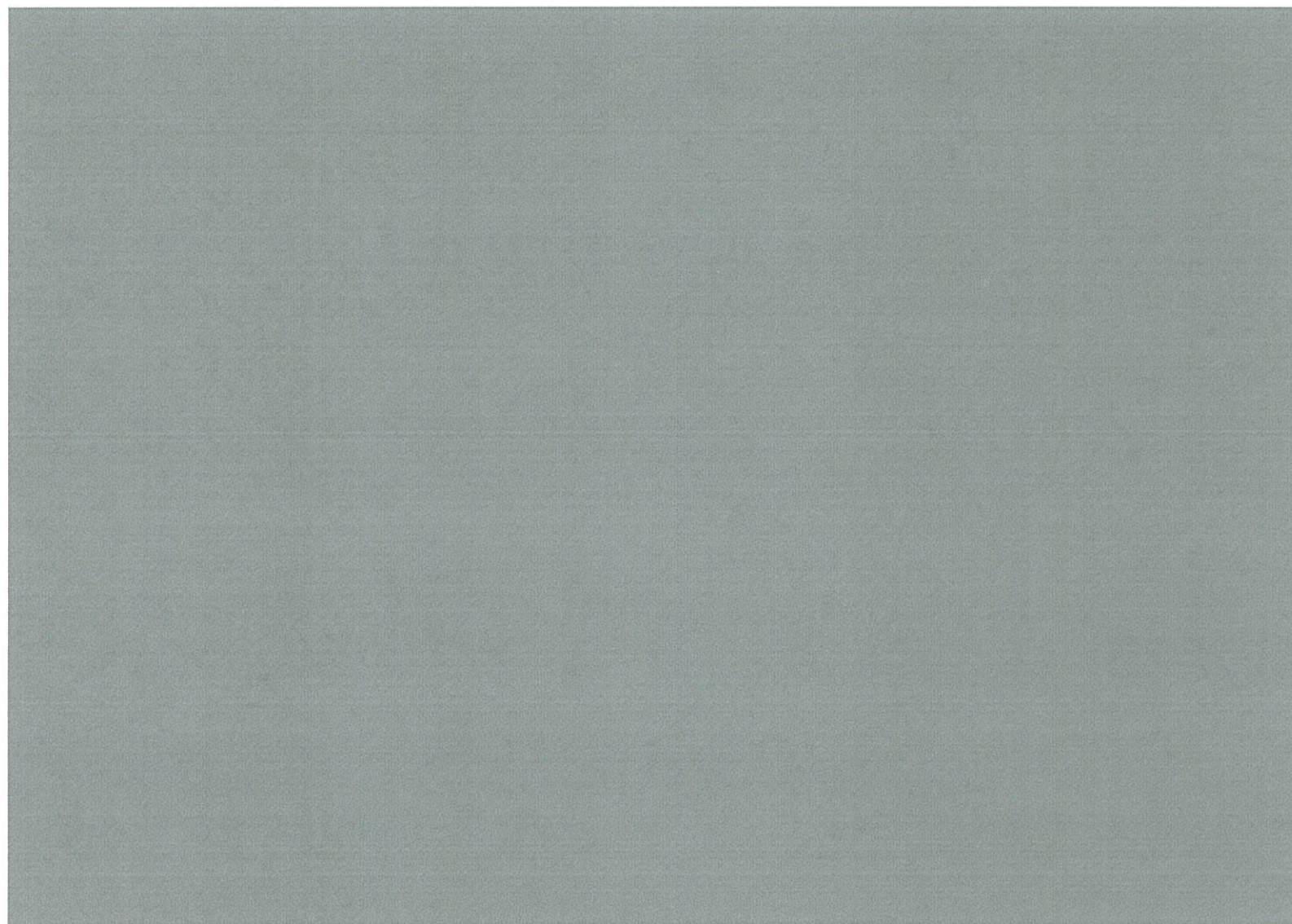


Figure 9: Nature des fonds





### **Risques géologiques**

D'un point vu global, on note la présence de nombreux affleurements rocheux entre le sud du site éolien et le littoral entre le Cap d'Erquy et le Cap Fréhel. On remarque en particulier les plateaux du Grand Léjon et du Petit Léjon situé au sud-ouest du site

La dépression sur le bord Est de la zone présente des contraintes techniques pour l'installation des éoliennes en raison de profondeurs d'eau plus importantes, de pentes plus fortes et de sols plus souples. Le positionnement des éoliennes permettra dans la mesure du possible d'éviter cette zone.

Des études géophysiques plus détaillées sont planifiées en phase de levée des risques, ce qui permettra d'identifier d'éventuelles spécificités localisées du fond marin.

En outre, des études géotechniques sont prévues afin d'identifier les propriétés physiques des sols et de la roche dans laquelle les fondations seront placées et les câbles installés en tranchées, ces études étant en général réalisées en utilisant une combinaison de pénétromètre à cône et d'essai de carottage. Le type et l'étendue des essais géotechniques dépendent du type de sol rencontré sur le site et de l'homogénéité de ces conditions de site. Les propriétés superficielles du fonds rocheux domineront la conception des fondations et de l'installation dans la zone de Saint-Brieuc, et les carottages rotatifs constitueront la technique la plus appropriée.

### **Courants, vagues et marées**

Des prédictions de marées et de courants de marée ont été acquises auprès du SHOM.

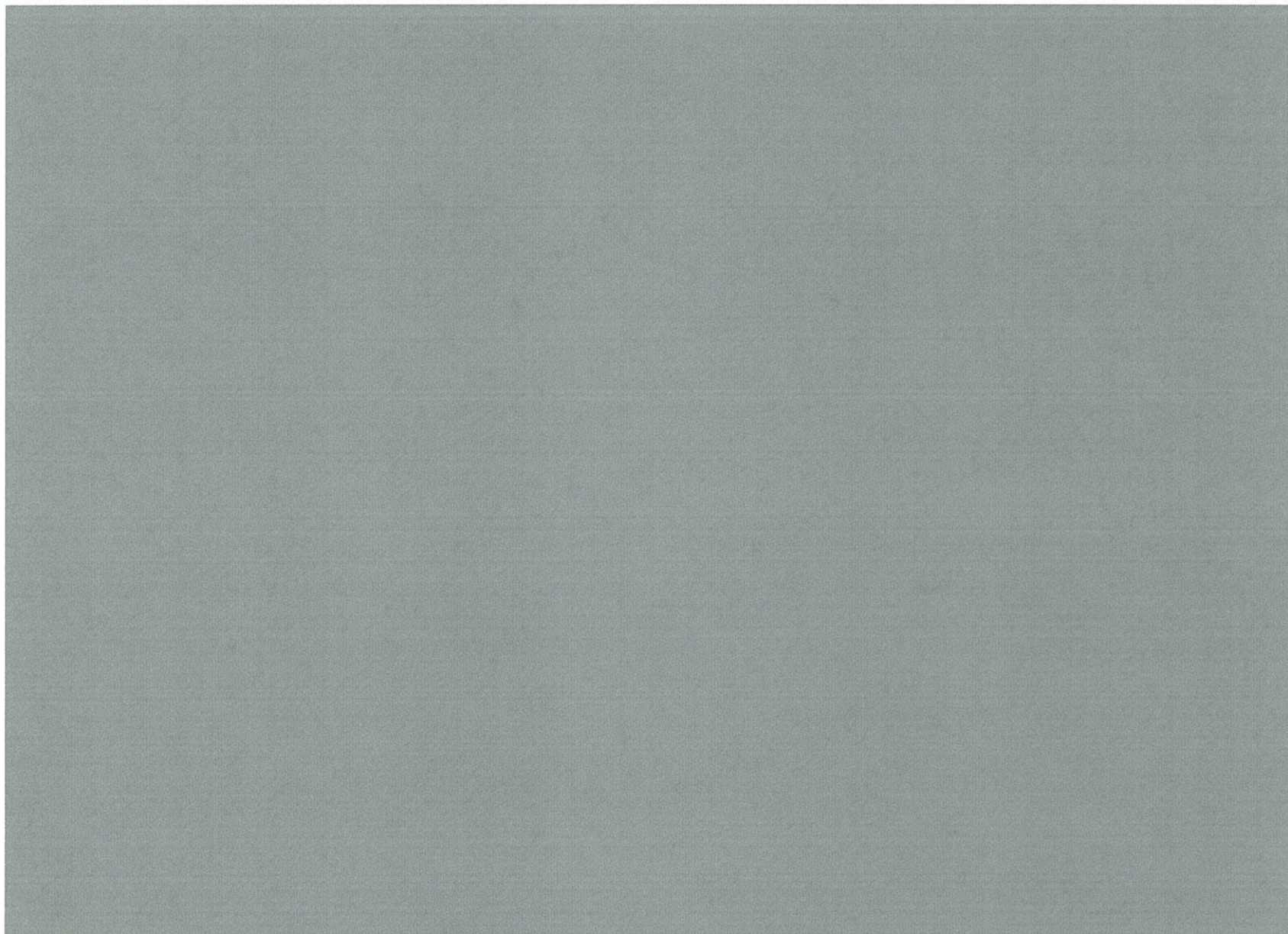
La Figure 11 présente les valeurs de niveau moyen et plus haute mer astronomique extraites pour quatre points en bordure du site éolien et un point à l'intérieur de celui-ci. Ces niveaux sont à ajouter aux données de bathymétrie qui sont rapportées au zéro hydrographique (ZH), correspondant à la plus basse mer astronomique (PBMA).

Les résultats des modélisations de courants de marée pour cinq points au voisinage du site éolien sont présentés dans la Figure 11. Ils révèlent un flot de direction Sud-Est d'une amplitude maximale variant entre 2,1 et 2,9 nœuds en vive-eau (marée de coefficient 95) et 0,9 et 1,1 nœud en morte-eau (marée de coefficient 45).

L'amplitude des marées est importante avec une amplitude astronomique (PBMA à PHMA) de 12,8 m.

Une campagne de mesures spécifique utilisant des bouées de mesure de houle et des détecteurs de courant sera mise en œuvre pour obtenir des informations nécessaires à la conception.

Une bonne connaissance du comportement physique du milieu marin sur la zone de Saint-Brieuc est nécessaire pour une bonne prise en compte de ces caractéristiques lors de la conception des infrastructures





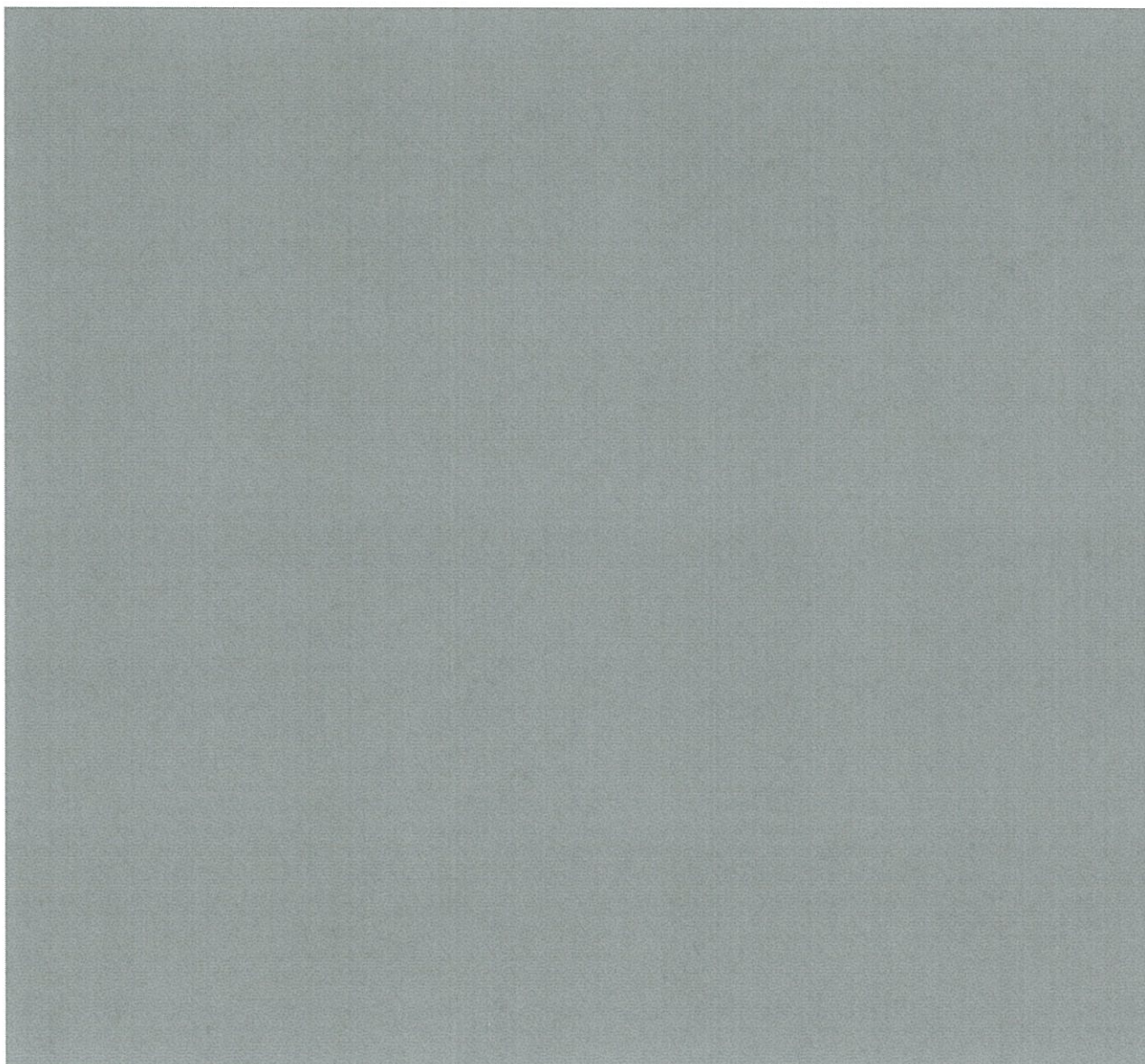
### Vagues

Les hauteurs des vagues ont été obtenues auprès de sources publiquement disponibles et sont cohérentes avec la position relativement abritée.

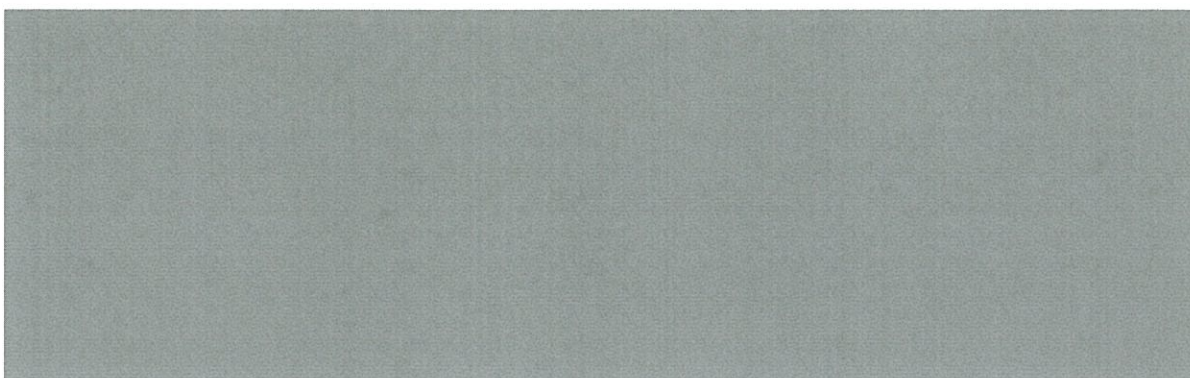
Se reporter au lien

[http://anemoc.cetmef.developpementdurable.gouv.fr/editions/NIVEAU3/graph\\_EXTR\\_ANEMOC\\_COA\\_ST\\_2635.pdf](http://anemoc.cetmef.developpementdurable.gouv.fr/editions/NIVEAU3/graph_EXTR_ANEMOC_COA_ST_2635.pdf)

Les hauteurs de houle sont inférieures à 1 m dans 70 % du temps. On observe deux types de houles : les houles courtes dont la période de pic est de l'ordre de 6 s et des houles plus longues dont la période est de 10 s.







Les hauteurs de vagues sont relativement hautes néanmoins elles restent modérées par rapport au niveau d'exposition de la baie

### **Récapitulatif des caractéristiques physiques et environnementales déterminantes**

Les caractéristiques physiques de la zones de Saint-Brieuc, dimensionnante pour les fondations sont :

1. Une bathymétrie relativement linéaire entre 28 et 38 m, avec une irrégularité du profil localisé à l'Est de la zone.
2. Couverture sédimentaire mince de surface recouvrant le lit rocheux, avec des affleurements exposés.
3. Formation graveleuse hétérogène
4. Marnage supérieur à 10 m
5. Courants et vagues modérés

La prise en compte de ces caractéristiques est déterminante pour dimensionner une fondation. Ceci sera détaillé ci dessous.

#### **2.2.4 Implantation**

L'implantation des éoliennes retenue est présentée dans la Figure 11. Cette disposition dérive d'un certain nombre de critères, y compris :

- les recommandations de l'Annexe 3 du cahier de charges de l'appel d'offres  
*Les espacements inter-éoliennes et les axes d'orientation recommandés ont été respectés.*
- la bathymétrie de la zone et les conditions du fonds marin anticipées  
*Les fonds au-delà de 38m de profondeur et le canal sur la zone Est ont été évités.*
- l'impact de l'espacement inter-éolienne sur la production d'énergie  
*L'étude de sensibilité espacement vs. productible réalisée préconise un espacement dans les axes principal et secondaire de 6 et 8 fois le diamètre du rotor des aérogénérateurs.*
- l'impact environnemental  
*Les critères pris en compte sont détaillés dans la note D7.*
- la prise en compte des activités préexistantes  
*La zone d'implantation a été principalement définie en fonction des activités de pêche, en concertation avec les acteurs locaux. Les critères pris en compte sont détaillés dans la note D8.*

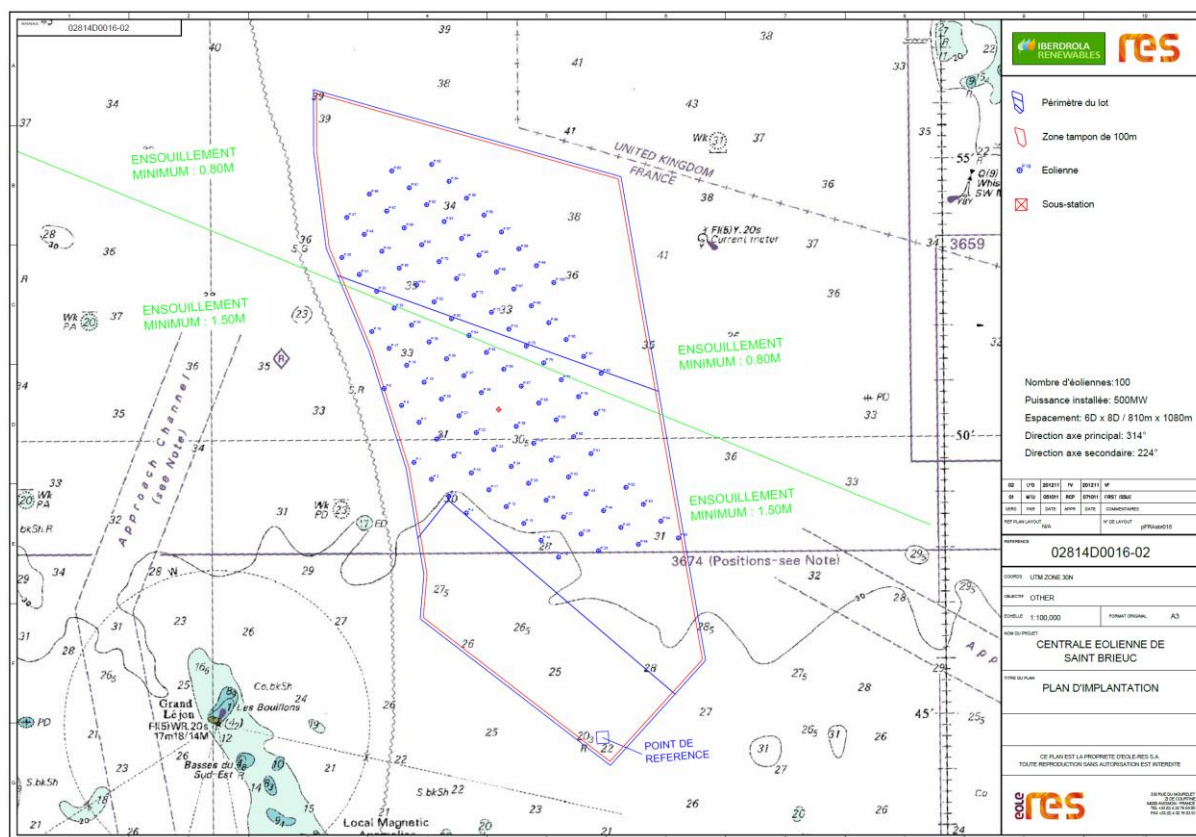


Figure 12 : Implantation du parc éolien de Saint- Brieuc

## 2.2.5 Différents type de fondations envisageables

Il existe différents types de fondations pour accueillir des éoliennes offshore ; il convient de déterminer celle la plus adaptée aux caractéristiques techniques, physiques et environnementales de la zone de Saint-Brieuc.

Les différentes techniques existantes seront présentées ci-dessous.

L'analyse des différents facteurs dimensionnant permet d'aboutir au choix de fondation le plus adapté (voir Figure 13 ci-dessous).

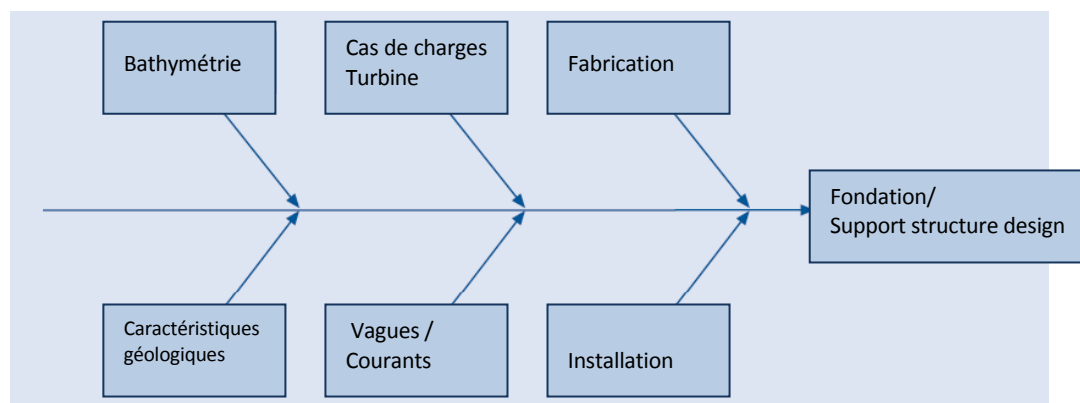


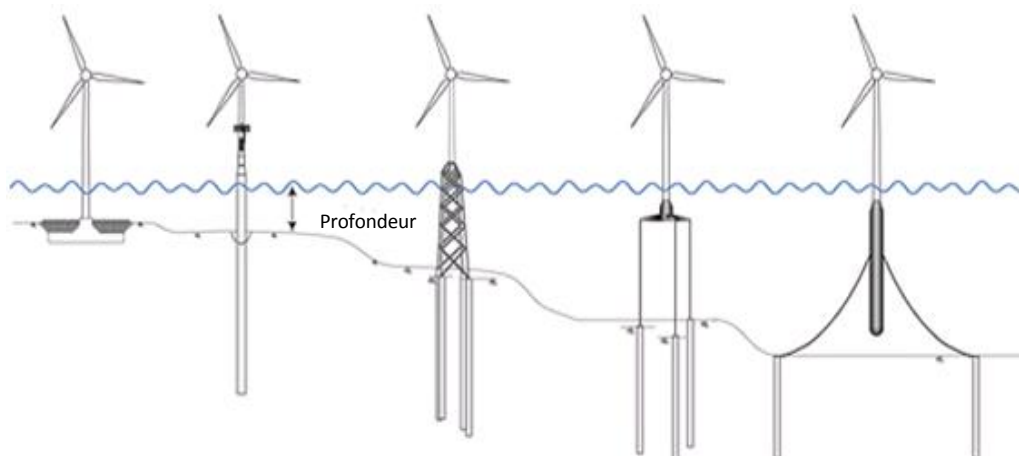
Figure 13 - Données d'entrée de conception de structure type

### 2.2.5.1 Fondations : Structures de support en mer

Les structures de support des aérogénérateurs peuvent avoir différentes formes et tailles ; les plus courantes sont décrites ci-dessous. A ce jour, les monopieux ont été choisis pour la plupart des parcs éoliens offshore. Des structures de base gravitaires en béton ont également été utilisées pour différents projets. A mesure que les aérogénérateurs deviennent de plus en plus grands et sont installés à des profondeurs de plus en plus importantes en mer, les structures de type jacket devraient devenir de plus en plus attractives.

L'étude des différentes réalisations faites à travers le monde fait ressortir 4 à 5 grandes familles

1. Base gravitaire (GBS)
2. Monopieux
3. Tripode
4. Jacket
5. Flottante



**Figure 14 – Structures de support d'éoliennes**

La Figure 12 montre les différents types de structures d'aérogénérateurs qui peuvent être utilisés dans les projets éoliens en mer.

Les modules gravitaires ou structures monopieux (les deux schémas de gauche) sont typiquement utilisés dans les eaux de moins de 30 mètres de profondeur. Les structures de type tripode ou quadripode (milieu) sont utilisées dans les eaux de 30 à 60 mètres de profondeur, et divers types de structures flottantes (les deux de droite) sont à l'étude pour des profondeurs de 60 à 300 m.

### 2.2.5.2 Fondations gravitaires

Domaine d'utilisation : Eau peu à moyennement profonde

Une fondation à base gravitaire utilise son propre poids afin d'assurer la stabilité de l'éolienne.

Une base en béton ou un container en acier ballasté surmonté d'une partie cylindrique permettant le lien avec l'éolienne en surface.

Pour ce type de fondation, un dispositif anti affouillement est nécessaire pour assurer la pérennité de l'installation.



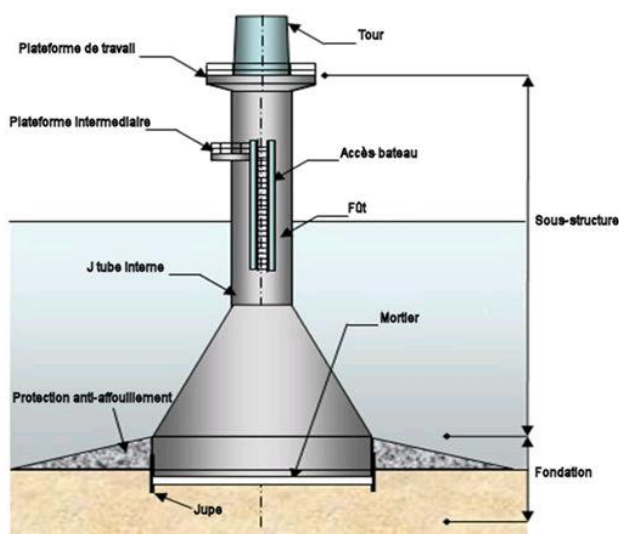


Figure 15 - Fondation gravitaire

### 2.2.5.3 Monopieux

Domaine d'utilisation : Eau peu à moyennement profonde

Les structures monopieux de grand diamètre (typiquement de 4 à 6 m) ont été largement utilisées en mer du Nord pour le support d'éoliennes offshore. Elles ont souvent été installées dans les sables ou argiles à des profondeurs pouvant atteindre 30 mètres. Elles sont préfabriquées à terre puis installées par battage et/ou forage. Une pièce de transition séparée relie la turbine aux fondations.

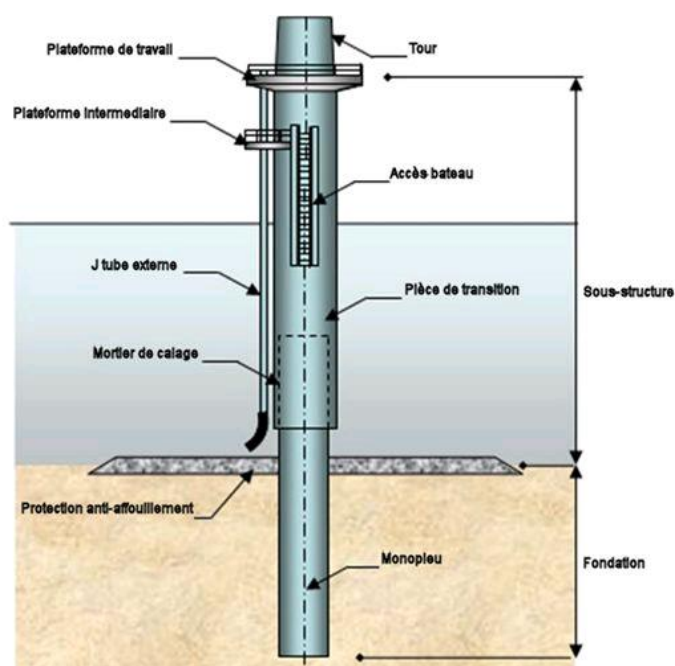


Figure 16 - Fondation type Monopile

#### 2.2.5.4 Tripod

Domaine d'utilisation : Eau moyennement profonde

Ensemble de tubes d'acier de 1 à 5 m de diamètre assemblés par soudure incorporant une pièce de transition au dessus de sa colonne principale, et ancrer au fond marin à l'aide de pieux métalliques allant de 0,8 à 2,5 m de diamètre selon les conditions de sols

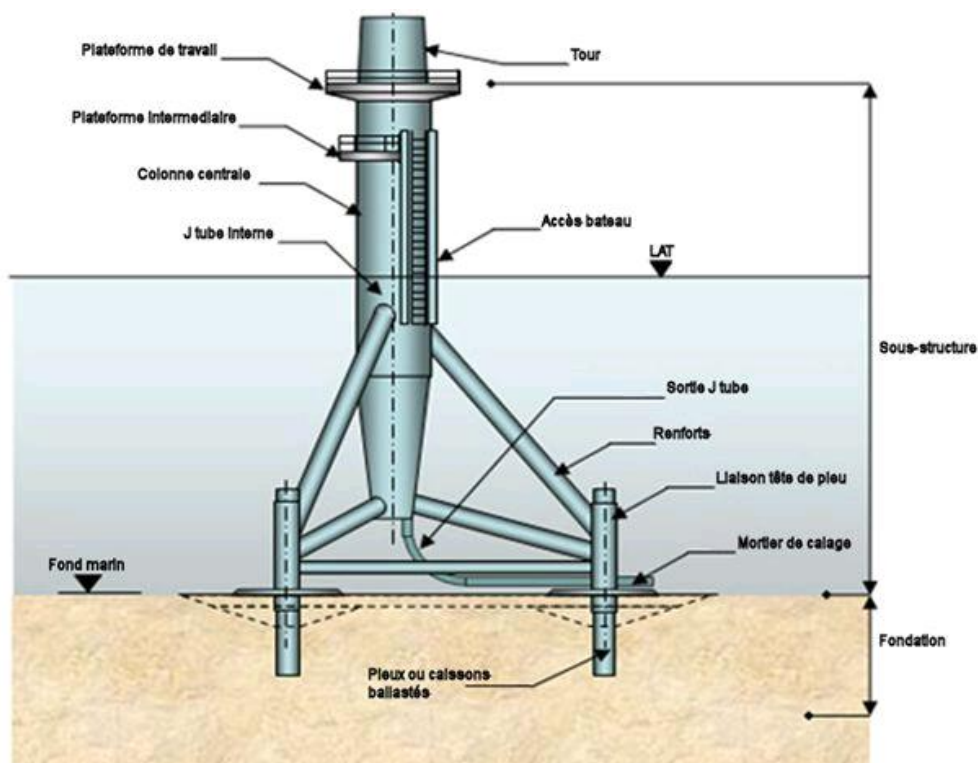


Figure 17 – Fondation type Tripod

#### 2.2.5.5 Jacket

Domaine d'utilisation eau moyennement profonde à profonde

Les jackets métalliques sont très largement utilisées dans l'industrie pétrolière et gazière et le sont de plus en plus dans le secteur de l'éolien offshore, en particulier dans les eaux britanniques ou allemandes.

Ils sont de plus en plus utilisés à mesure que les profondeurs d'eau s'accroissent et que les conditions de sol sont de plus en plus difficiles. La soudure qui permet de réaliser l'essentiel de la structure offshore. Les jackets sont typiquement à 3 ou 4 jambes réalisées en treillis de tubes métalliques soudés ensemble, typiquement de 0,5 à 1,5 m de diamètre.

Les structures sont ensuite acheminées vers le site à bord de barges ou de navires d'installation.

Une jacket est dotée de pieux traversant des guides de pile ou peut être scellé sur des pieux pré-forés/battus (typiquement de 0,8 à 2,5 m de diamètre).

L'élément de transition est inclus avec la fabrication à terre.

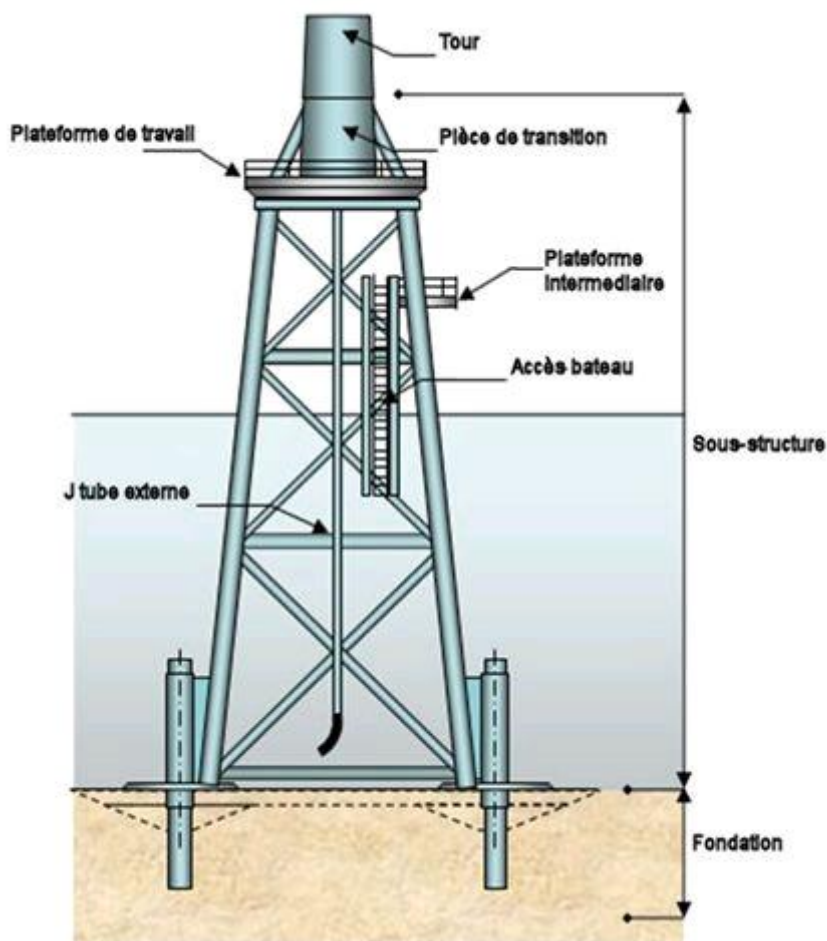


Figure 18 – Fondation de type Jacket

#### 2.2.5.6 Structures flottantes

Domaine d'utilisation : Eaux profondes à très profondes

Ce type d'infrastructure est encore au stade de la Recherche et développement

Son principe repose sur la flottabilité de la structure afin qu'elle résiste à son renversement

Le mouvement de la structure flottante peut ajouter des charges dynamiques supplémentaires à la structure

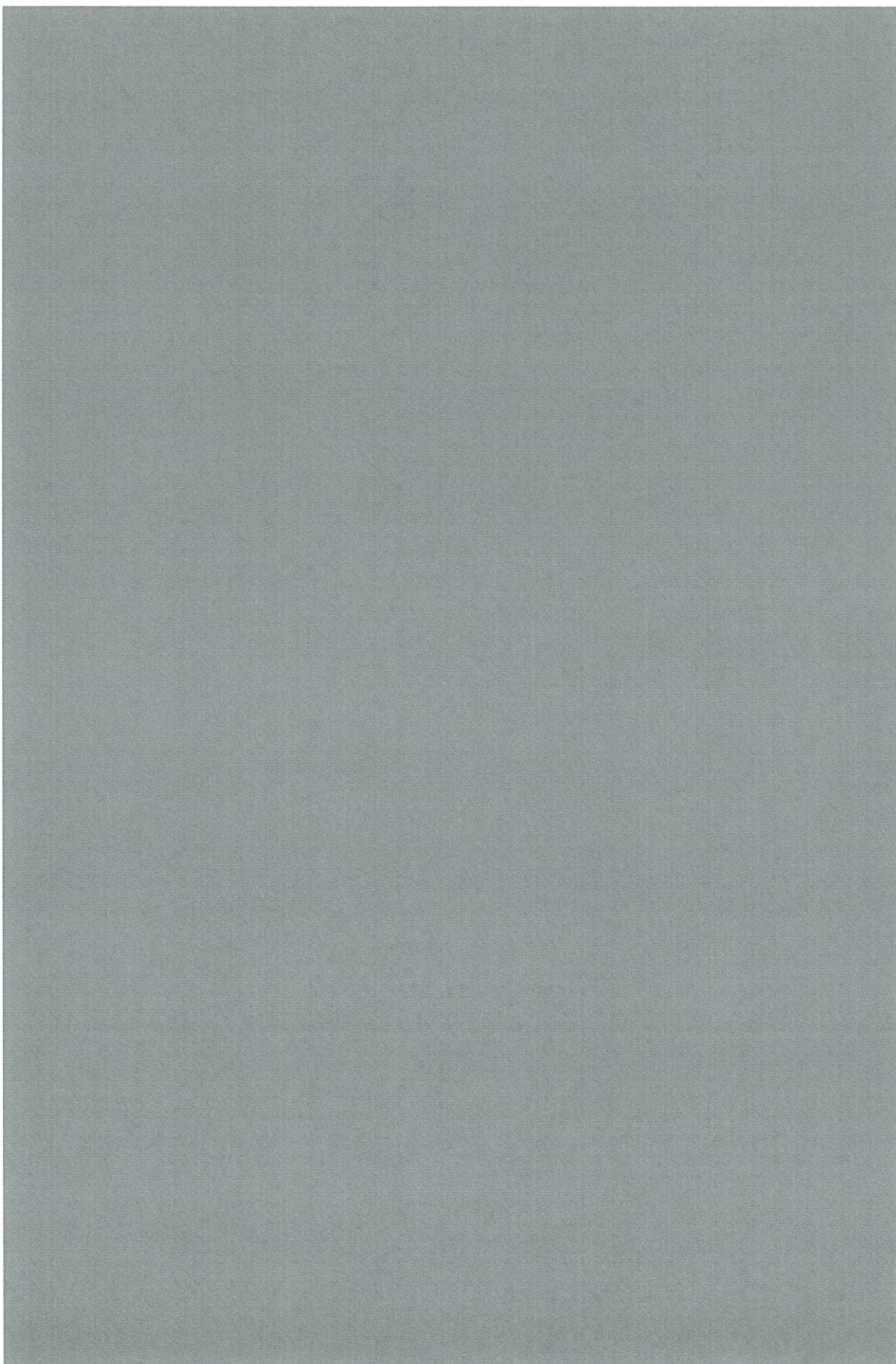
Elle aura l'avantage de ne pas être affectée par les conditions du fond marin.

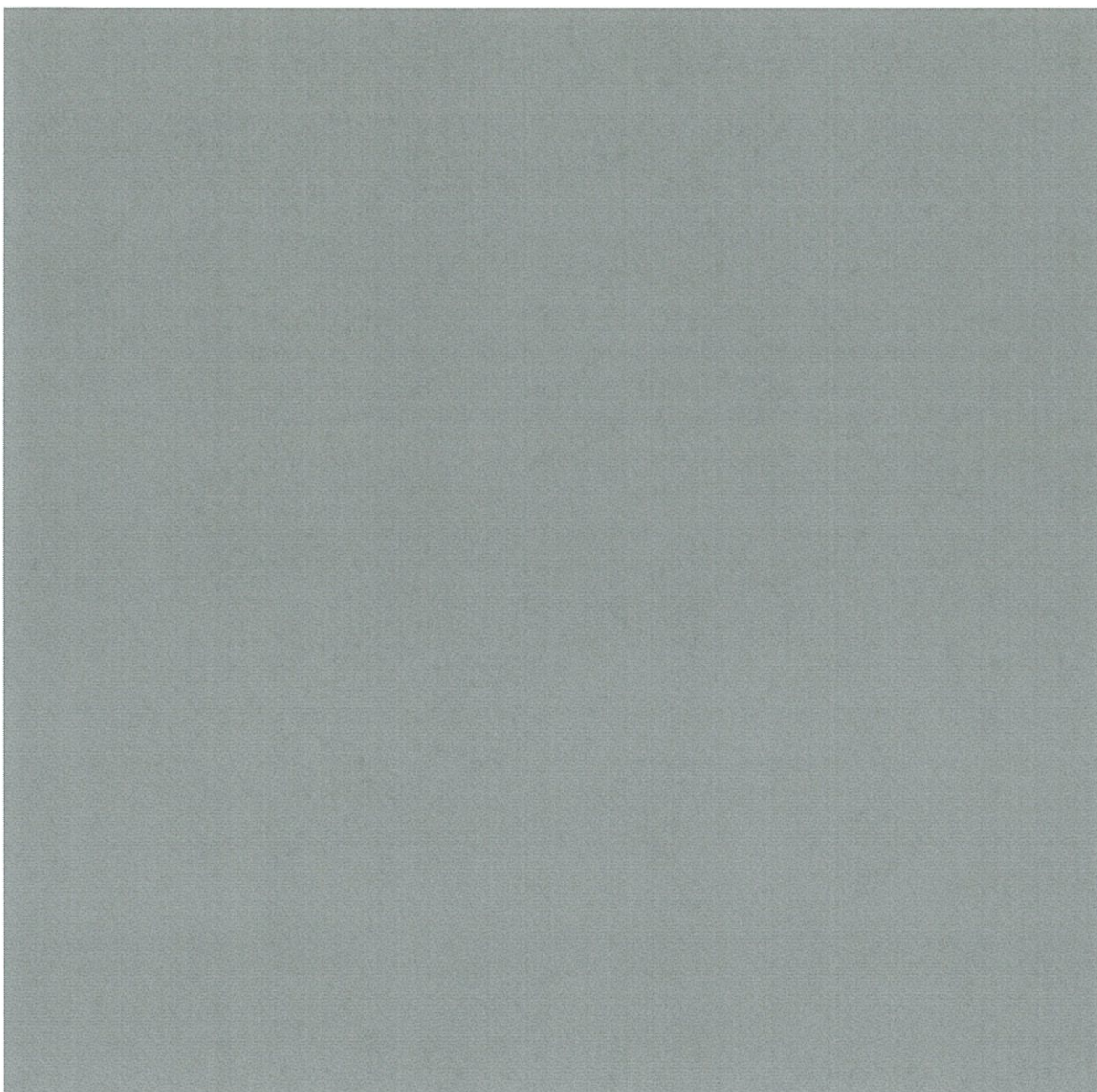
#### 2.2.5.7 Equipements secondaires des fondations

La conception des structures secondaires telles que passerelles, débarcadère et tubes à câbles en J est typiquement développée au niveau de la phase de conception détaillée. Ces détails ont un impact majeur sur la facilité de construction, les exigences de maintenance de la structure de support, l'accessibilité des éoliennes et la sécurité des personnels pendant la phase d'exploitation. De ce fait, une période de conception significative est à prévoir.

Le Consortium a inclus des conceptions métalliques secondaires types basées sur l'expérience d'autres parcs éoliens offshore. La conception des structures métalliques secondaires sera effectuée lorsque les données de site disponibles seront plus développées.







L'analyse des données ci-dessus montre que les fondations les plus adaptées à la zone de Saint-Brieuc sont celle de type Jacket (structure treillis) qui apportent une réponse optimum en terme de tonnage d'acier et de forage des ancrages.

**C'est donc l'option retenue par le Consortium.**



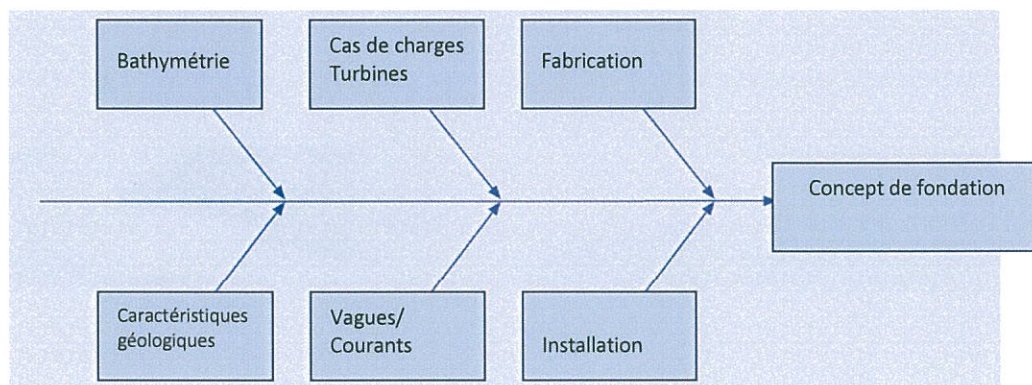
### 2.2.7 Description technique des Jackets

Les structures du jacket identifiées ci-dessus ont été développées plus en détail par Technip. Les conceptions de la structure sont fortement influencées par les conditions de site météocéaniques et les conditions géotechniques présentées ci dessus.

Les conditions géotechniques font l'objet de relevé spécifiques et les conditions météocéaniques sont déterminées par une analyse hydrodynamique détaillée basée sur des données de modèle historique à long terme et étalonnées par rapport aux mesures de houle sur site à court terme.

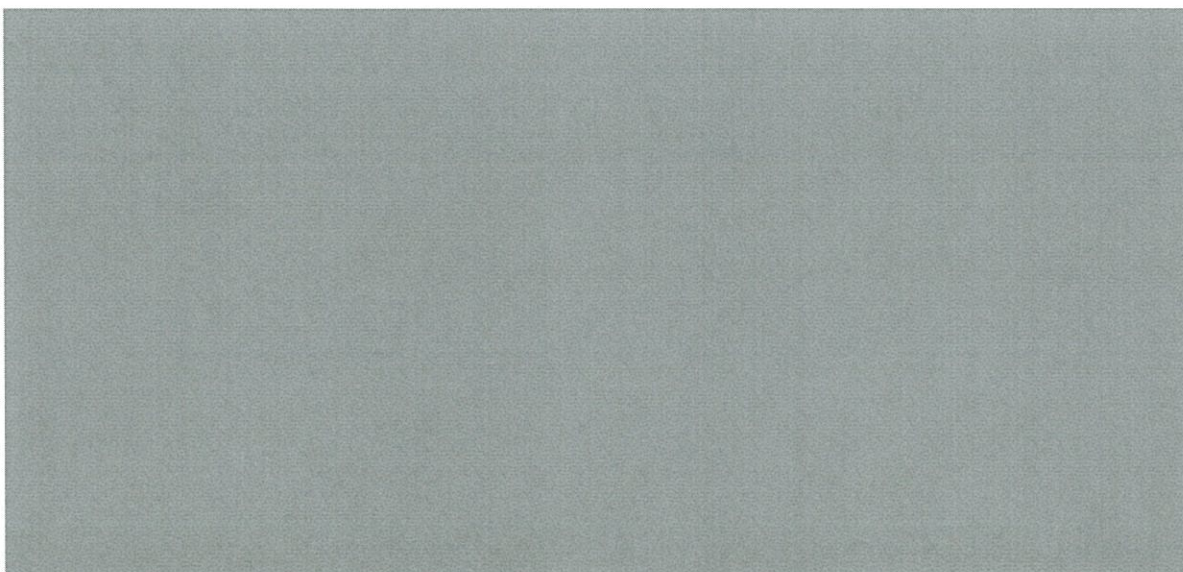
Les structures de support des éoliennes en mer sont éminemment dynamiques en ce qu'elles doivent faire face à des charges au vent et hydrodynamiques combinées et au comportement dynamique complexe de l'éolienne. Il est essentiel de saisir l'effet intégré du vent et des charges à la houle ainsi que du système de régulation de l'éolienne, dans la mesure où il s'agit d'une situation où la charge totale peut être sensiblement inférieure à la somme des charges constituantes

Notre partenaire industriel AREVA a étayé le processus de conception en fournissant les différents cas de charges à appliquer pour dimensionner les fondations des éoliennes.

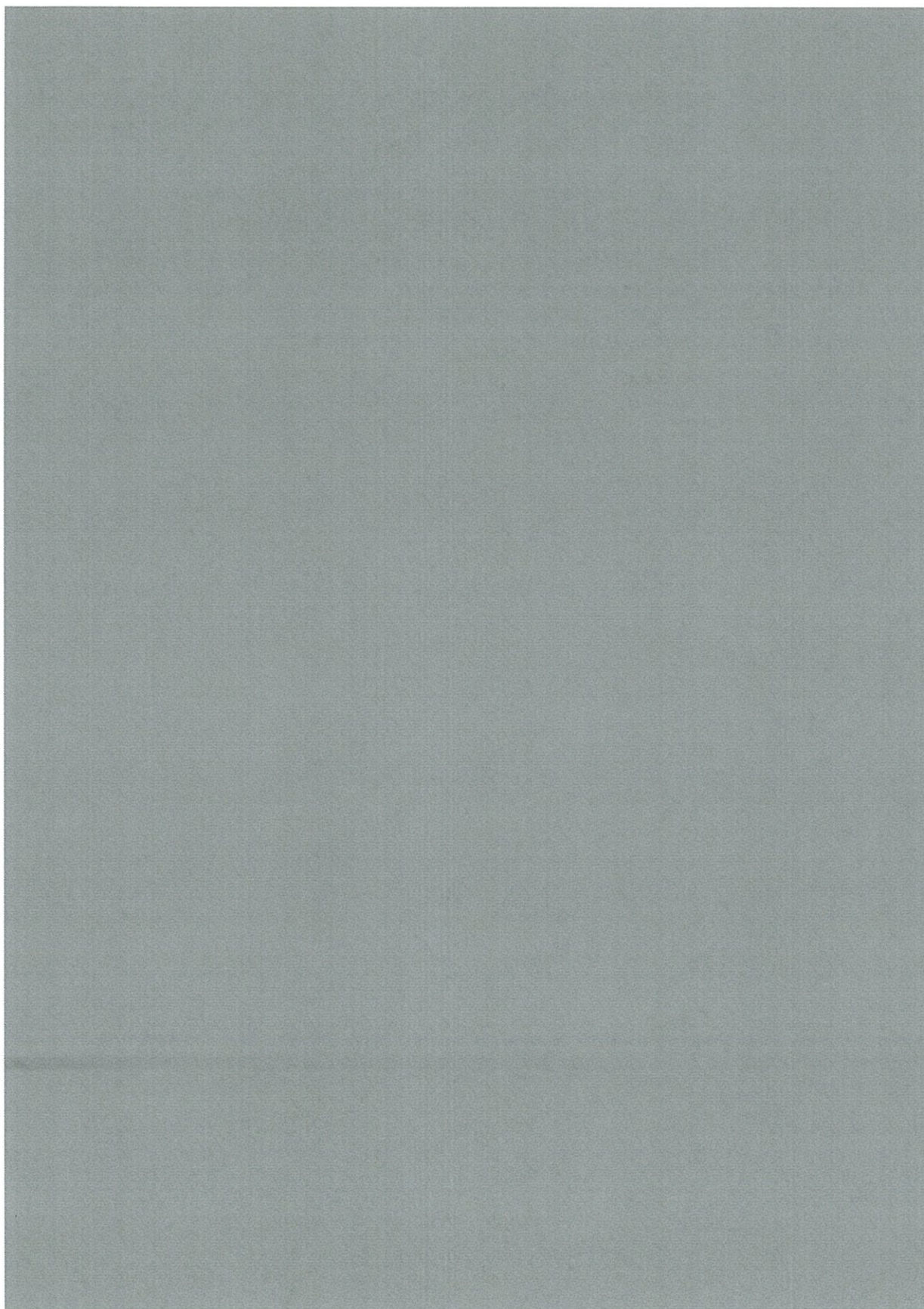


*Figure 19 Données d'entrée types pour la conception de la structure*

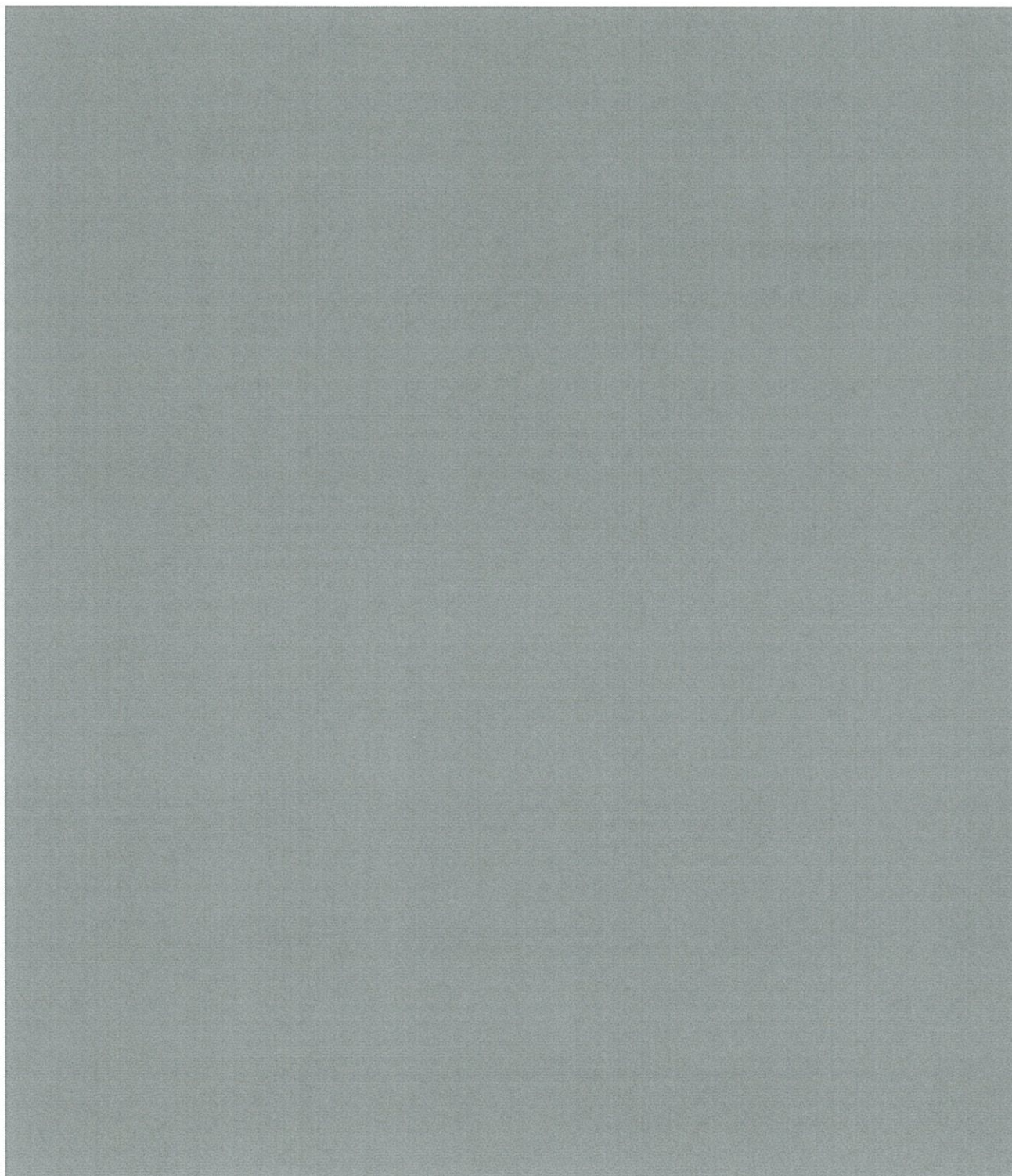
Les sections ci-après présentent les principes de conception de Technip, la base de conception et les résultats.



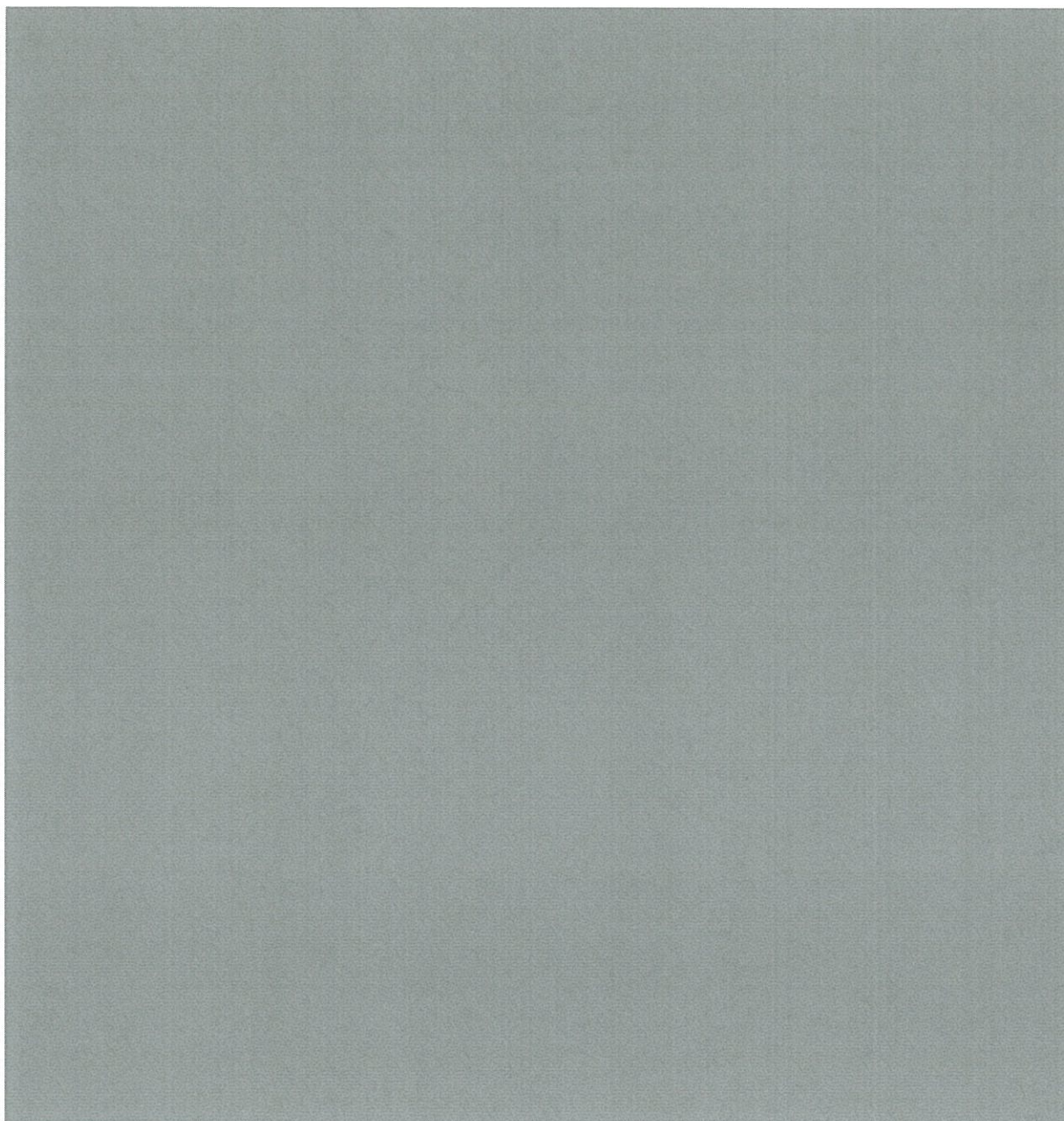












#### 2.2.7.5 Description des Jackets proposées

Partant de la répartition des éoliennes en fonction de la profondeur d'eau, indiquée dans le tableau 6, Technip a étudié trois scénarios de conception. La conception représentée ci-dessous présente le concept obtenu à partir des conditions moyennes de site sur la zone de Saint Brieuc. Cette situation correspond approximativement à une sous-structure fondée à 34 m de profondeur (PBMA).

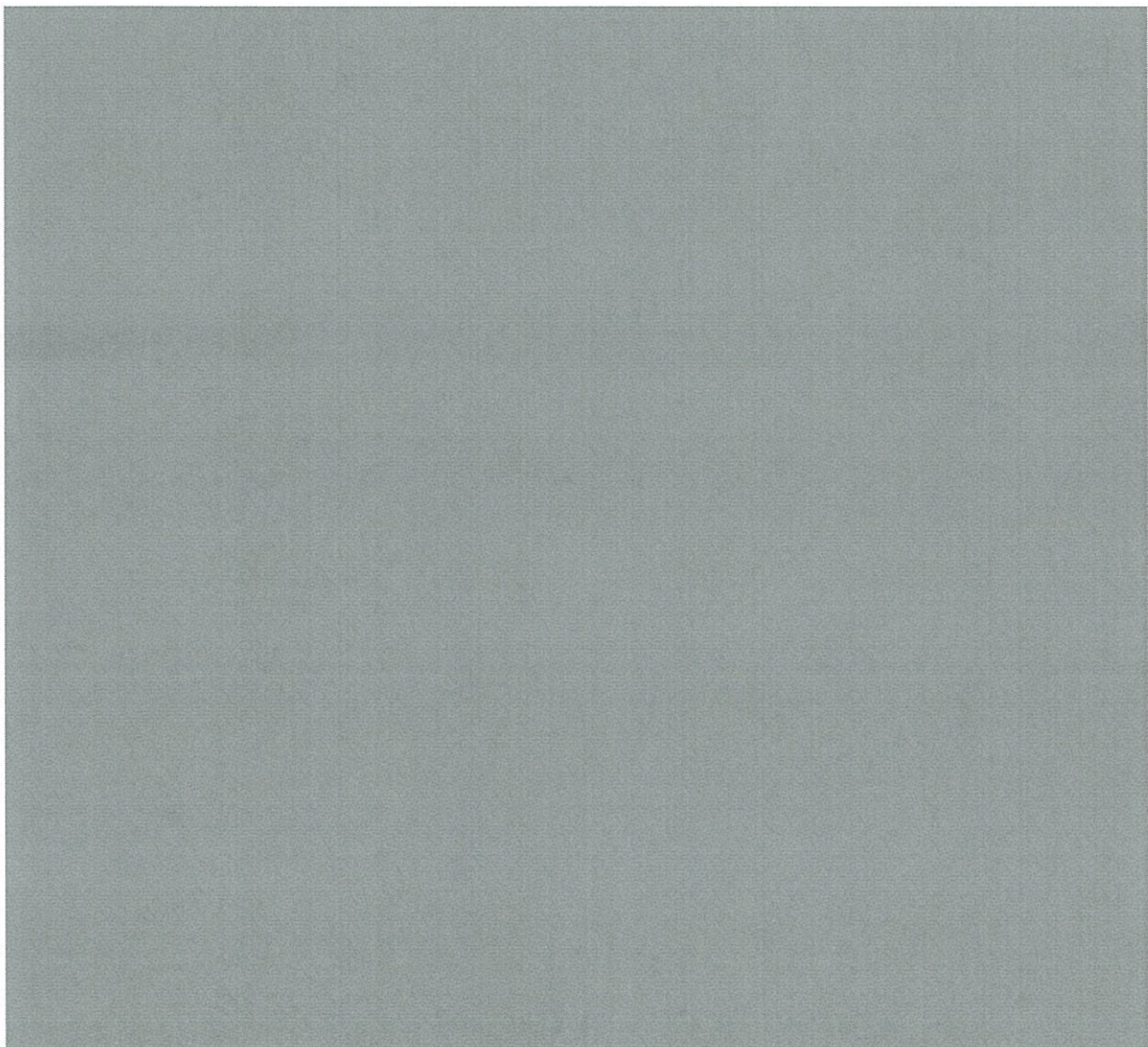
- Elle se compose d'une structure conventionnelle de jacket à 4 jambes, avec un élément de transition conique de 6 m de haut au sommet, réalisant l'interface avec le mât de l'éolienne.
- La jacket est fixée au fond de la mer par l'intermédiaire de 4 pieux préinstallés.
- La connexion entre la base du jacket et les pieux est réalisée par scellement. Les charges de la plate-forme sont ainsi transférées aux pieux par l'intermédiaire du scellement.



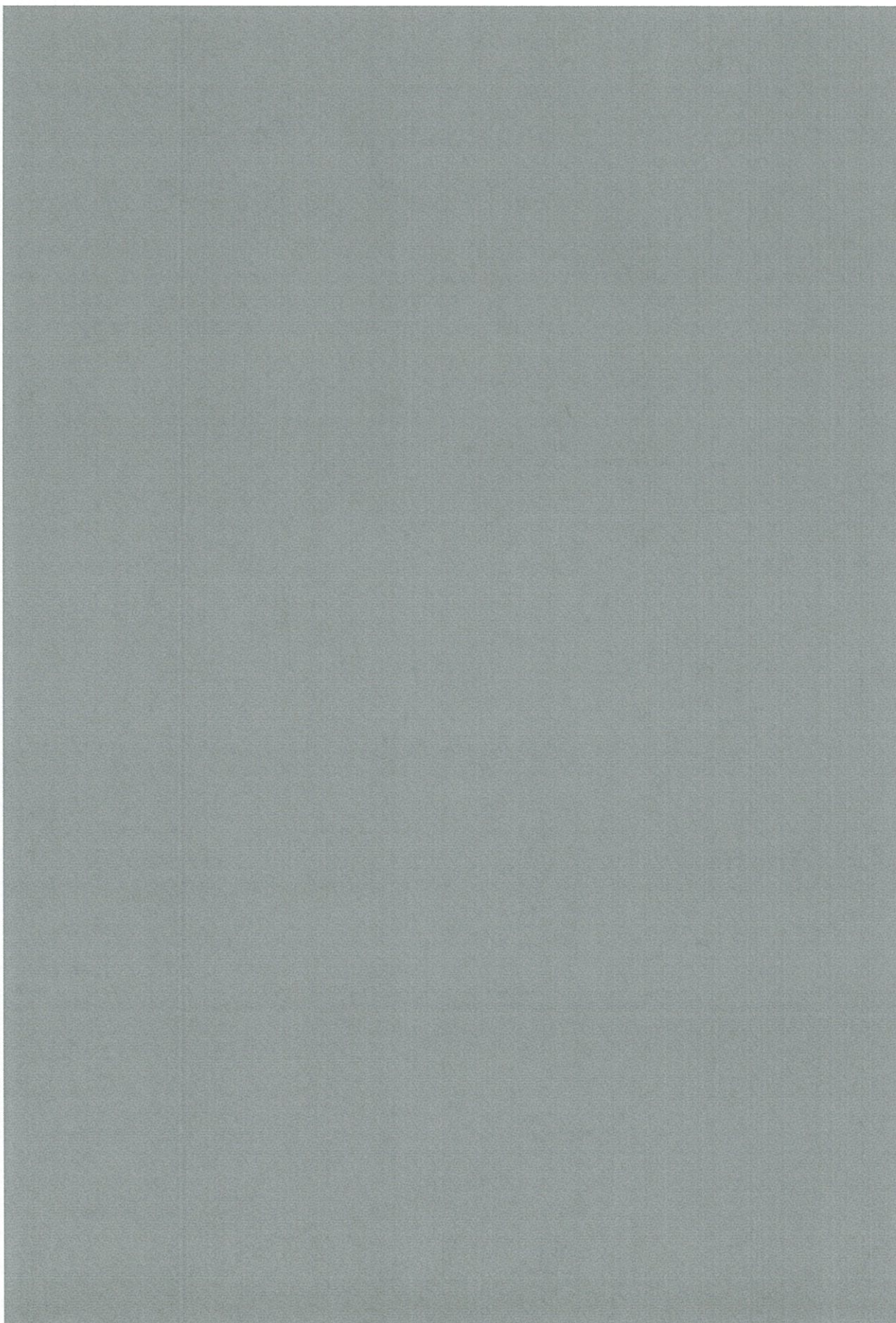
- La longueur de scellement est optimisée par l'utilisation de clés de cisaillement qui améliorent la force de frottement entre la surface métallique et le scellement.
- Les pieux sont installés avant l'installation du jacket dans les emplacements appropriés.
- La base du jacket se compose d'extensions verticales des jambes du jacket (appelées « pieux tiges ») ayant des diamètres légèrement inférieurs à ceux des diamètres intérieurs des pieux, ce qui permet de procurer un anneau périphérique qui sera lui aussi rempli de scellement.
- La largeur uniforme de l'anneau périphérique est garantie à l'aide de dispositifs de centrage.
- Les dimensions et hauteurs des jackets sont déterminées par rapport aux hauteurs de crête de vague maximales.
- En particulier, l'élévation de la base de l'élément de transition est ajustée afin de se situer hors de la crête de houle maximale à 50 ans,

Chaque jacket est équipée des éléments suivants :

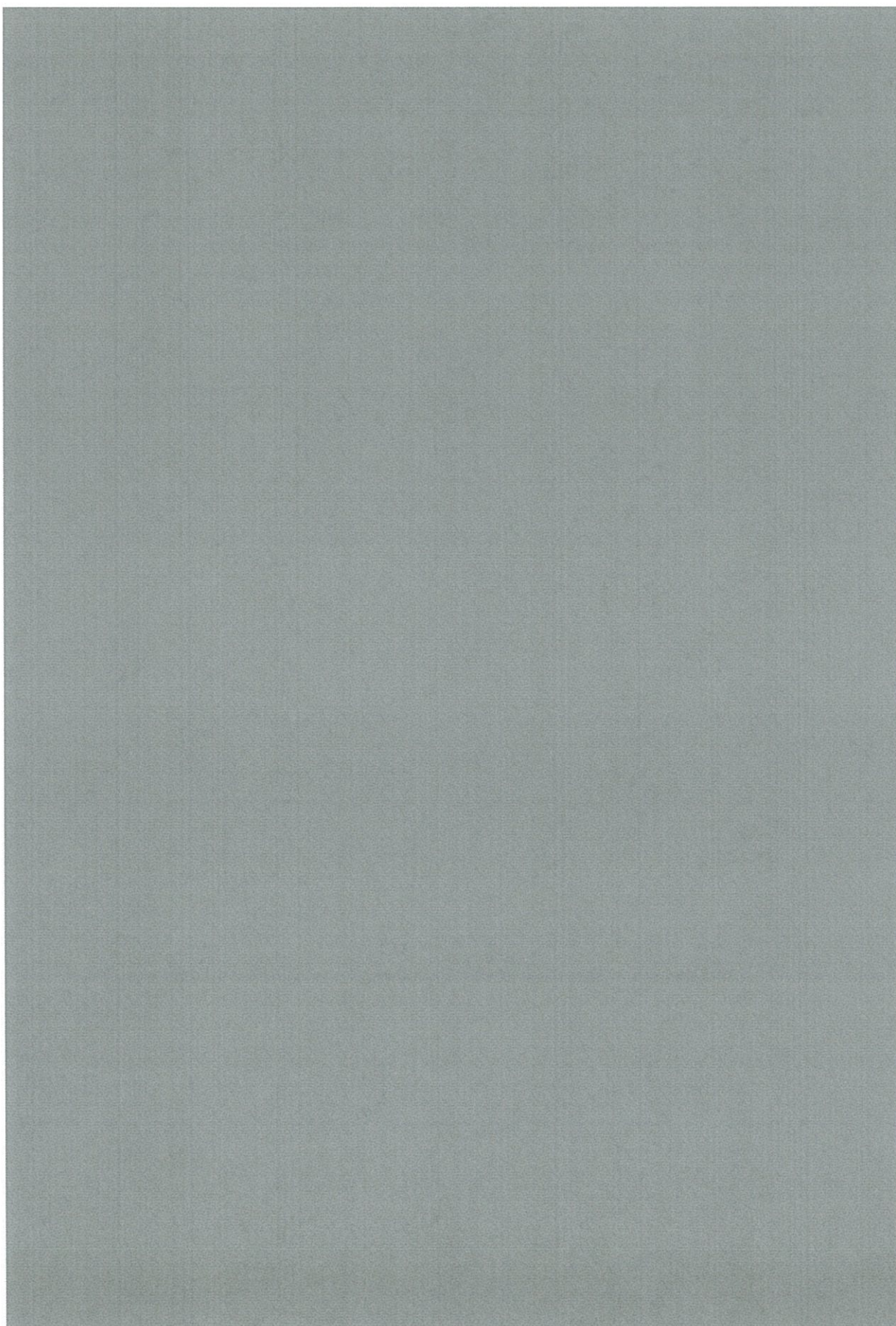
- Débarcadère permettant l'accès à la plate-forme intégrée au mât de l'éolienne.
- Tubes en J pour les câbles de puissance



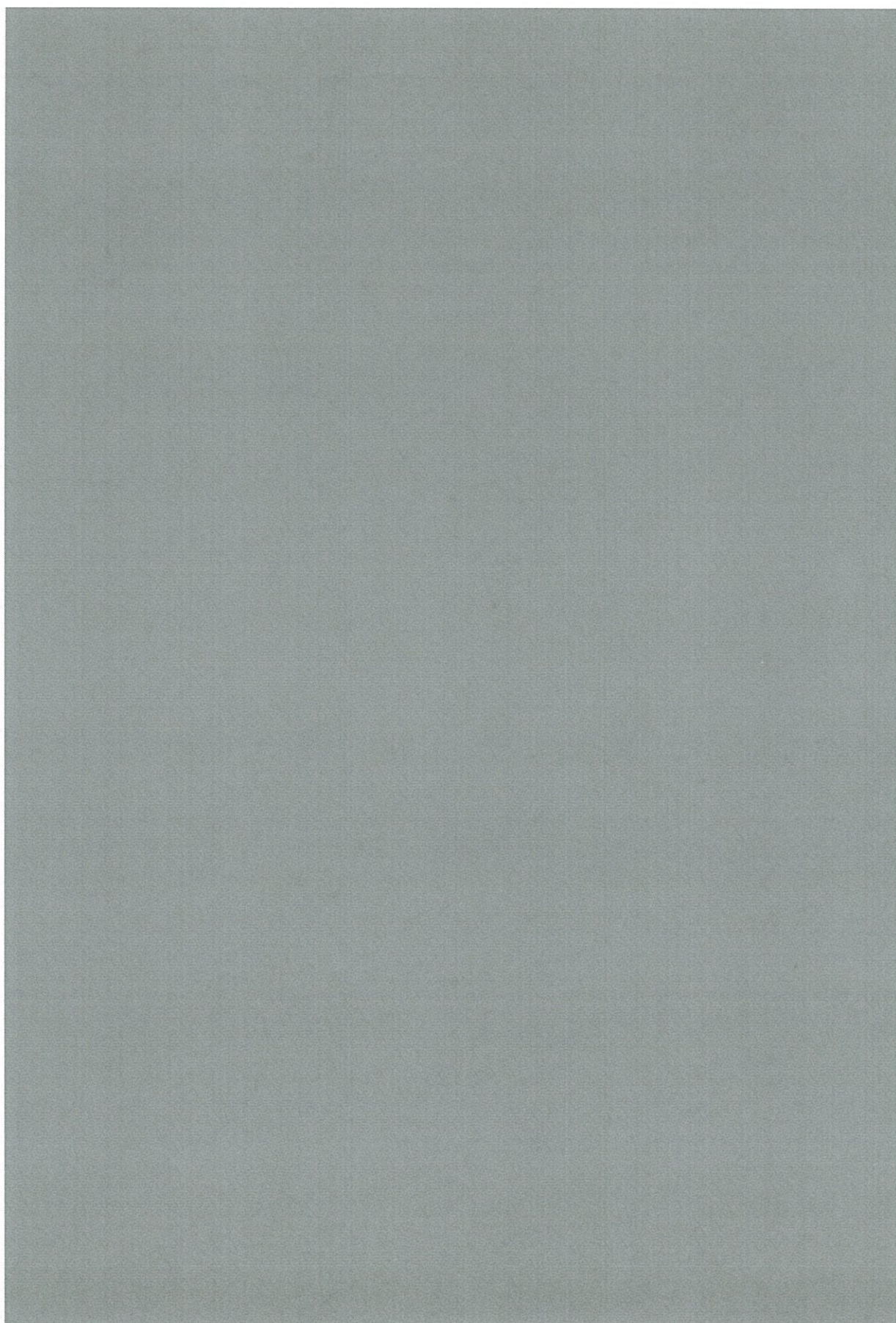




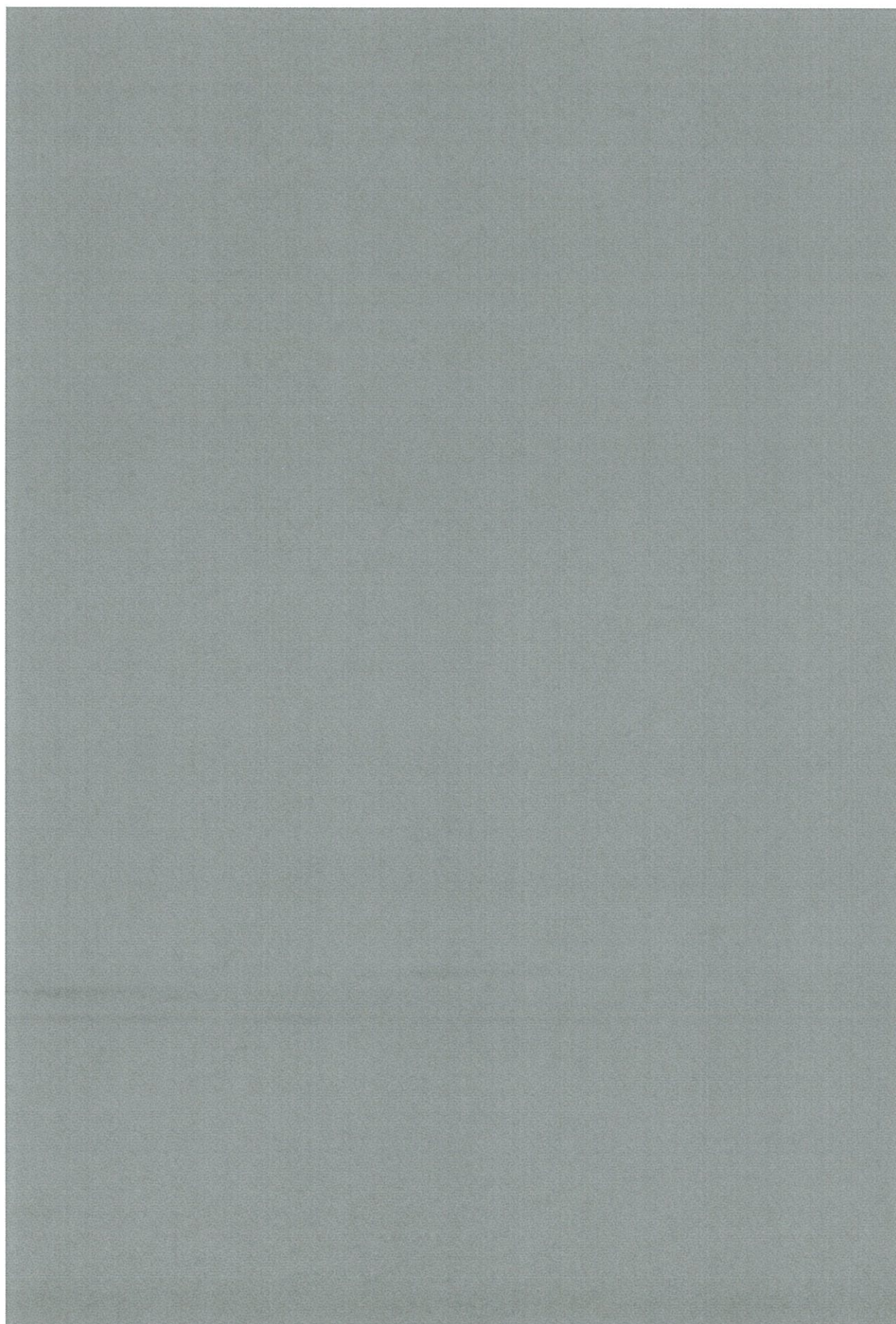




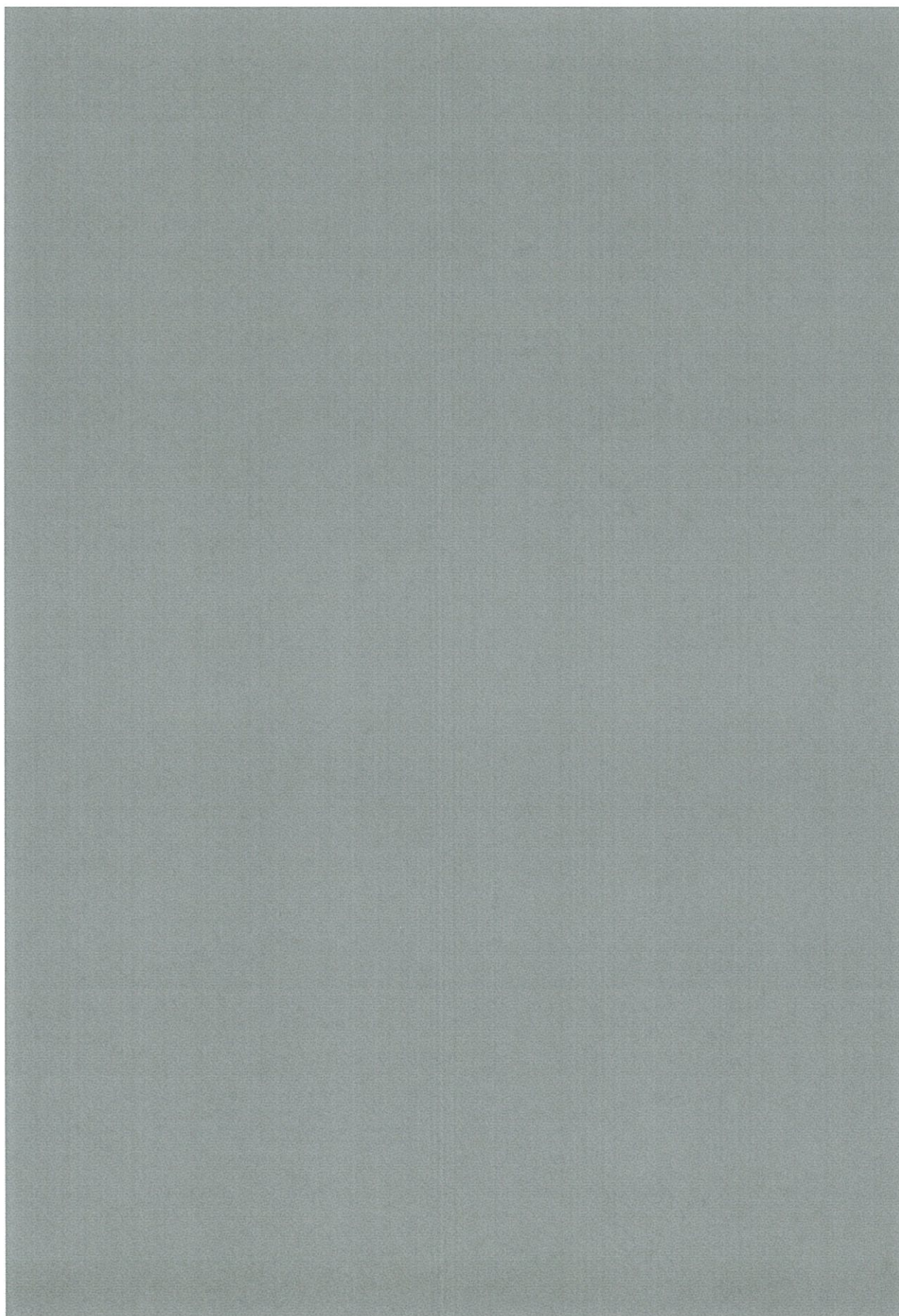














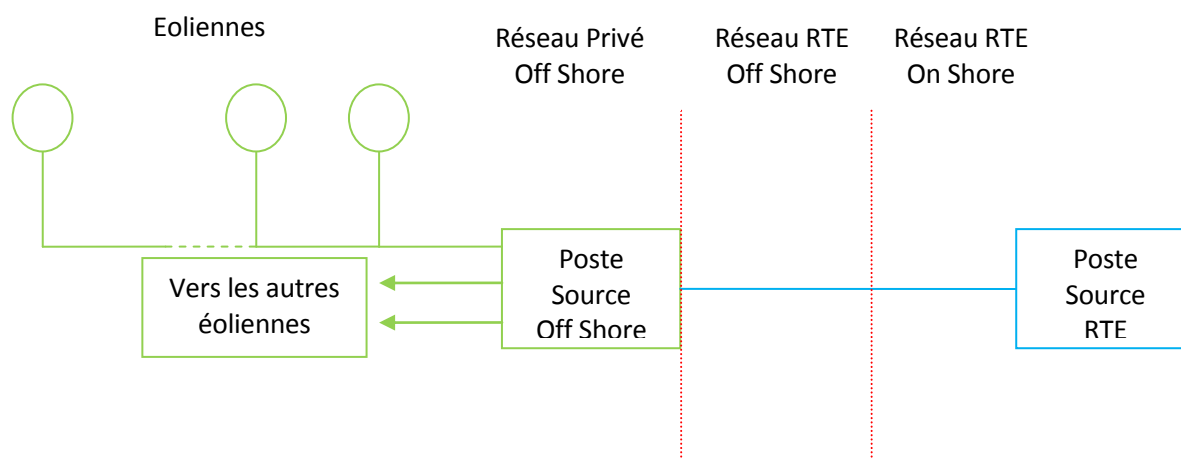
## 2.3. LES CARACTERISTIQUES DES LIAISONS ELECTRIQUES (D1.2.3)

### 2.3.1 Description générale des réseaux de la centrale éolienne

#### 2.3.1.1 Composition électrique du parc éolien

La puissance installée du parc éolien de la zone de Saint-Brieuc est de 500MW soit 100 éoliennes de puissance unitaire 5MW. Au niveau électrique, l'installation est composée par :

- Les éoliennes
- Les liaisons inter turbines éoliennes et les Turbines éolienne-Poste de Livraison
- Le poste de Livraison

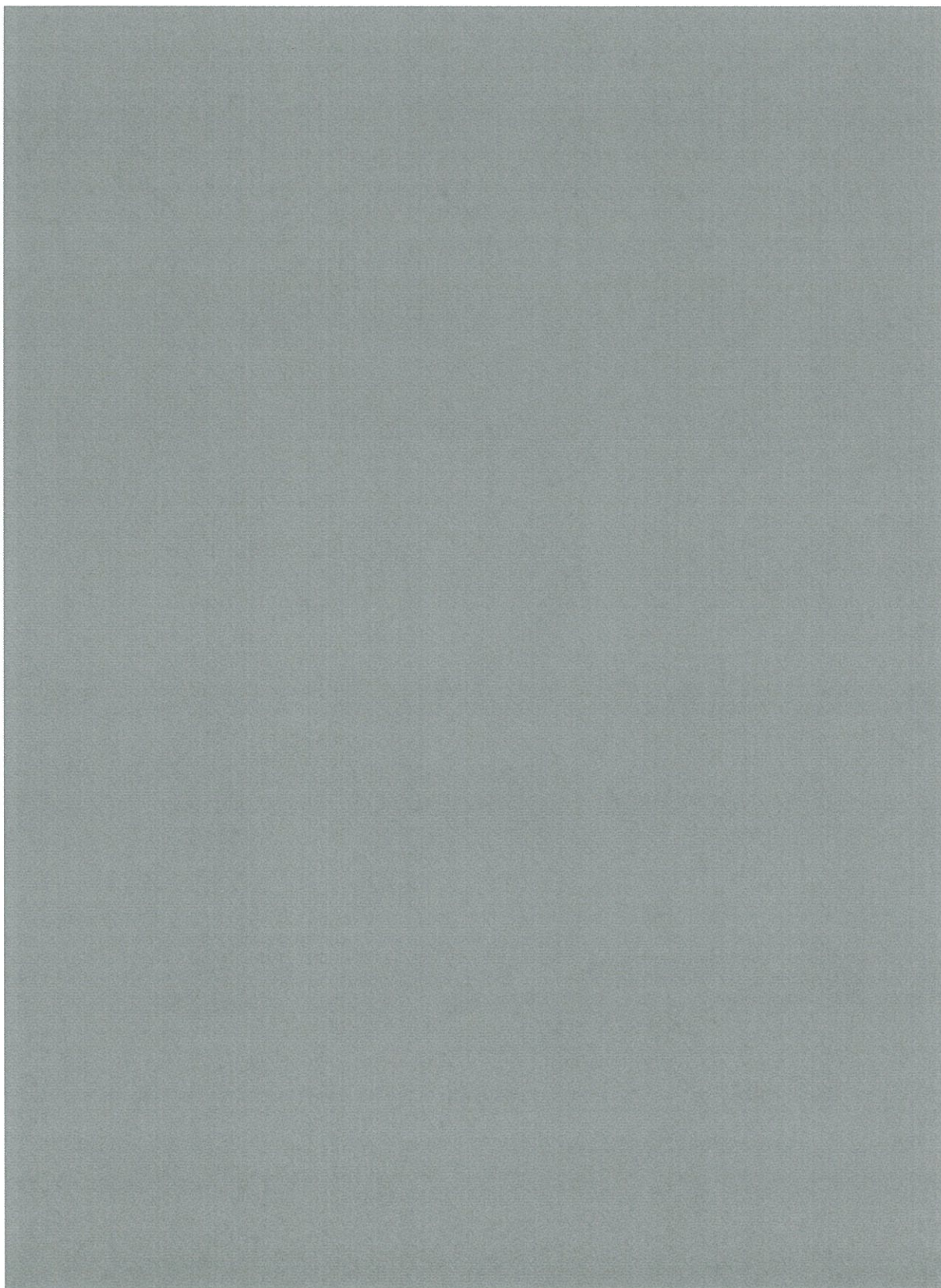


**Figure 25 Schéma Bloc du Parc Eolien**

Le présent chapitre traite des liaisons électriques inter éoliennes et éoliennes – poste de livraison, il décrit les contraintes, normes et moyens mis en œuvre ayant conduit à l'architecture du réseau électrique présentée en fin de chapitre.

Le dimensionnement des câbles et la détermination de la configuration des réseaux internes représentent un aspect du projet en termes d'études et de coûts.

### 2.3.1.2 Normes



### 2.3.1.3 Choix du niveau de tension et de la nature du câble

Afin d'éviter des pertes joules considérables dans les réseaux internes du parc, il faut limiter l'intensité du courant circulant dans ces derniers et réduire la résistivité des câbles. Pour ce faire, la tension nominale en sortie de génératrice est élevée au niveau 33kV au lieu de la tension 20kV habituellement utilisée pour les parcs terrestres. Ce niveau de tension permet de diminuer le courant circulant dans le câble pour une puissance équivalente tout en restant dans des caractéristiques normalisées.

Concernant la résistivité, elle dépend de la nature du conducteur : aluminium ou cuivre. L'aluminium bien que moins onéreux présente l'inconvénient d'une résistivité plus importante. De ce fait, la chute de tension et les pertes joules seront plus grandes à section de conducteur égales. Le cuivre est plus adapté pour le transport de puissances importantes sur des distances relativement longues.

En conclusion, afin de limiter les pertes électriques dans les câbles, le niveau de tension du réseau électrique interne est de 33kV. L'âme des câbles utilisés est quant à elle en cuivre.

## 2.3.2 Description du matériel envisagé

### 2.3.2.1 Caractéristiques des câbles sous marins

Les câbles sous marins HTA sont de types tripolaires. Les trois phases du système électrique sont intégrées à l'intérieur du même câble et isolées entre elles. Le câble est également protégé des agressions extérieures éventuelles par une armure métallique. Enfin, une couche supérieure étanchéifie le câble.

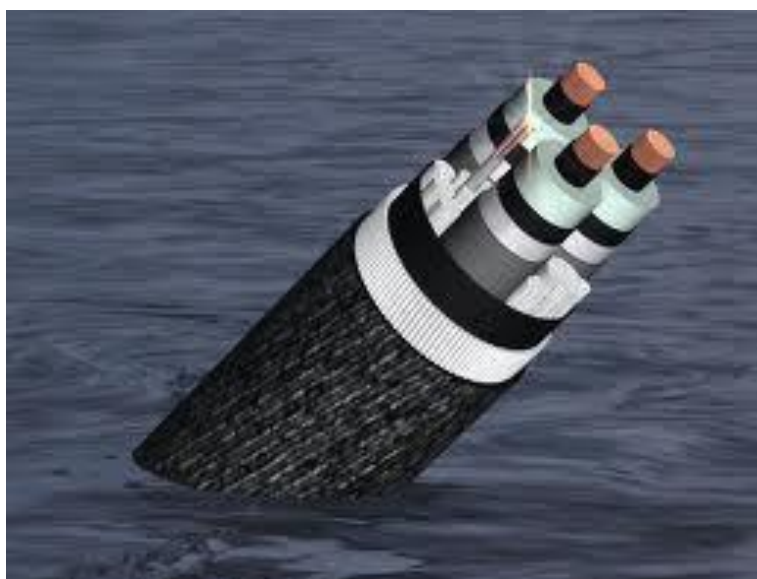


Figure 26 Câbles HTA sous marin



Les câbles sous marins intègrent les câbles de données pour le transit des informations émanant du système de contrôle. Les caractéristiques du système de données sont précisées dans la partie D 1.2.1. Chaque câble de données est constitué par un bouquet de fibres optiques monomodes.

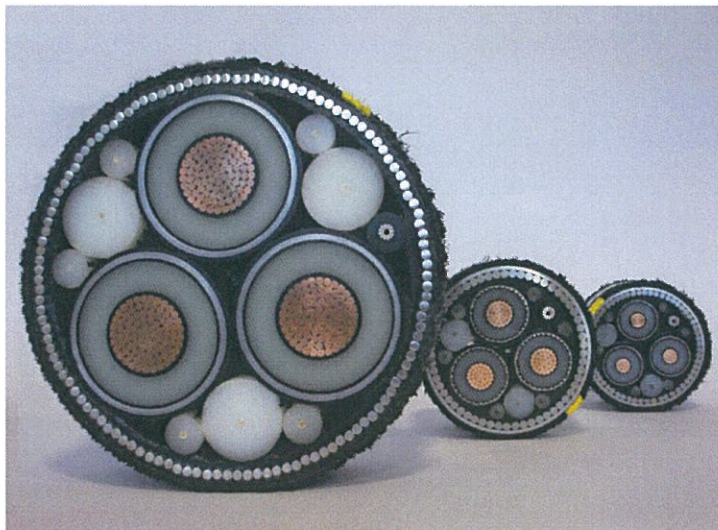


Figure 27 Vue de face des câbles offshore

#### 2.3.2.2 Les accessoires du réseau internes

##### J-tubes

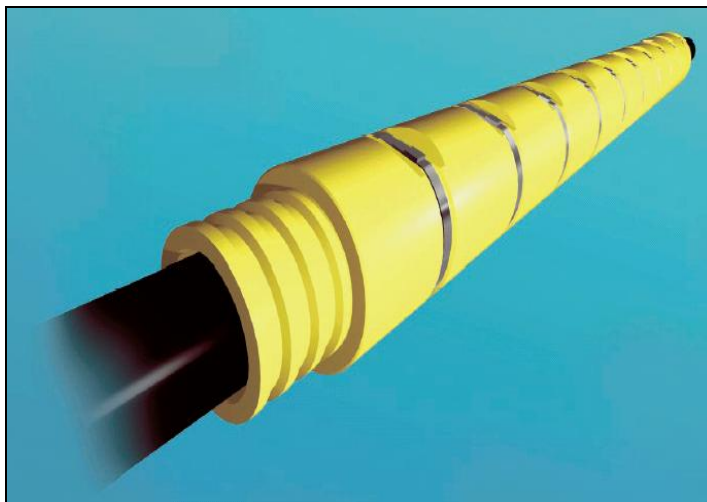
Afin de permettre la remontée du câble dans l'éolienne, un système « J-Tube » sera installé. Comme son nom l'indique, un J-Tube est un tube en forme de J installé le long de la fondation pour protéger le câble et le maintenir en position.



Figure 28 Remontée des câbles au travers des J-Tubes

### Limiteur de courbure

Le limiteur de courbure est un accessoire permettant la limitation du rayon de courbure du câble lors de son entrée dans le J-Tube. Il est ainsi moins sensible au courant lors de son entrée dans le J-Tube.



*Figure 29 Limiteur de courbure*

### Raccordement en pied de turbine

Une boîte de jonction des câbles HTA sont installée sur la fondation de la turbine. Elles permettent la séparation entre le câble électrique et de données provenant du dispositif de coupure et de protection de l'éolienne et du réseau électrique inter éolienne. Elles permettent en plus à l'équipe d'installation des câbles de réaliser les terminaisons des câbles électriques et des fibres optiques, de procéder aux tests avant le début de montage des éoliennes. Le but final est de maximiser l'efficacité des travaux de câblage.



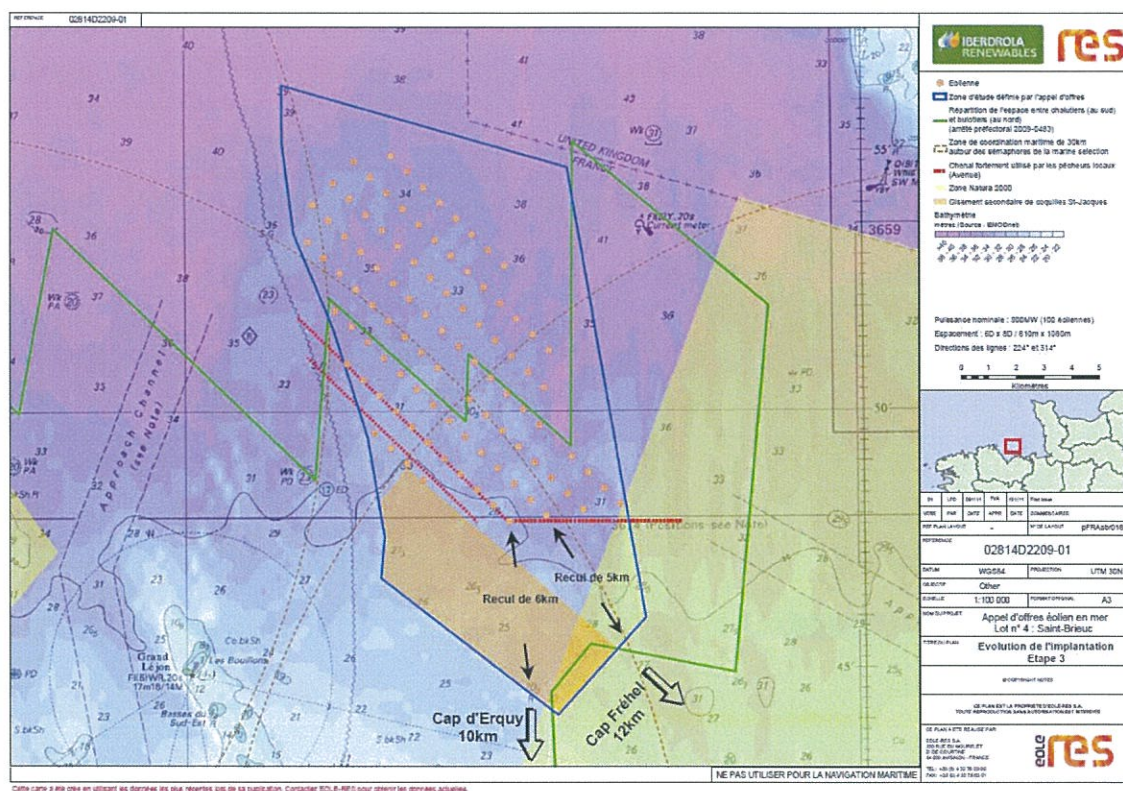
*Figure 30 Boîte de jonction*



### 2.3.3 Description du réseau électrique de la centrale

#### 2.3.3.1 Le réseau interne de la centrale

A partir du schéma d'implantation des turbines, il est possible de commencer à déterminer un schéma du réseau interne de la centrale en prenant notamment en compte les contraintes liées à l'activité de pêche dans la zone.



#### 2.3.3.2 Disposition spécifique aux pêcheurs

Suite aux discussions avec les comités de pêche locaux, il est ressorti que la partie sud du site de Saint-Brieuc était la plus sensible pour l'activité de pêche. Cette activité se pratique par chalutage selon un axe Nord-Ouest/Sud Est. Il convient donc de limiter l'impact du câblage et de respecter au mieux cet axe qui correspond également à l'alignement des éoliennes demandé dans l'appel d'offres.

Néanmoins, si le câblage inter éoliennes est possible selon cet axe, il n'en est pas de même pour les liaisons vers le poste source. Nous avons donc dans la mesure du possible minimisé la longueur de ces liaisons.





### 2.3.3.3 Dispositions environnementales

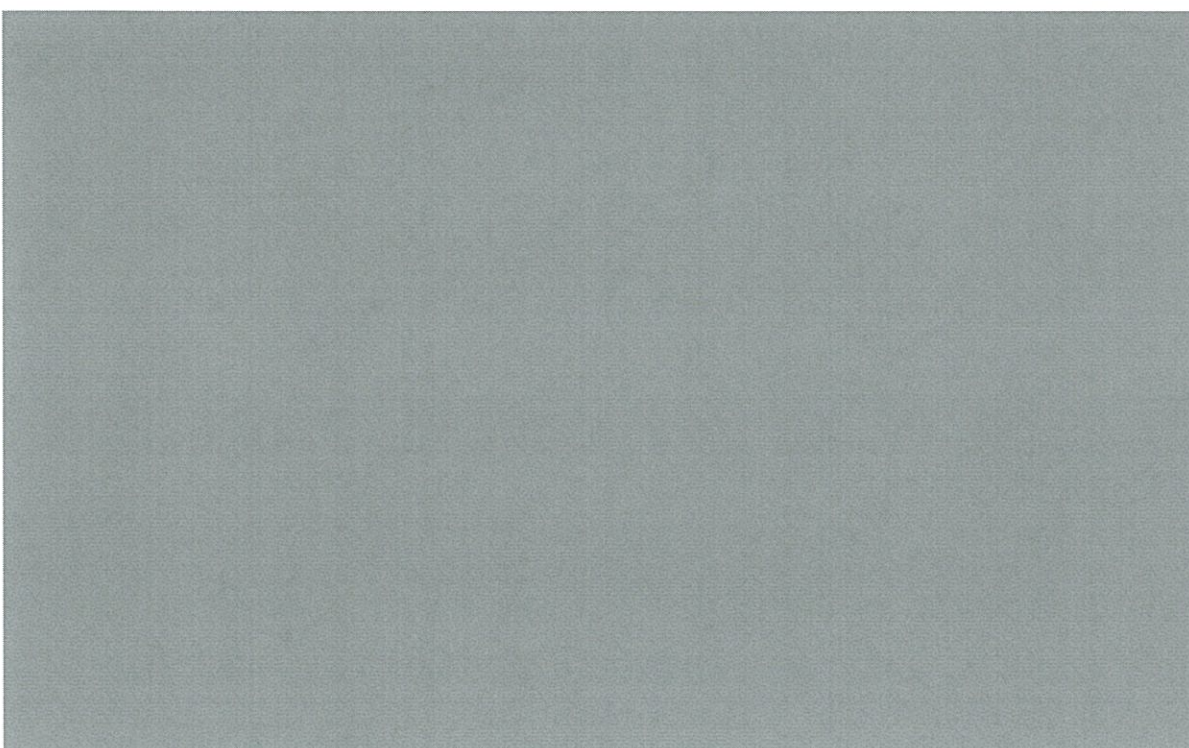
Afin de limiter l'impact sur l'environnement marin, les critères suivants sont pris en compte :

- Minimisation des longueurs des câbles entre les groupes d'éoliennes et le poste source.
- Pas d'installation dans la zone Natura 2000 au sud est de l'implantation des éoliennes.

### 2.3.3.4 Contraintes techniques

De par les contraintes précédentes, la configuration interne du réseau électrique sera composée de plusieurs groupes d'éoliennes reliés entre elles. Chaque groupe étant lui-même relié au poste source.

A l'intérieur de chaque groupe, les éoliennes sont donc reliées les unes à la suite des autres, chaque liaison entre deux éoliennes doit pouvoir accepter la puissance de transit cumulée des éoliennes en amont. La section des câbles HTA sera donc adaptée en fonction.



### 2.3.3.5 Dimensionnement des sections de câble du réseau

Le dimensionnement des liaisons a été réalisé en tenant compte des caractéristiques du câble présentées dans la fiche technique en annexe.





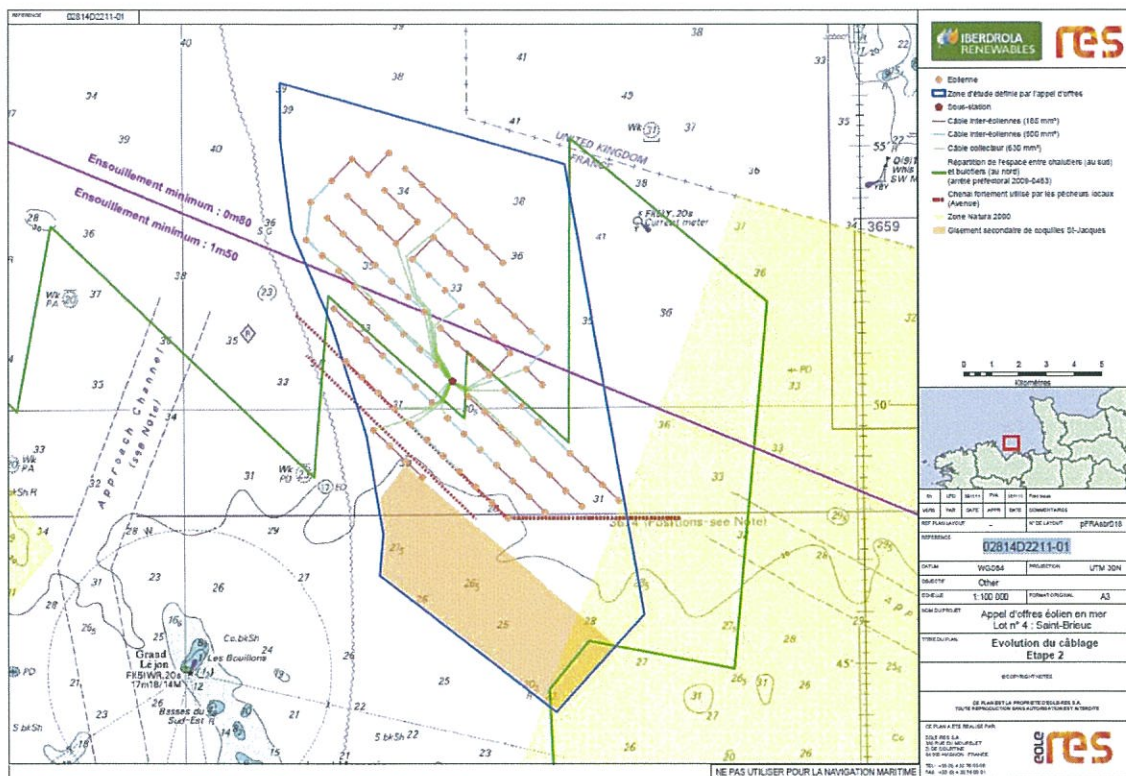


Figure 33 : Câblage du réseau (idem SN)

## 2.4. LES CARACTERISTIQUES DU POSTE ELECTRIQUE DE LIVRAISON

### 2.4.1 Description générale

Le réseau électrique peut être représenté par le schéma bloc suivant :

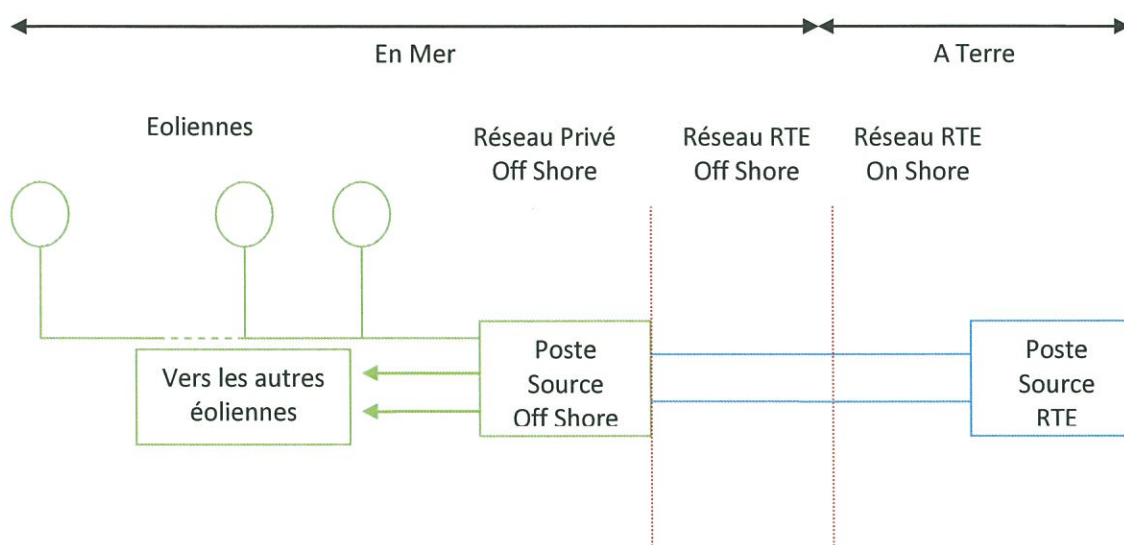


Figure 34 Schéma Bloc du Parc Eolien

Le poste source est la limite de propriété entre le réseau électrique privé constitué par la ferme éolienne et le réseau public de transport. La limite physique est constituée par les terminaisons de câbles du réseau public de transport au niveau du poste source offshore.

L'évacuation de l'énergie sur le réseau électrique de transport est réalisée par des liaisons électriques en mer et sur terre. RTE assure la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre des études et travaux nécessaires à leur réalisation. Le niveau de tension choisi pour ces liaisons est de 225kV. [REDACTED] réunion CURTE du 21/09/2011, RTE a confirmé que deux liaisons HTB seraient installées côte à côte.





## 2.4.2 Situation et rôle du poste électrique

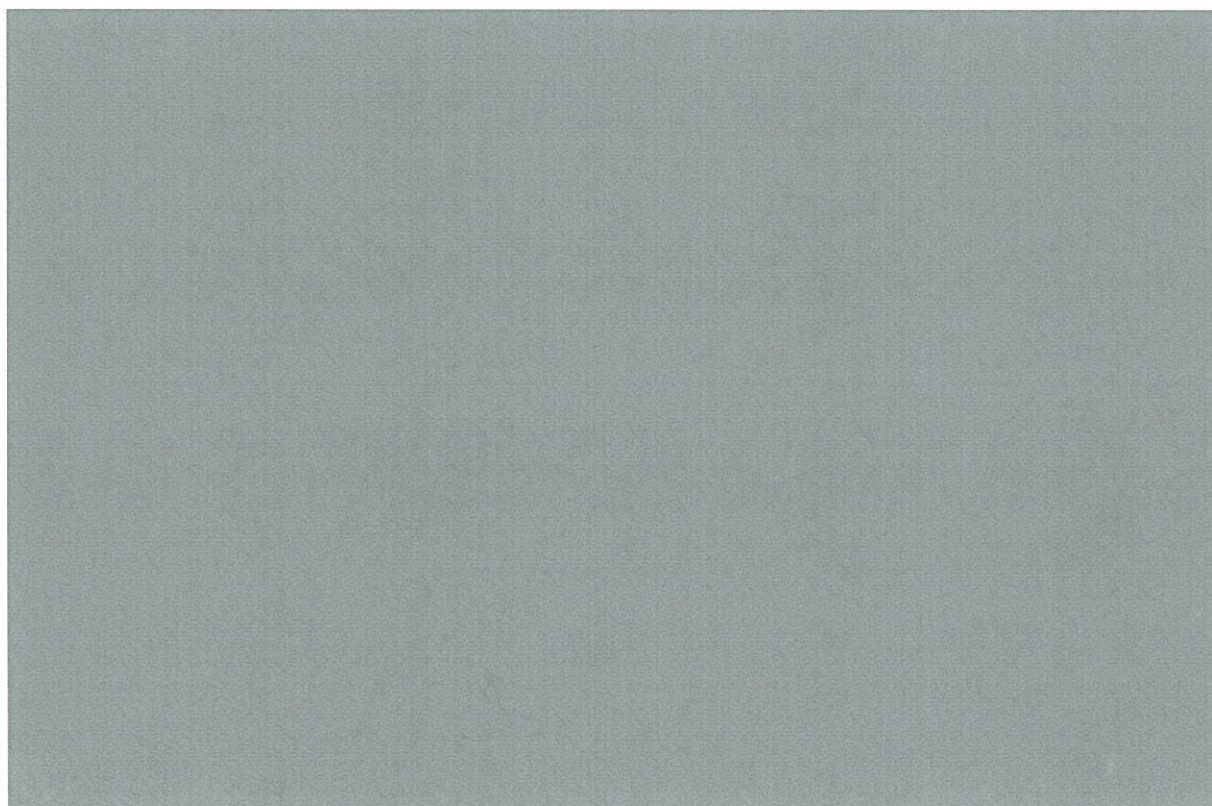
Le poste de transformation présenté permet d'évacuer l'énergie produite par la ferme éolienne vers le réseau continental. Pour ce faire, il élève la tension du niveau HTA (33kV) au niveau HTB (225kV) requis par le gestionnaire du réseau de transport.

Ce poste électrique se situe en mer au plus près de la ferme éolienne et à environ 11.2km du point de raccordement de référence indiqué dans l'annexe 3 de l'appel d'offre. ainsi les longueurs de câbles collectant l'énergie depuis les groupes d'éoliennes sont minimisées (cf chapitre D.1.2.3). Il est monté sur une plateforme dite « topside », elle-même installée sur des fondations type Jacket.

Le poste de transformation aura les fonctions principales des postes RTE classiques dits « poste source » :

- ✓ L'élévation du niveau de tension à 225kV
- ✓ Les systèmes de protection et d'intervention réseau (disjoncteurs, sectionneurs...)
- ✓ Les systèmes d'alimentation secours des auxiliaires
- ✓ Les systèmes de contrôle/mesure
- ✓ Les panneaux de comptage au niveau HTB conformément à l'article 4.8 de la documentation technique de référence du gestionnaire du réseau de transport d'électricité (RTE).

Enfin, le poste de transformation est l'interface permettant le contrôle et la commande du parc à distance. Ainsi, il centralise l'ensemble des données en provenance du parc (éoliennes et poste électrique) et transmet les ordres en provenance de l'équipe exploitation localisée sur le continent. L'ensemble de cette communication est réalisée par fibre optique.



#### 2.4.4 Architecture du réseau électrique

Les principaux éléments de notre cahier des charges pour la conception du poste électrique sont :

- [REDACTED]
- Correspondre aux contraintes imposées par l'architecture du réseau interne
- Respect des normes internationales et françaises
- [REDACTED]

#### 2.4.5 Descriptifs des éléments constitutifs du poste électrique

##### 2.4.5.1 Général

Les dimensions de la plateforme sont de 24m (largeur) x 31m (longueur) x 14m (hauteur). De plus un pont de circulation extérieur porte ces dimensions à 28m de large par 35m de long. [REDACTED]

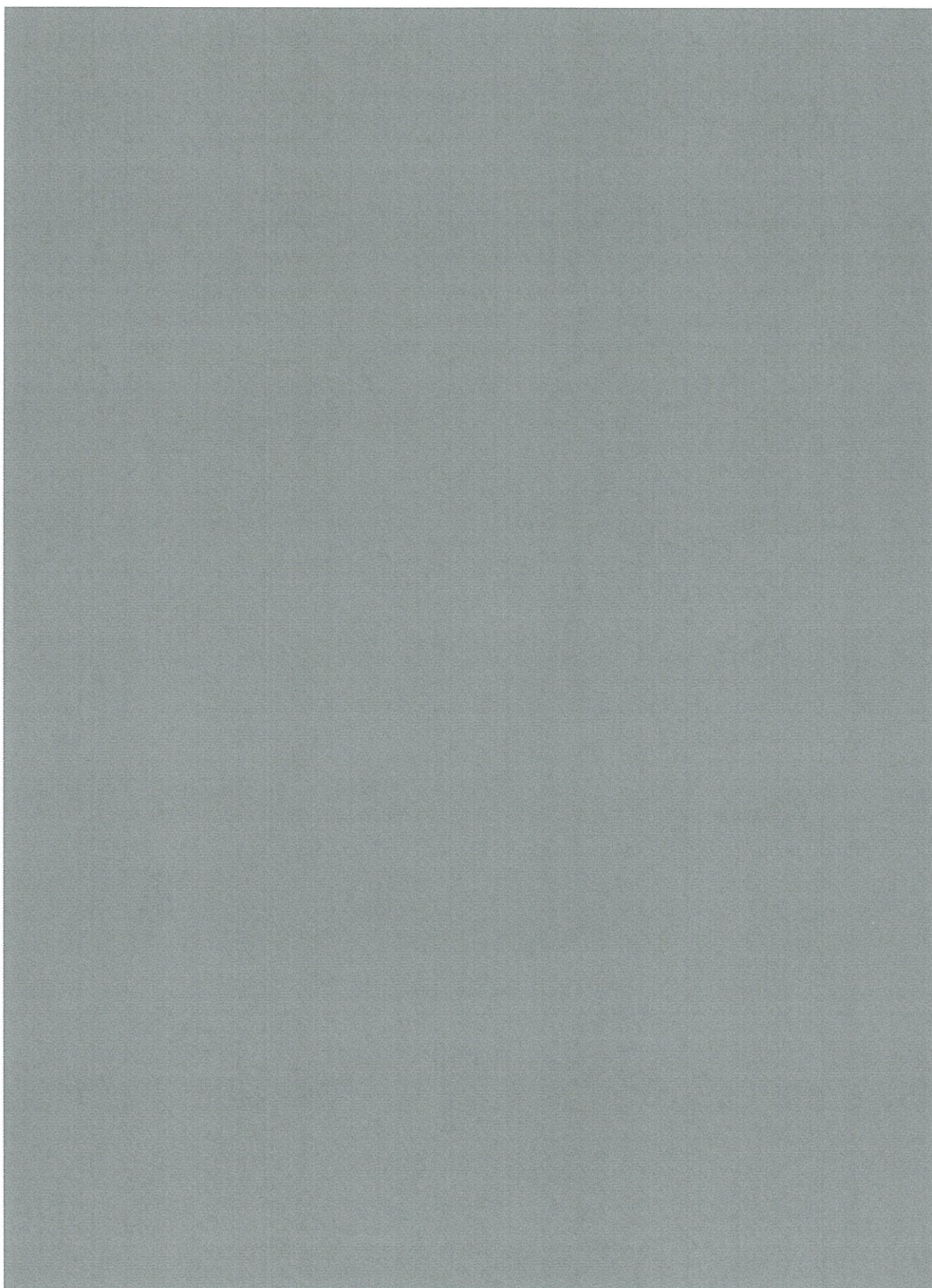
L'installation ne sera pas habitée en permanence. Un contrôle total de la station à distance est donc prévu.

Tous les éléments seront peints. En raison de l'environnement de l'installation (salinité notamment), la peinture utilisée sera une peinture spéciale anti corrosion.

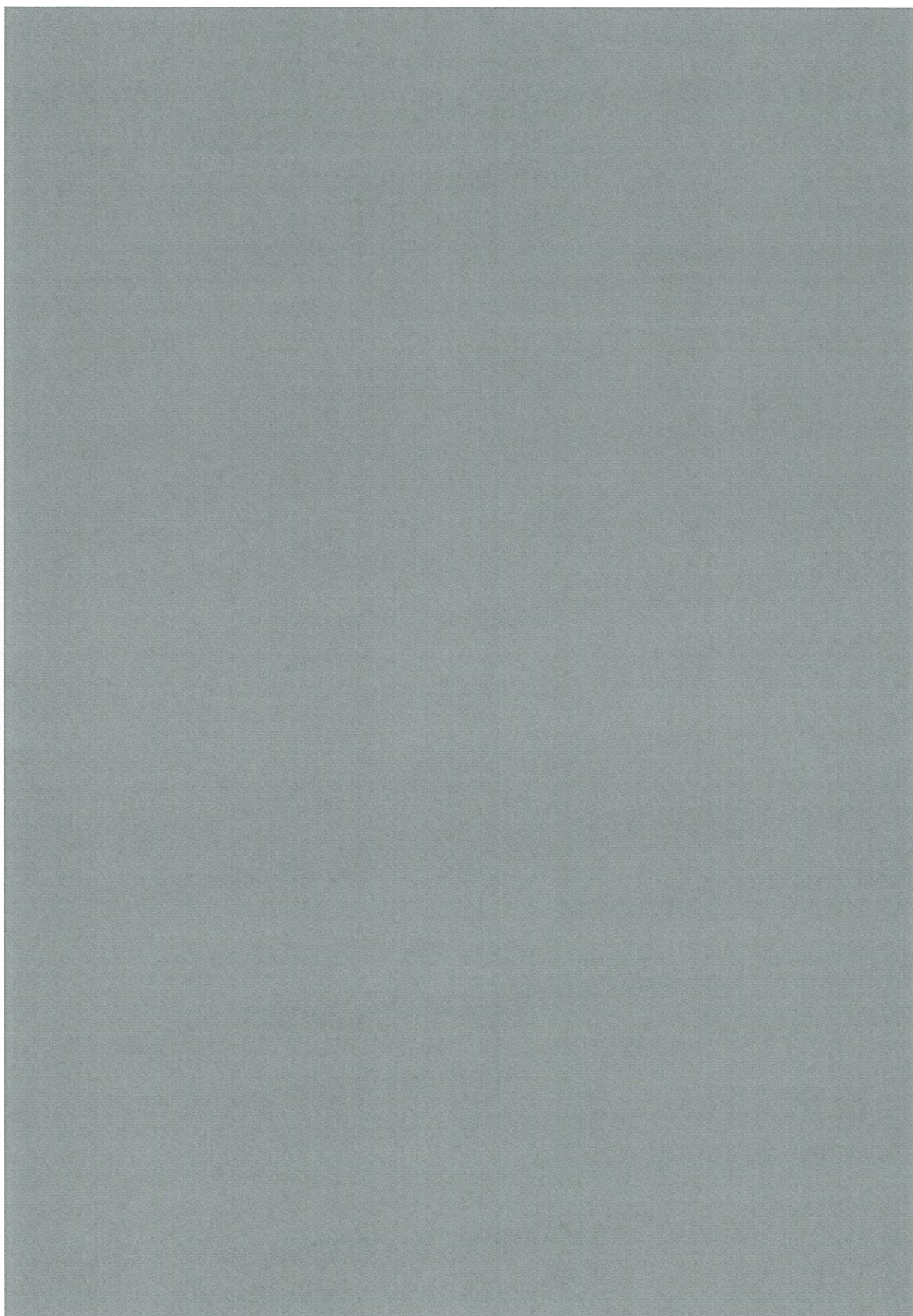


*Figure 35 Poste Offshore en cours de transport vers la barge*

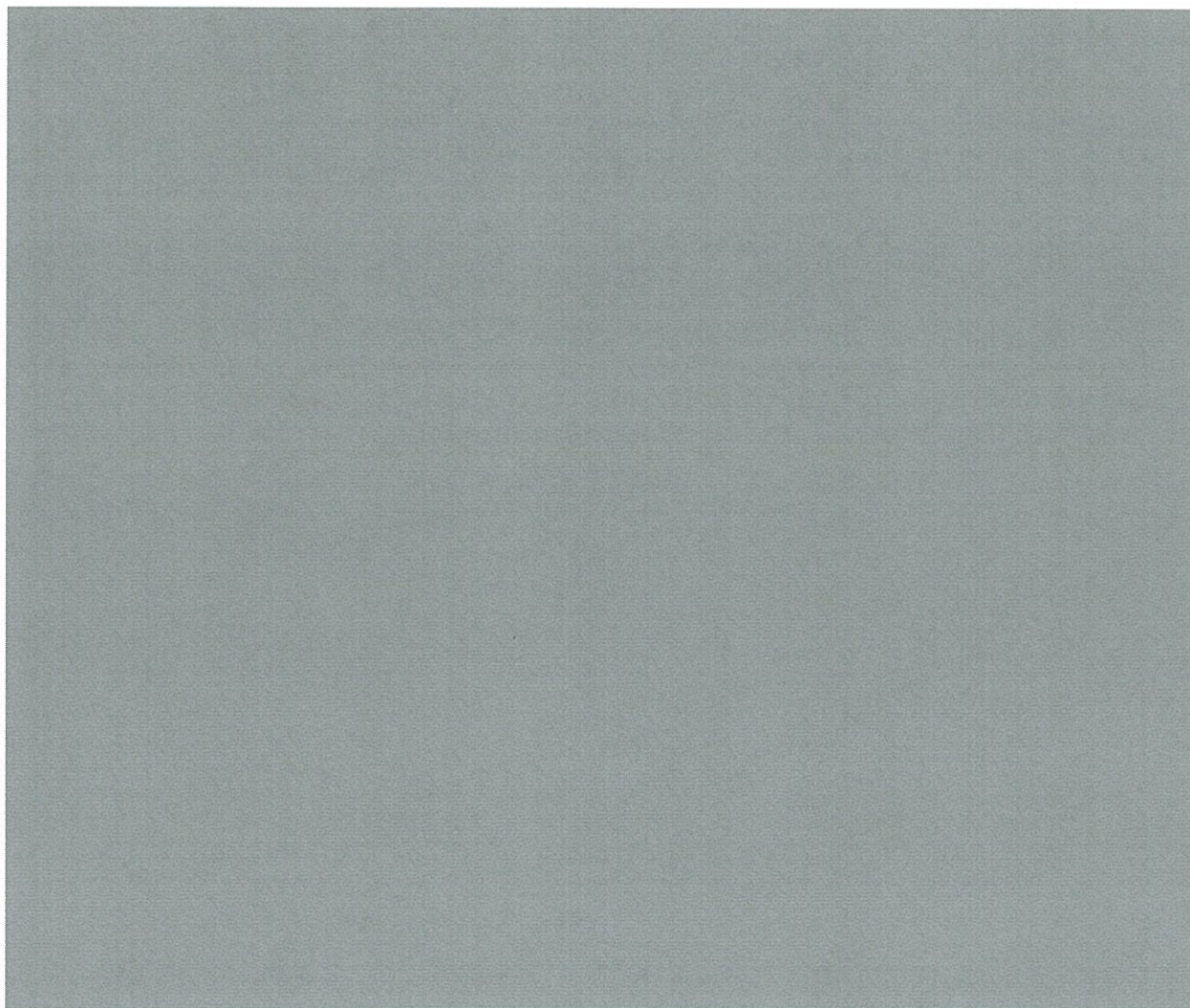


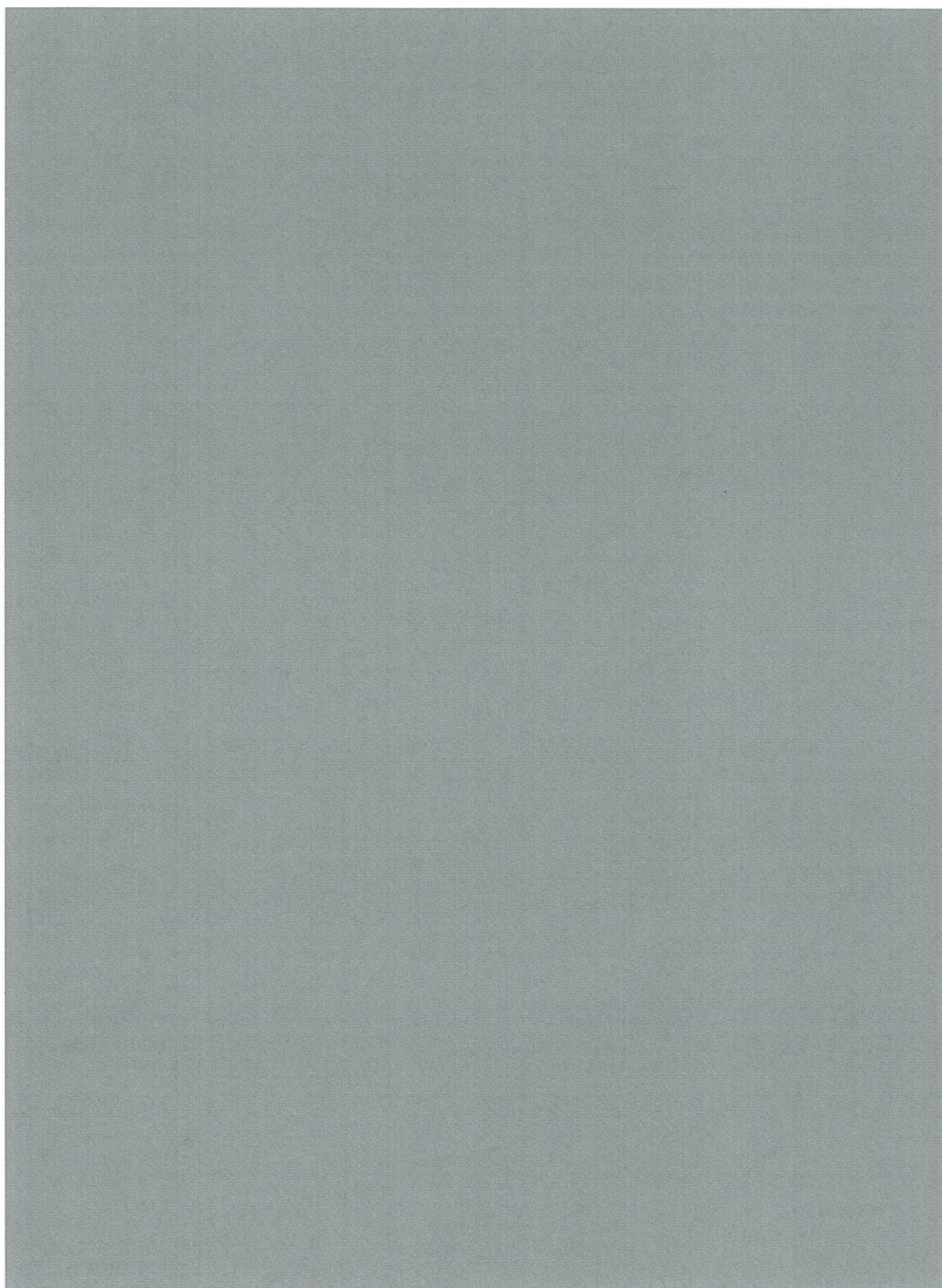




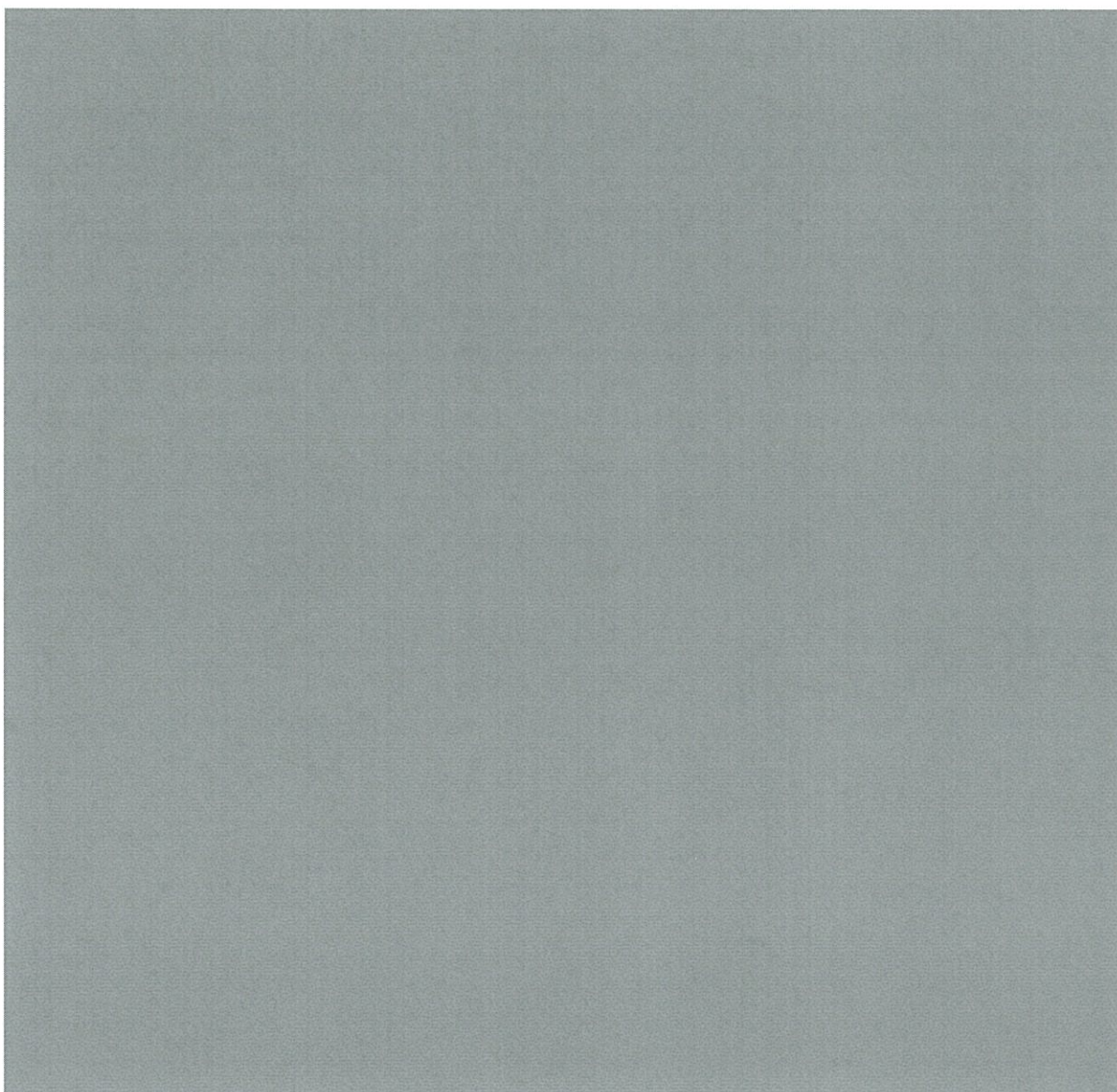












## 2.5. LA LOCALISATION SUR LE DOMAINE MARITIME (D1.2.5)

Le tracé envisagé entre le(s) poste(s) électrique(s) de livraison et le point de référence du raccordement identifié pour le lot, ce tracé ne doit pas présenter de croisement avec les liaisons électriques de l'installation.



Emprise – localisation sur le domaine maritime

### 2.5.1 Données d'entrée

- Diamètre du rotor de l'éolienne (AREVA M5000 S) : 135m
- Base du poste électrique en mer : 30m x 30m
- Base de la fondation au-dessus des pieux (Jacket) : 24.68m x 24.68m

- Diamètre d'un pieu sous la fondation : 1.54m
- Nombre de pieux par fondation : 4
- Emprise au sol des câbles ensouillés : 0.60m de largeur
- Emprise au sol des câbles non-ensouillés : 4m de largeur

#### 2.5.1.1 Emprises du projet et de ses installations

Emprises		Surface (ha)	Pourcentage par rapport à l'aire d'étude
Aire d'étude		17 916	100%
Zone d'implantation du projet		8 048	45%
Emprise des installations	Fondations des éoliennes et du poste électrique en mer + câbles	13	0.1%
	Survols des éoliennes et du poste électrique en mer + câbles	150	0.8%

**Tableau 11 - Emprises du projet et de ses installations**

#### 2.5.1.2 Tableaux des emprises des installations

Installations	Emprise	Unité	Quantité	Total (m²)
Survol de l'éolienne	14 307	m²	100	1 430 663
Survol du poste électrique en mer	900	m²	1	900
Fondation (jacket éolienne)	609	m²	100	60 910
Fondation (jacket du poste électrique en mer)	609	m²	1	609
Pieux (4 par fondation)	7	m²	101	752
Câbles ensouillés	0.6	ml	118 405	71 043
Câbles non ensouillés	1.5	ml	0	0

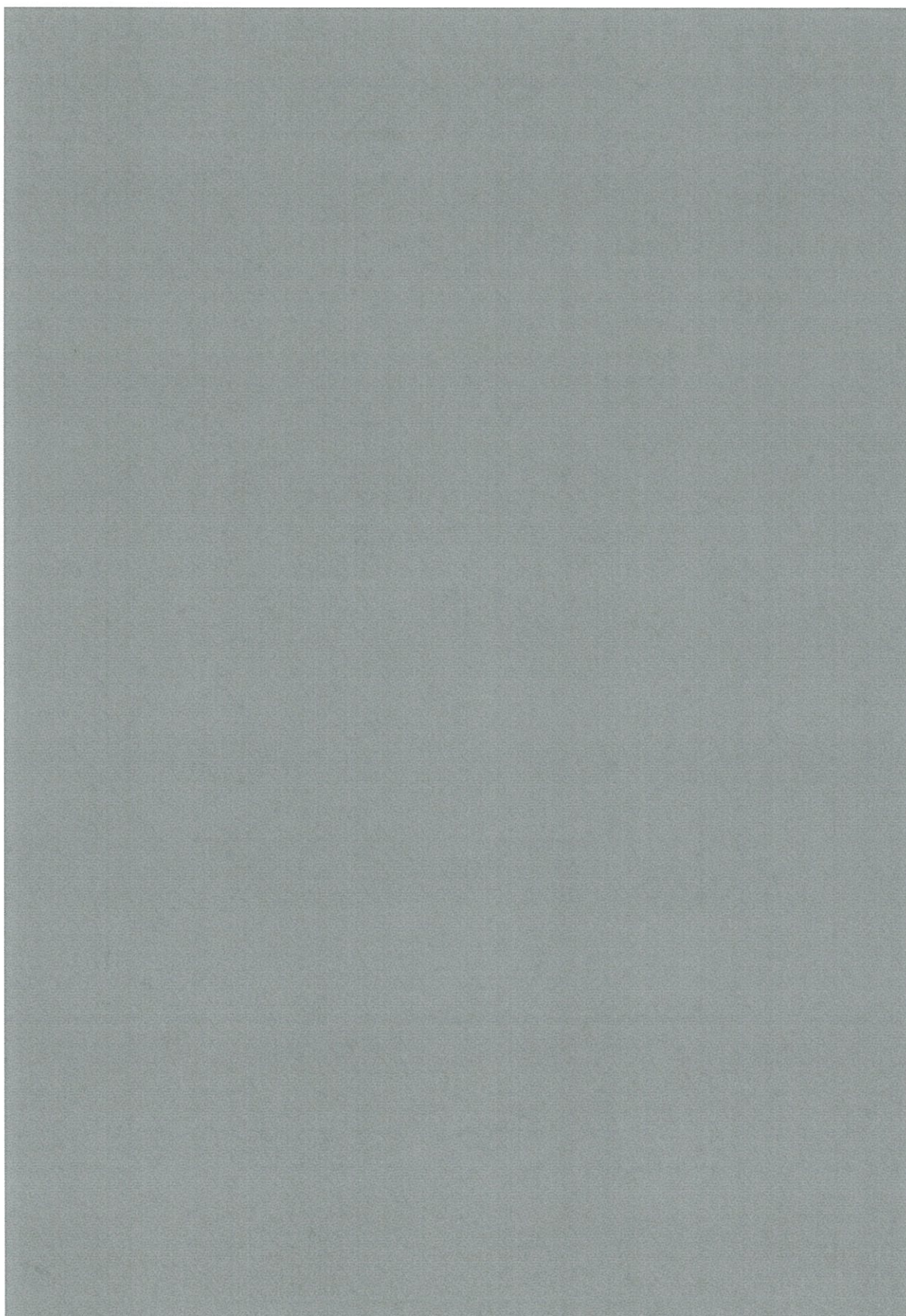
**Tableau 12 - Tableaux des emprises des installations**

Installations	Pourcentage par rapport à la surface de l'aire d'étude	Pourcentage par rapport à la zone d'implantation du projet
Survol de l'éolienne	0.80%	1.78%
Survol du poste électrique en mer	0.00%	0.00%
Fondation (jacket éolienne)	0.03%	0.08%
Fondation (jacket poste électrique en mer)	0.00%	0.00%
Pieux (4 par fondation)	0.00%	0.00%
Câbles ensouillés	0.04%	0.09%
Câbles non ensouillés	0.00%	0.00%

**Tableau 13 - Pourcentage par rapport à la surface de l'aire d'étude**









## 2.6 DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS PARTICULIERS (D1.2.6)

### 2.6.1 Mât de mesures météorologiques

Il est prévu de concevoir, fabriquer, installer et mettre en service un mât de mesures météorologiques sur le site. Le système de mesure permettra de fournir des données météorologiques et océanographiques fiables et précises avec une disponibilité élevée et un faible niveau d'incertitude. Le processus de mise en place débutera immédiatement après l'attribution du lot avec la préparation des dossiers administratifs correspondants.

Le mât météorologique servira plusieurs objectifs, notamment fournir:

- des données permettant l'évaluation des impacts environnementaux
- des données de vitesse et direction du vent et de cisaillement sur une période prolongée afin d'informer l'analyse du rendement énergétique du parc, dans l'optique du développement et du financement du projet
- des données de vitesse du vent et de cisaillement une période prolongée pour alimenter la conception détaillée des turbines et de leurs fondations
- des données météorologiques pour renseigner le plan de construction
- des données météorologiques pour renseigner la stratégie O&M
- des données météorologiques pour informer les prévisions à court terme de l'injection de puissance du parc éolien dans le réseau électrique
- [REDACTED]

La Figure 41 montre l'emplacement proposé du mât, aux limites du parc éolien. Son positionnement en amont par rapport à la direction de vent prédominante garantit la collecte d'un maximum de données sans perturbation par le sillage du parc éolien, [REDACTED]

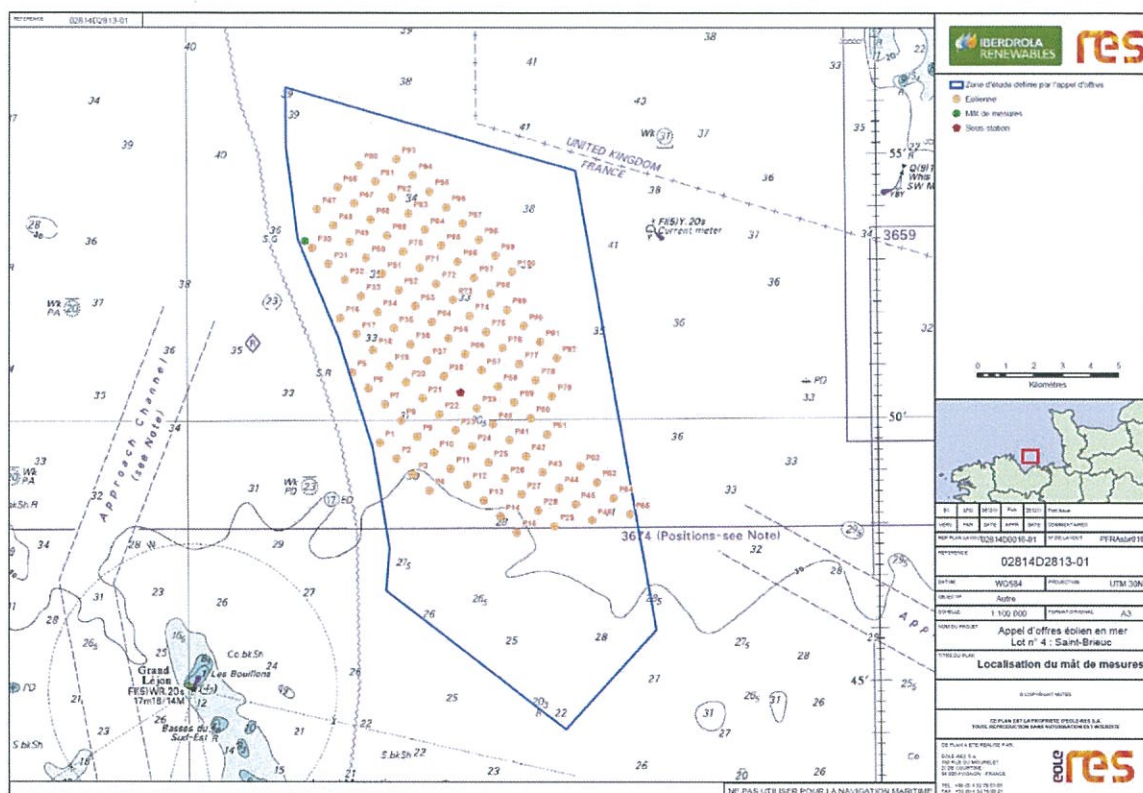


Figure 41. Localisation du mât de mesures

Les standards et normes en vigueur seront adoptés à toutes les étapes, à commencer par la réalisation d'un plan d'exécution du projet comprenant le programme, les aspects H&S, Environnement, Qualité, Conception, Construction, O&M, Vérification, etc., au démarrage du projet.

Les composants clés de l'infrastructure du mât sont les suivants :

#### 2.6.1.1 Fondation

La fondation sera en principe du type jacket avec pieux forés et scellés. Ceci sera confirmé par la collecte de données météocéaniques et de données géotechniques et l'évaluation de la disponibilité des navires d'installation. Des fondations de type différent pourront être envisagées.

Le jacket sera formé de sections creuses circulaires (CHS, « circular hollow sections ») pour réduire la charge sur les pieux. Les charges seront transférées depuis la structure du jacket sur des pieux métalliques d'environ 2000 mm de diamètre, aux extrémités du jacket. Les pieux seront probablement forés, battus et scellés au travers des pieds du jacket.

La structure sera soumise à une charge environnementale extrême. La charge due à la houle devrait être dominante sur les fondations et le mât par rapport à la charge au vent.

La protection contre la corrosion sera mise en œuvre par l'utilisation de peinture de protection sur et au-dessus de la zone de projections. Des anodes consommables seront également nécessaires pour garantir la protection cathodique de l'acier immergé. Les mesures de lutte contre la corrosion seront intégrées dès la conception.



Dans la mesure où le coût installé d'un mât météo est influencé par le tarif journalier d'un navire de levage/grutage et sa capacité, le marché de ces navires sera étudié et un navire sera réservé dès que possible après attribution du lot.

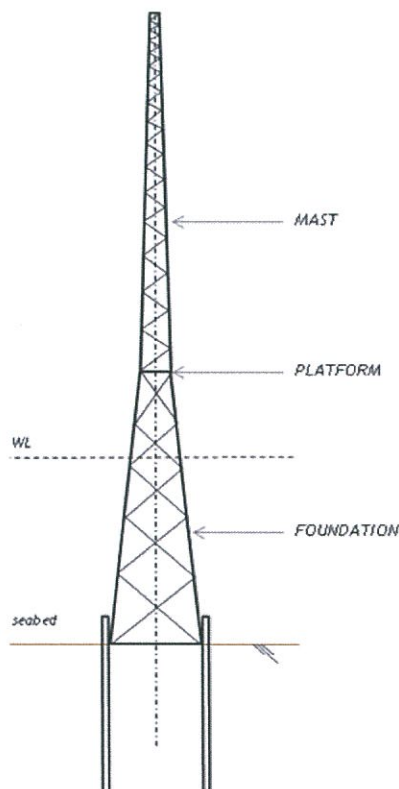
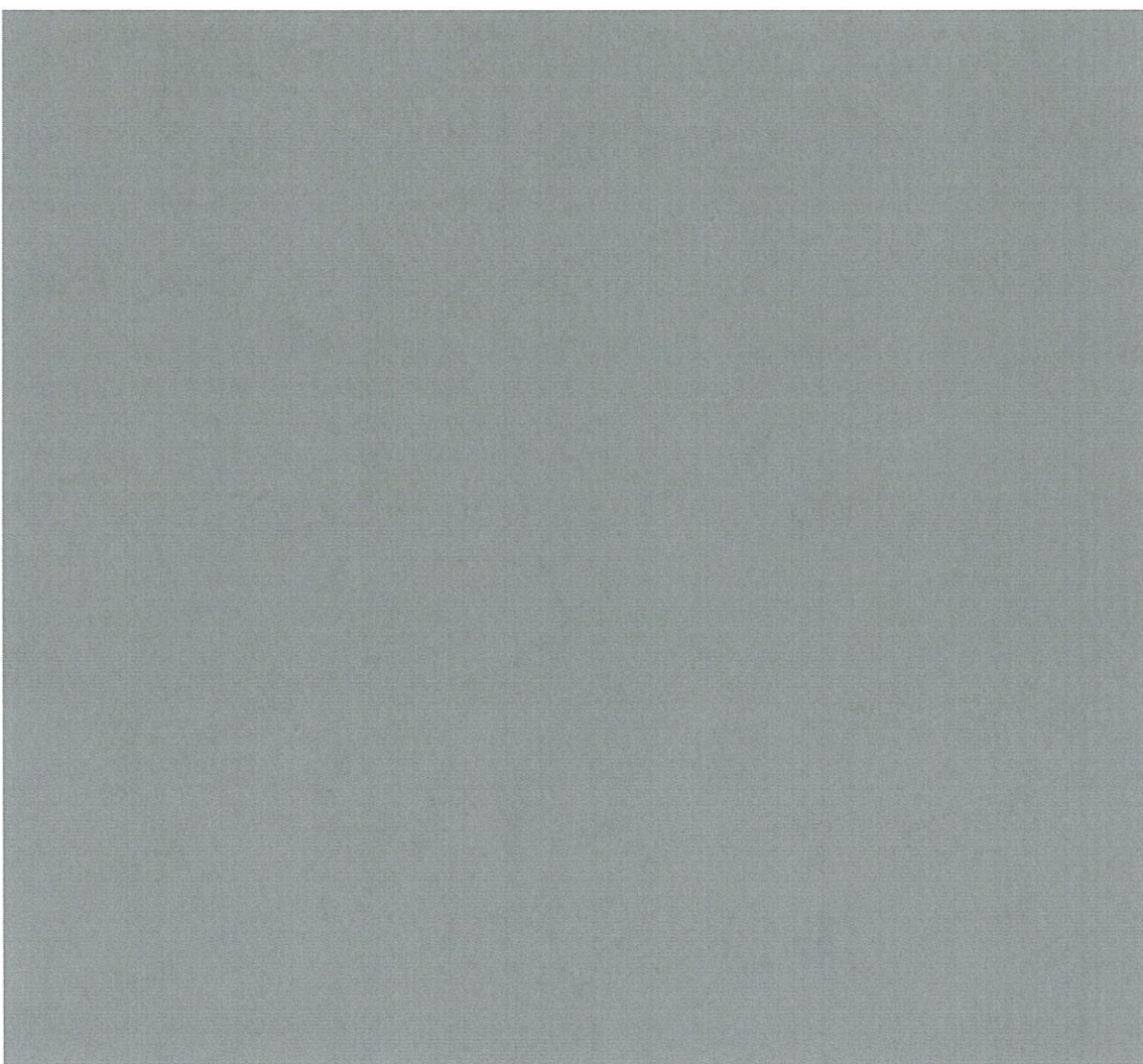


Figure 42 - Schéma indicatif d'un mât météo

#### 2.6.1.2 Plate-forme

La plate-forme située à la base du mât abritera la salle de contrôle, y compris le système d'alimentation, ainsi que le système d'acquisition de données, les groupes de batteries et une grue. Les aides à la navigation, les systèmes d'enregistrement et de transmission des données sont alimentés par les bancs de batteries qui sont rechargés par des panneaux photovoltaïques et des petites éoliennes.





La plate-forme sera réalisée de manière à être exploitable par les équipes de construction, d'exploitation et d'entretien. Elle sera dotée de deux débarcadères et d'une protection appropriée contre les chutes.

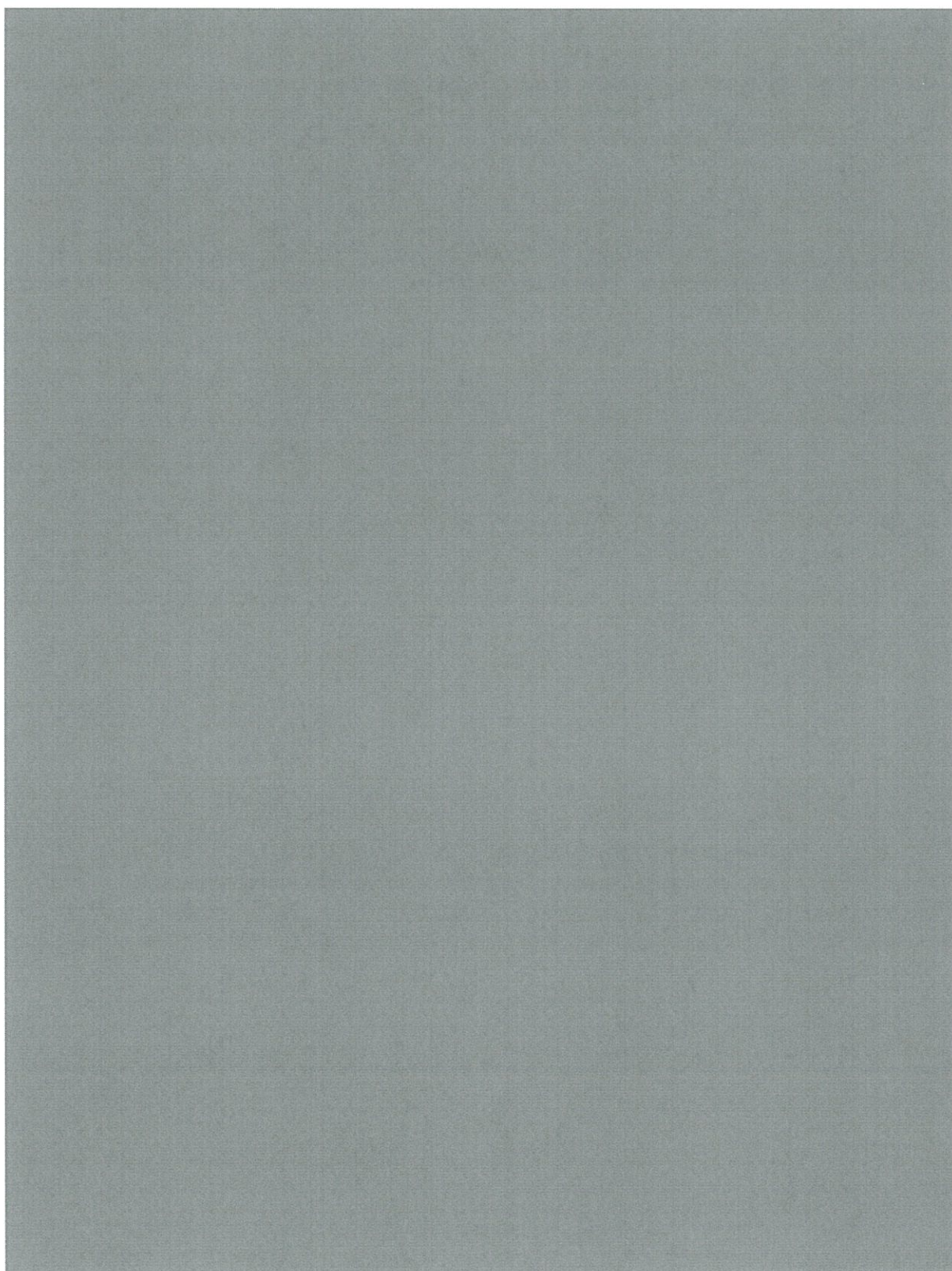
#### 2.6.1.3 Mât

Le mât sera équipé de toute l'instrumentation et des équipements auxiliaires nécessaires et respectera les conditions de navigation, de sécurité et de conformité environnementale.

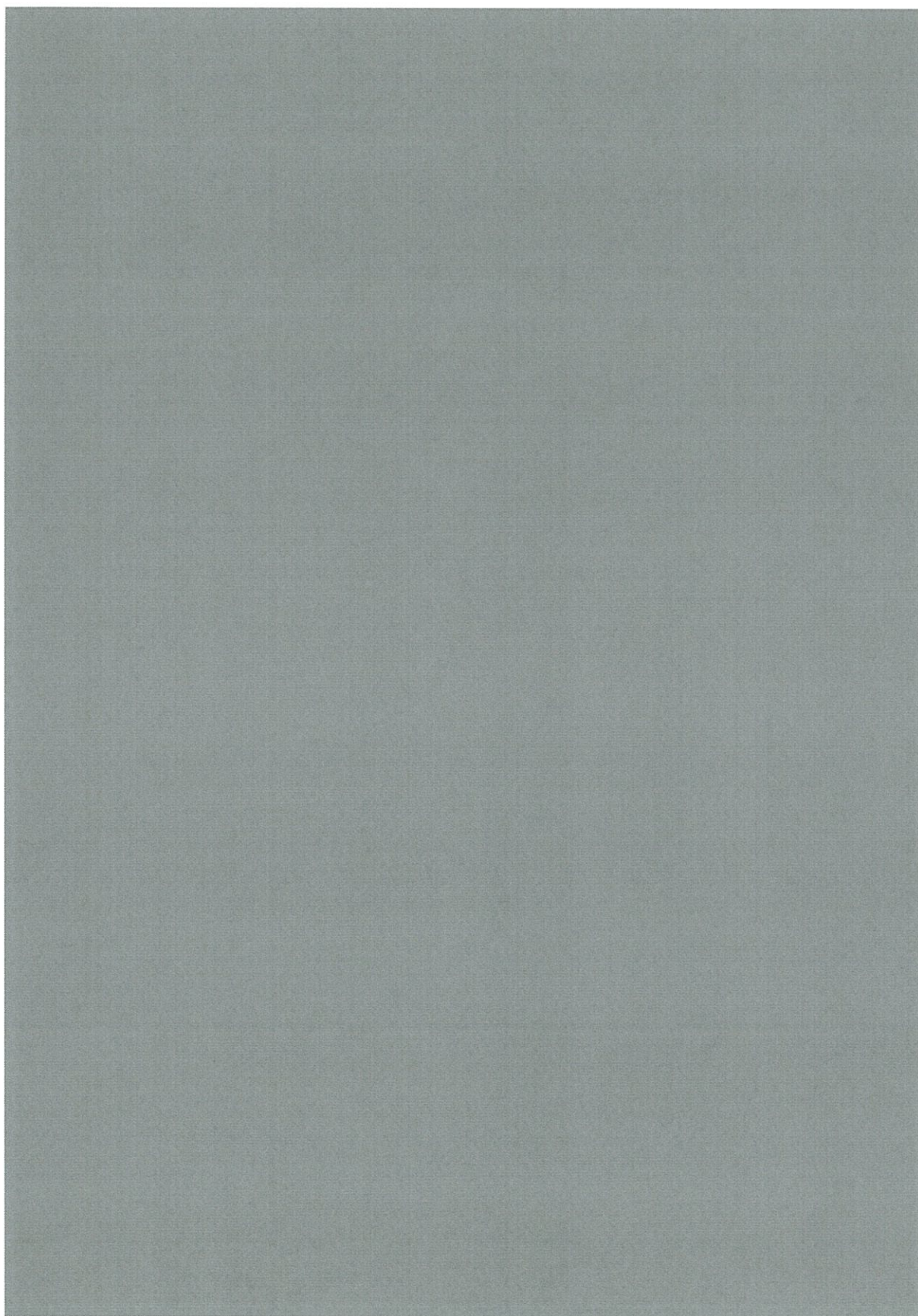
Le mât se compose d'une structure autoportante en treillis ayant des caractéristiques appropriées en termes de géométrie, de hauteur et de tolérance au fléchissement afin de garantir une capture précise et fiable de données à l'aide de l'instrumentation. Les instruments de mesure du vent sont montés sur des bras latéraux afin de minimiser la perturbation de l'écoulement du vent provoqué par le mât. Les instruments sommitaux sont montés sur un bras en forme de U afin d'obtenir des conditions d'écoulement optimales.

Le mât s'élèvera 100 m au-dessus du niveau moyen de la mer, afin que les mesures effectuées correspondent à la hauteur de moyeu prévue pour les éoliennes.

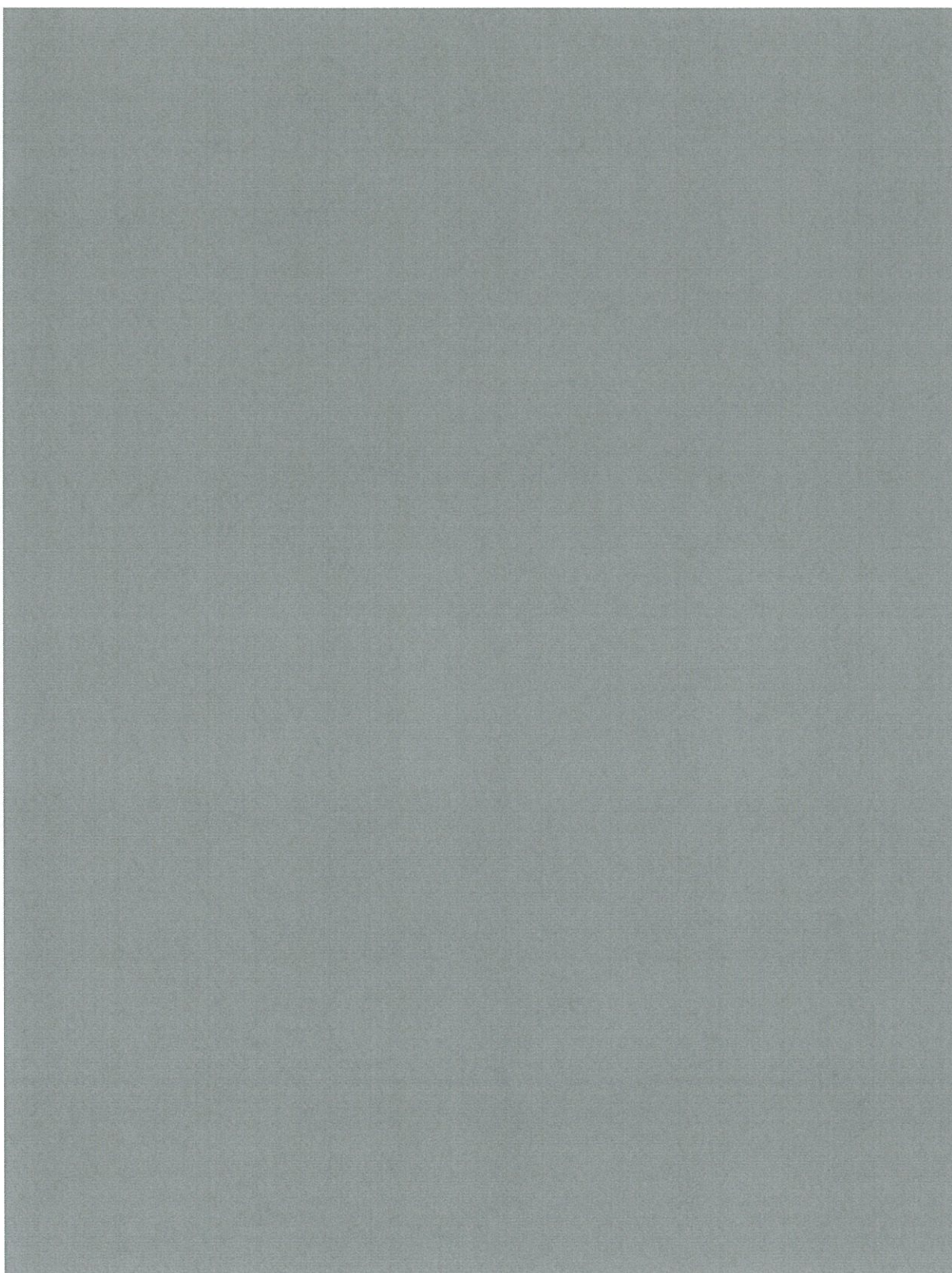




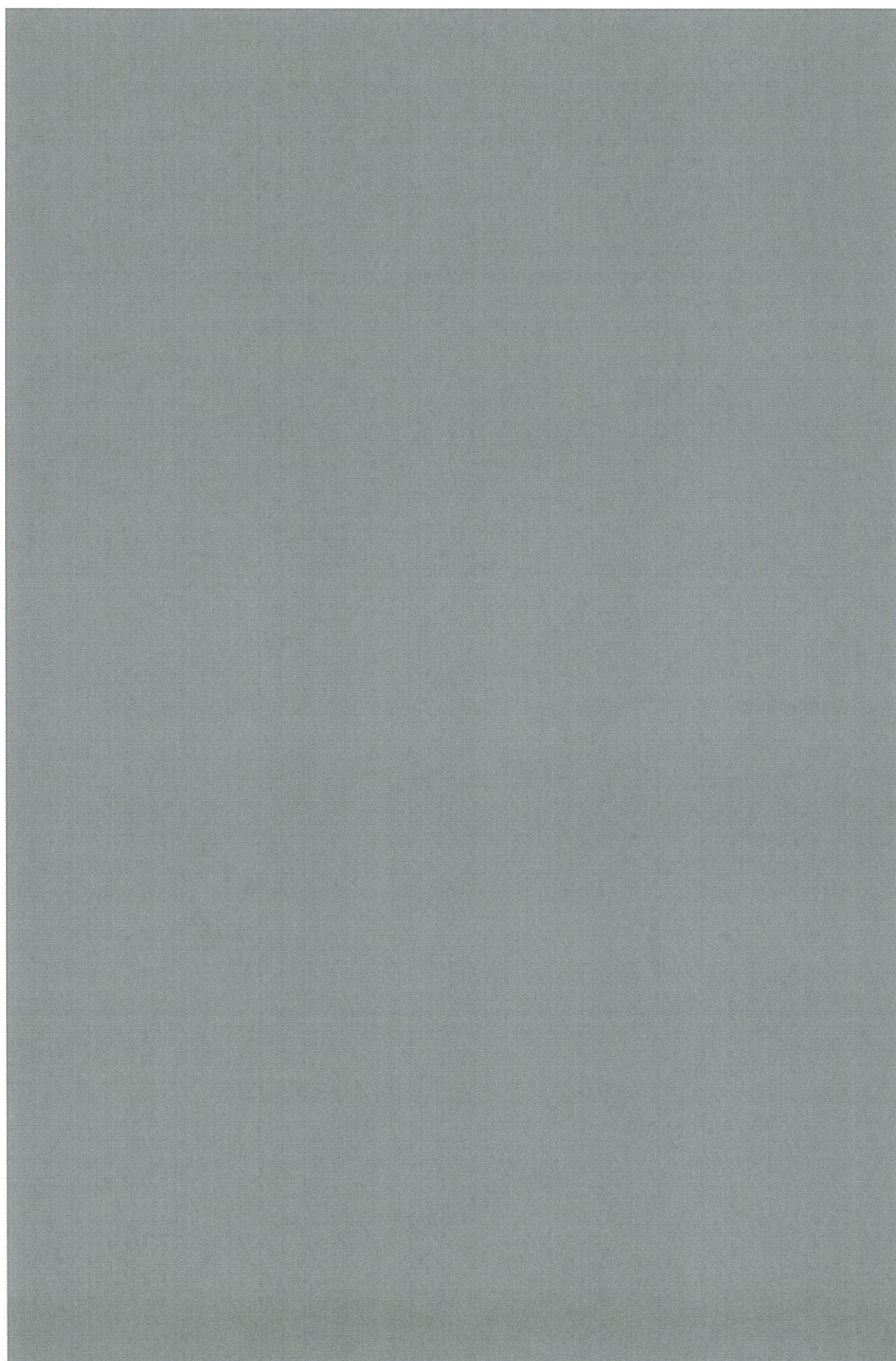




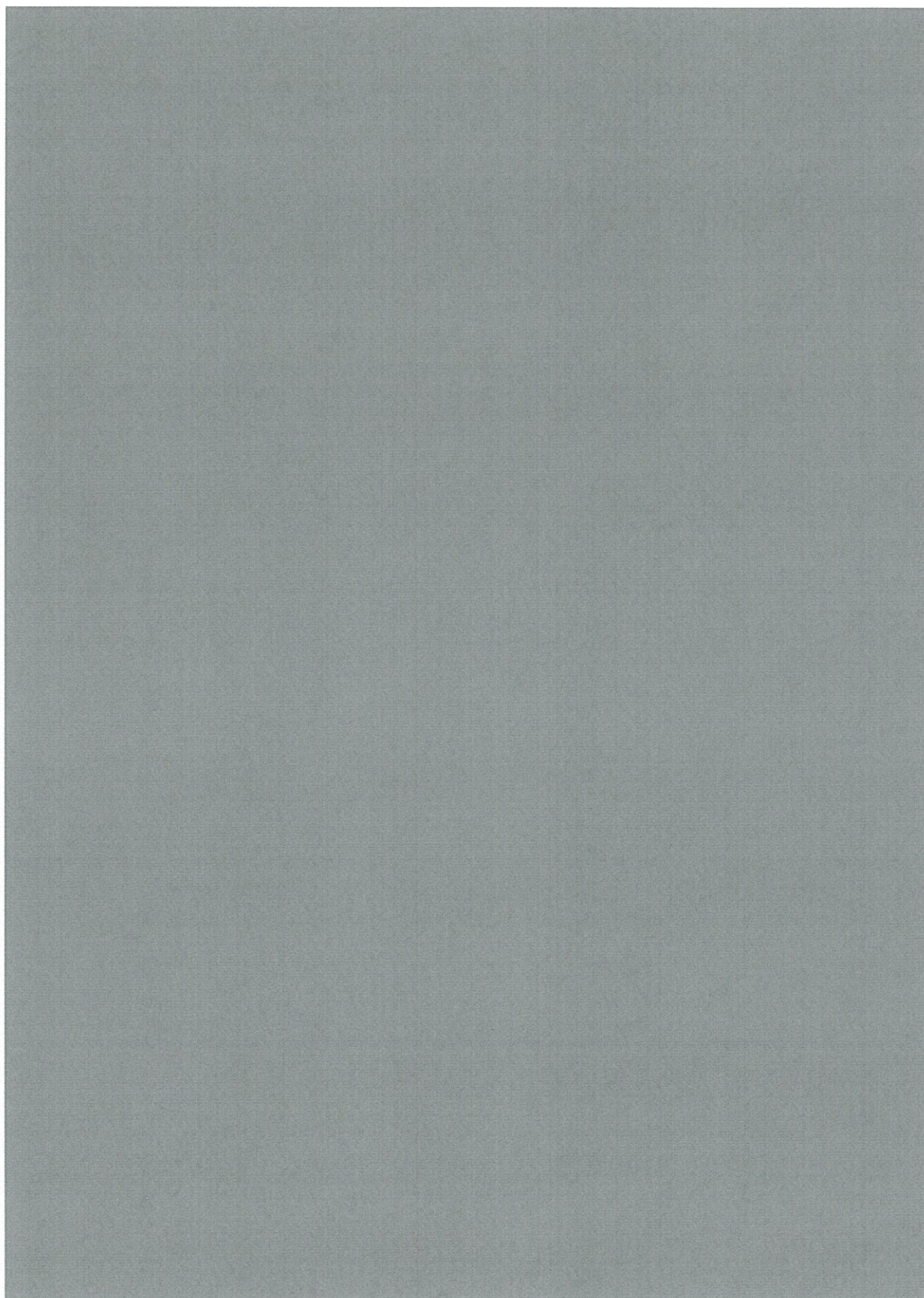




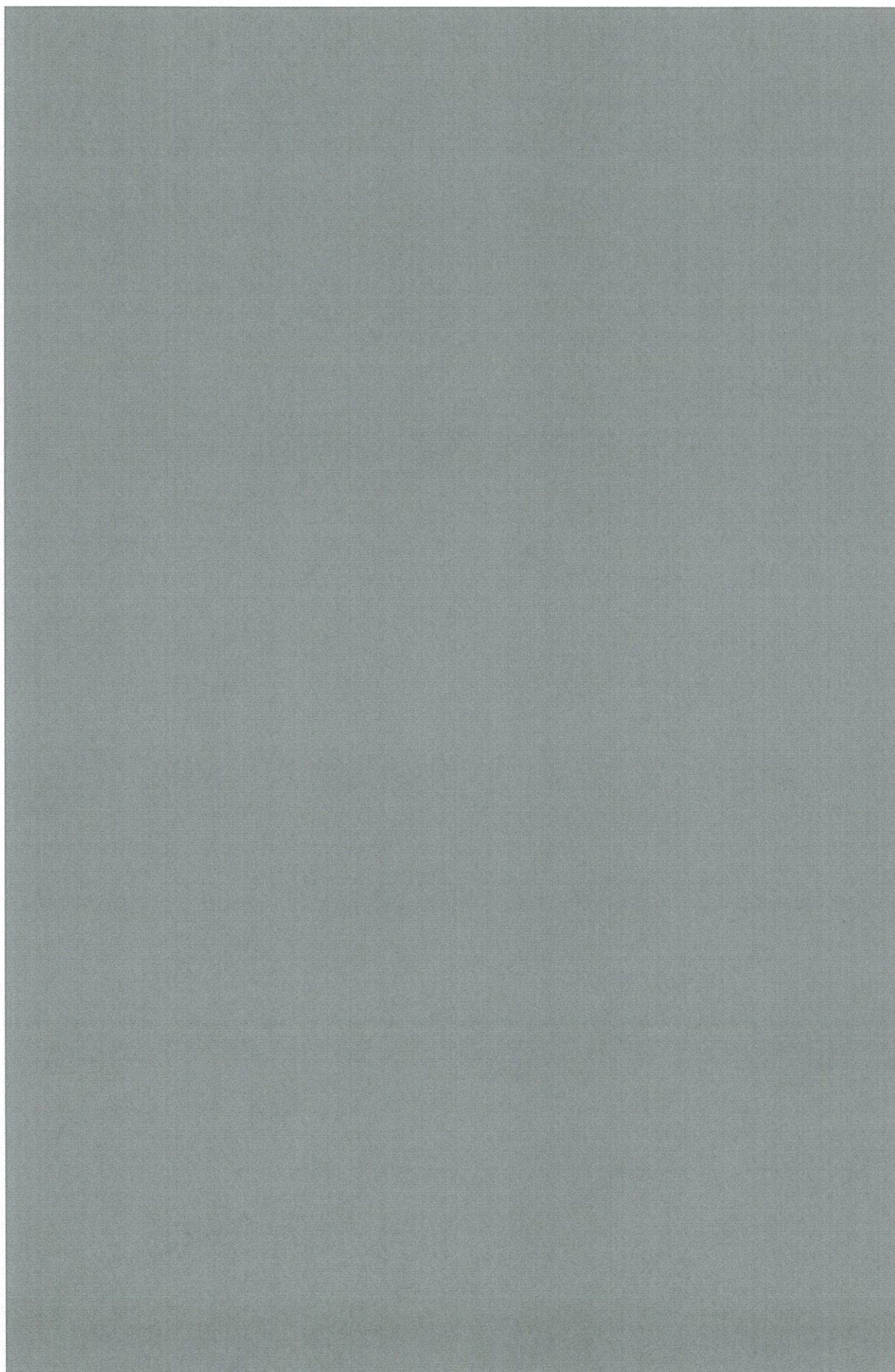




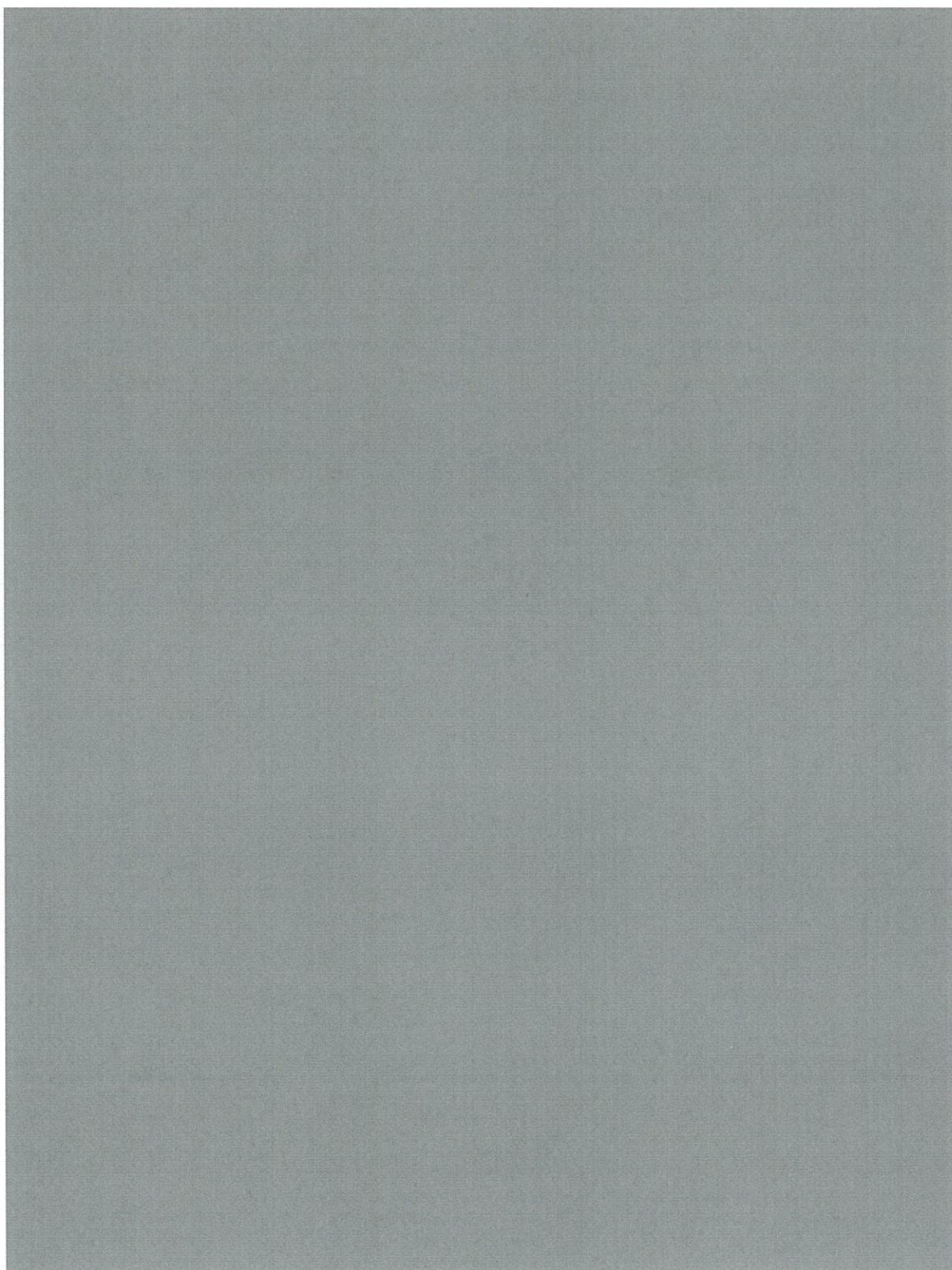




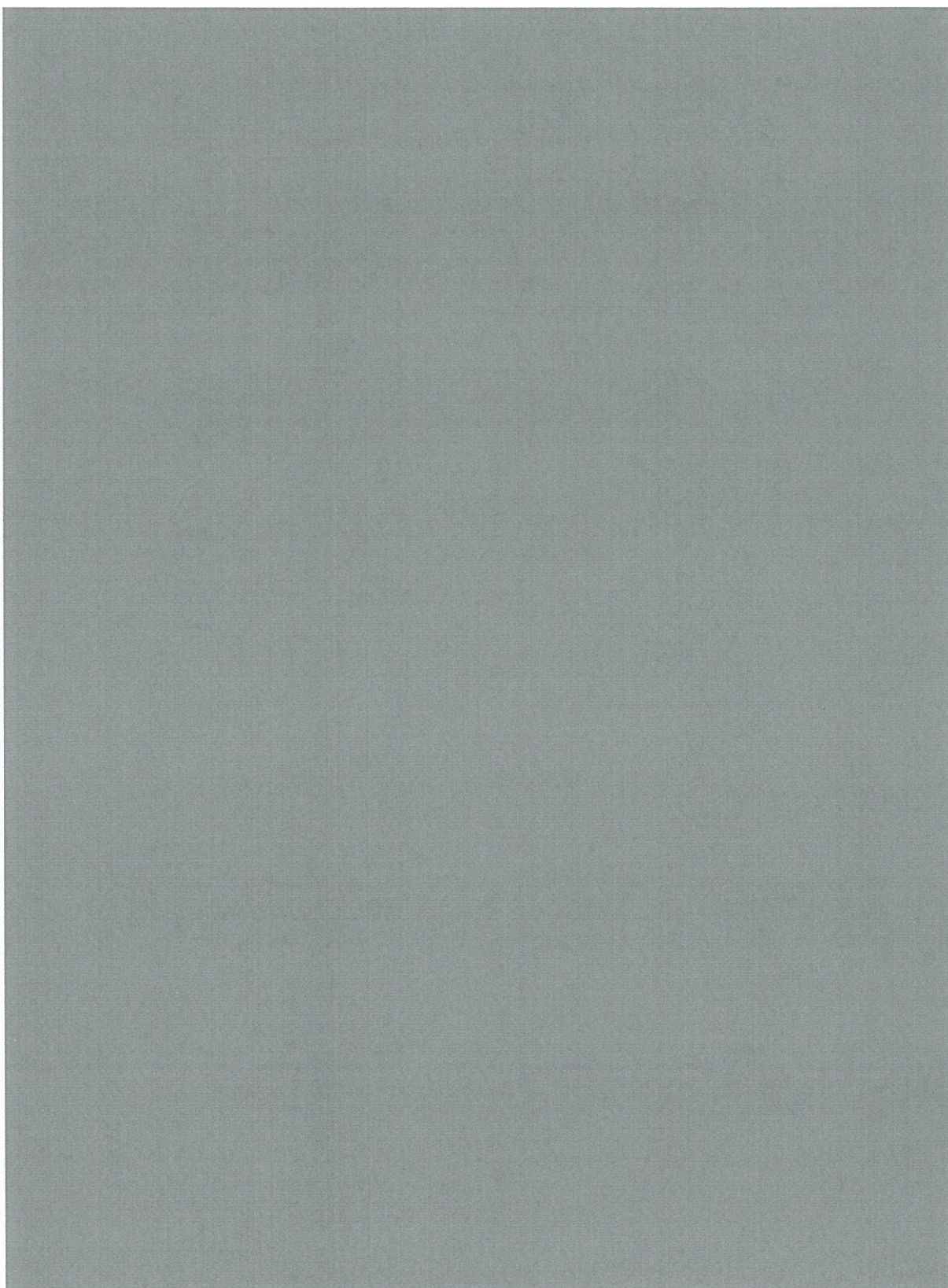






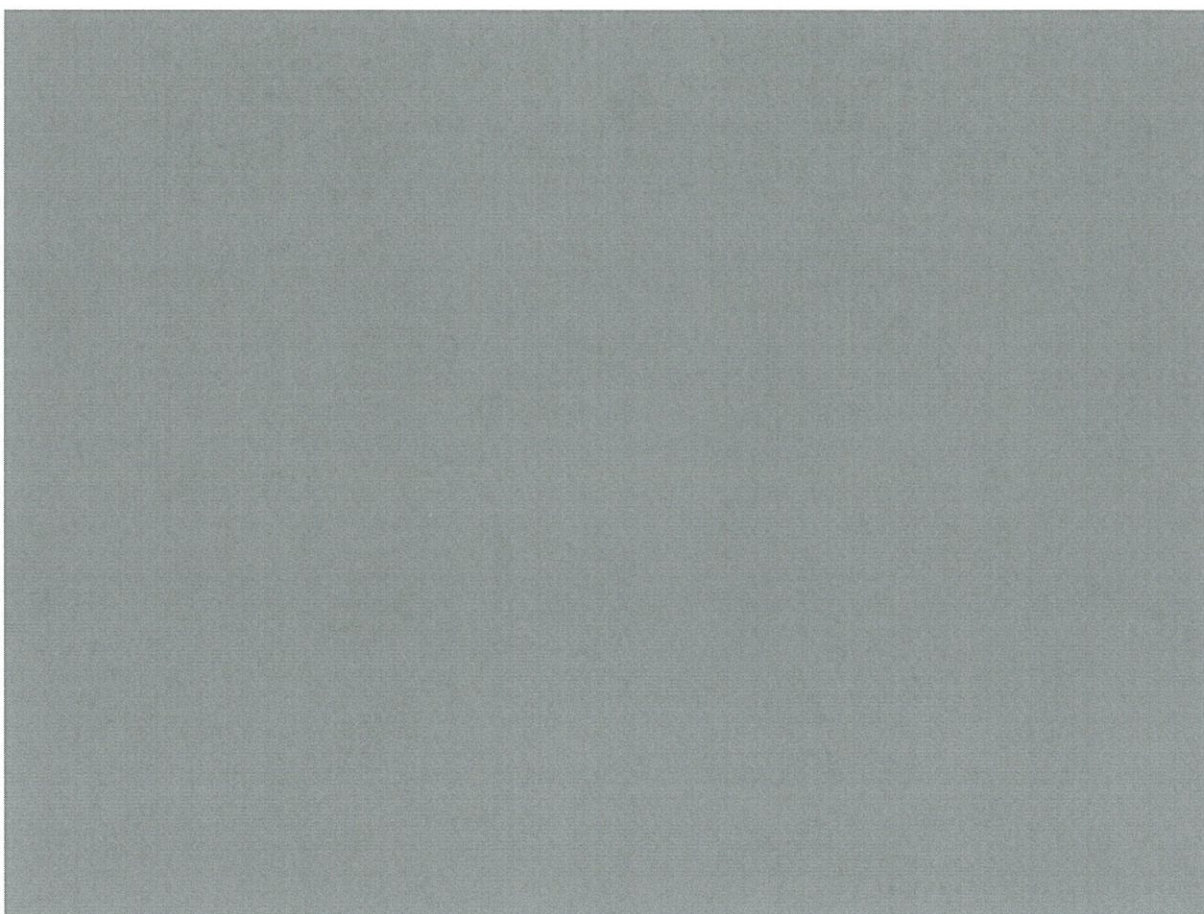






Les facteurs d'incertitude considérés sont détaillés dans le tableau suivant.





## 2.8 CERTIFICATION DU PROJET (D1.2.8)

La certification du projet de parc éolien permet une vérification indépendante effectuée par un tiers garantissant la conformité avec les exigences des normes et des réglementations en vigueur. Elle constitue une importante mesure d'atténuation des risques et elle garantit que le parc éolien répond aux normes de performances et de sécurité.

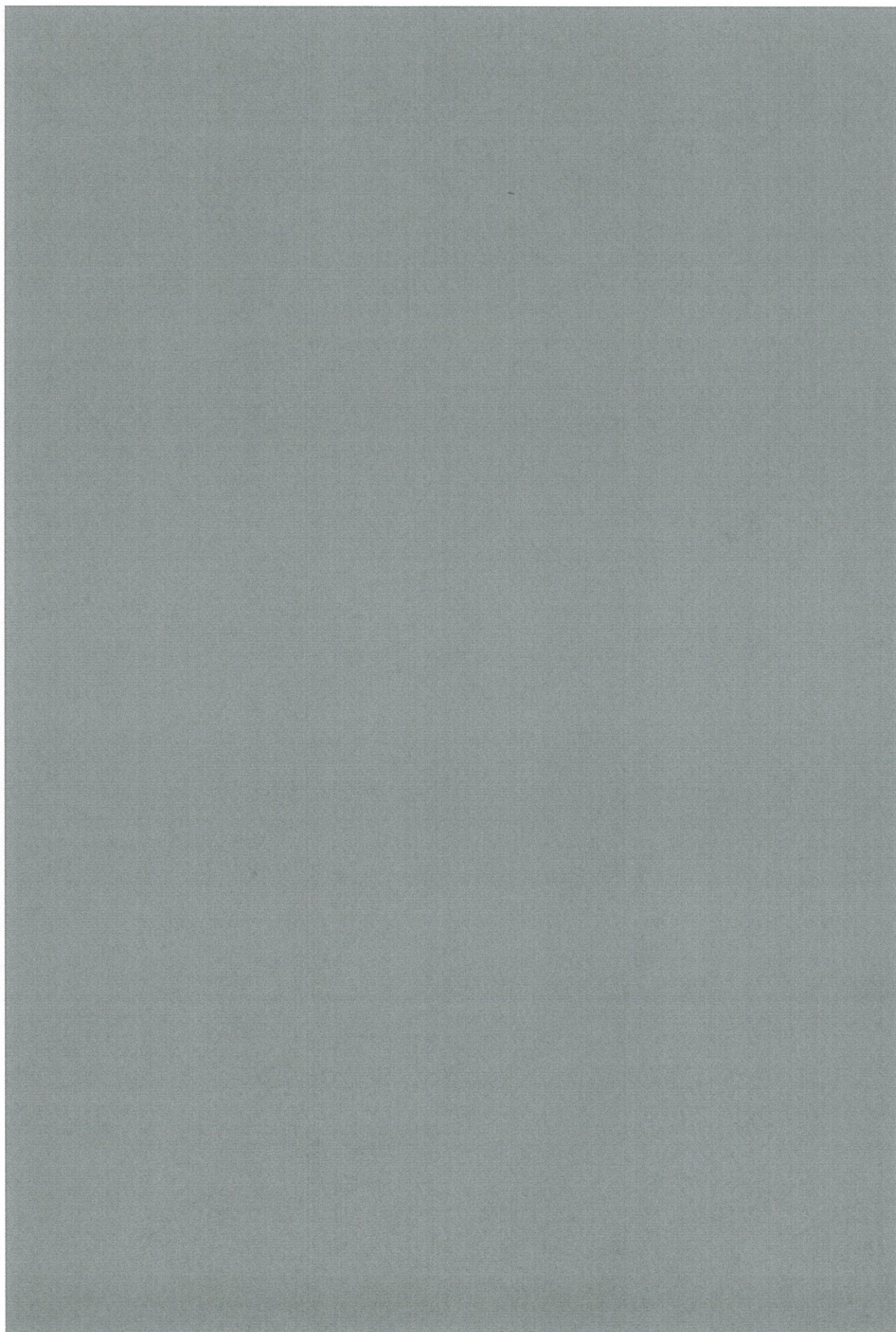
La norme la plus utilisée dans le domaine et la norme DNV-OS-J101 sur les aérogénérateurs en mer a été appliquée à 50 projets de parcs éoliens en mer totalisant une capacité de production de plus de 5 000 MW.

Plus précisément cette certification se déroule en cinq phases :

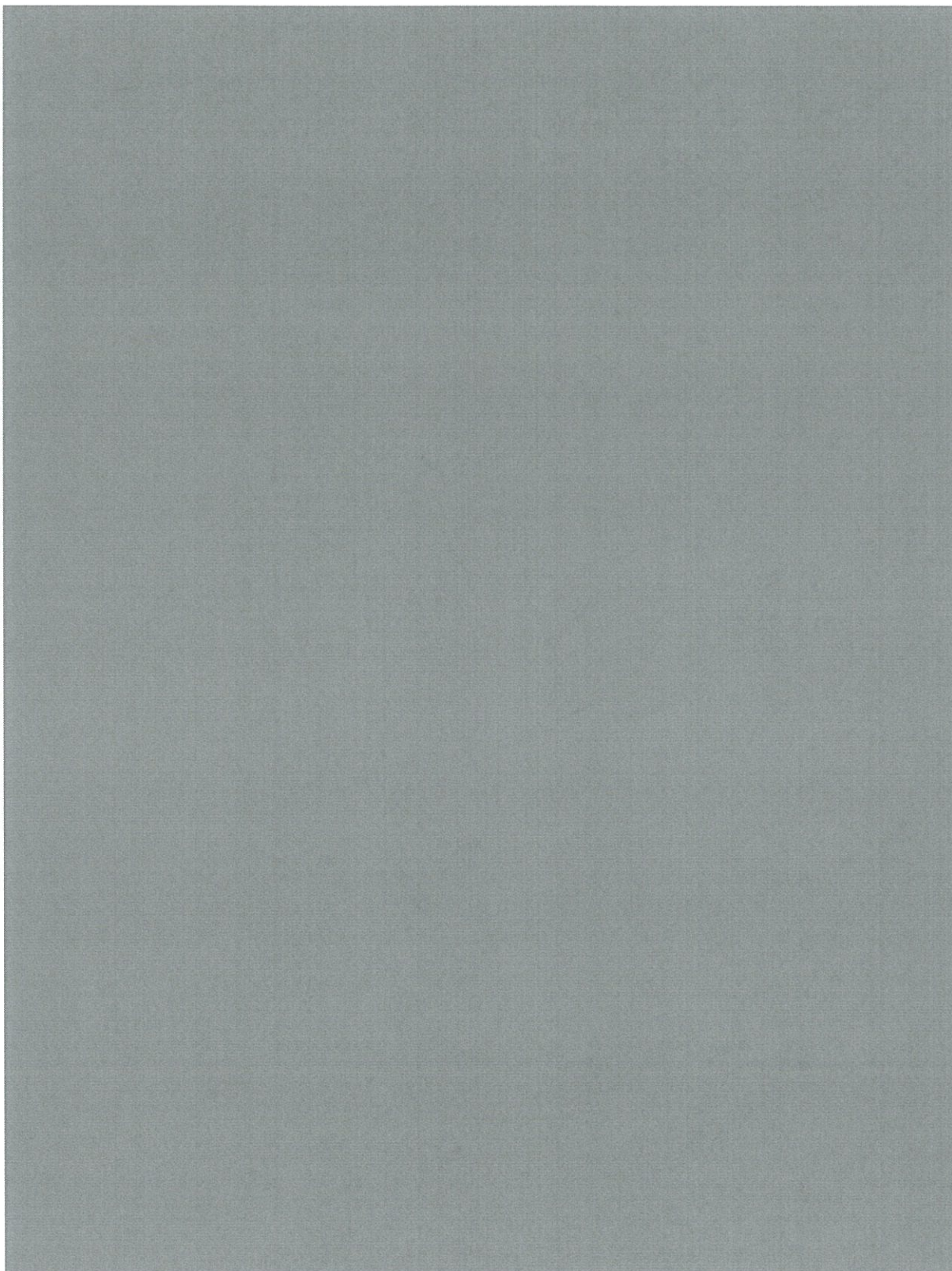
- Phase I : Vérification de la Base de conception du parc éolien incluant la vérification des paramètres de conception découlant des études de sites, des modèles de simulation rétrospective, etc. et autres exigences de conception spécifiées.
- Phase II : Vérification de la conception de la structure support de l'aérogénérateur
- Phase III : Etude de fabrication
- Phase IV : Etude de l'installation
- Phase V : Etude de la mise en service



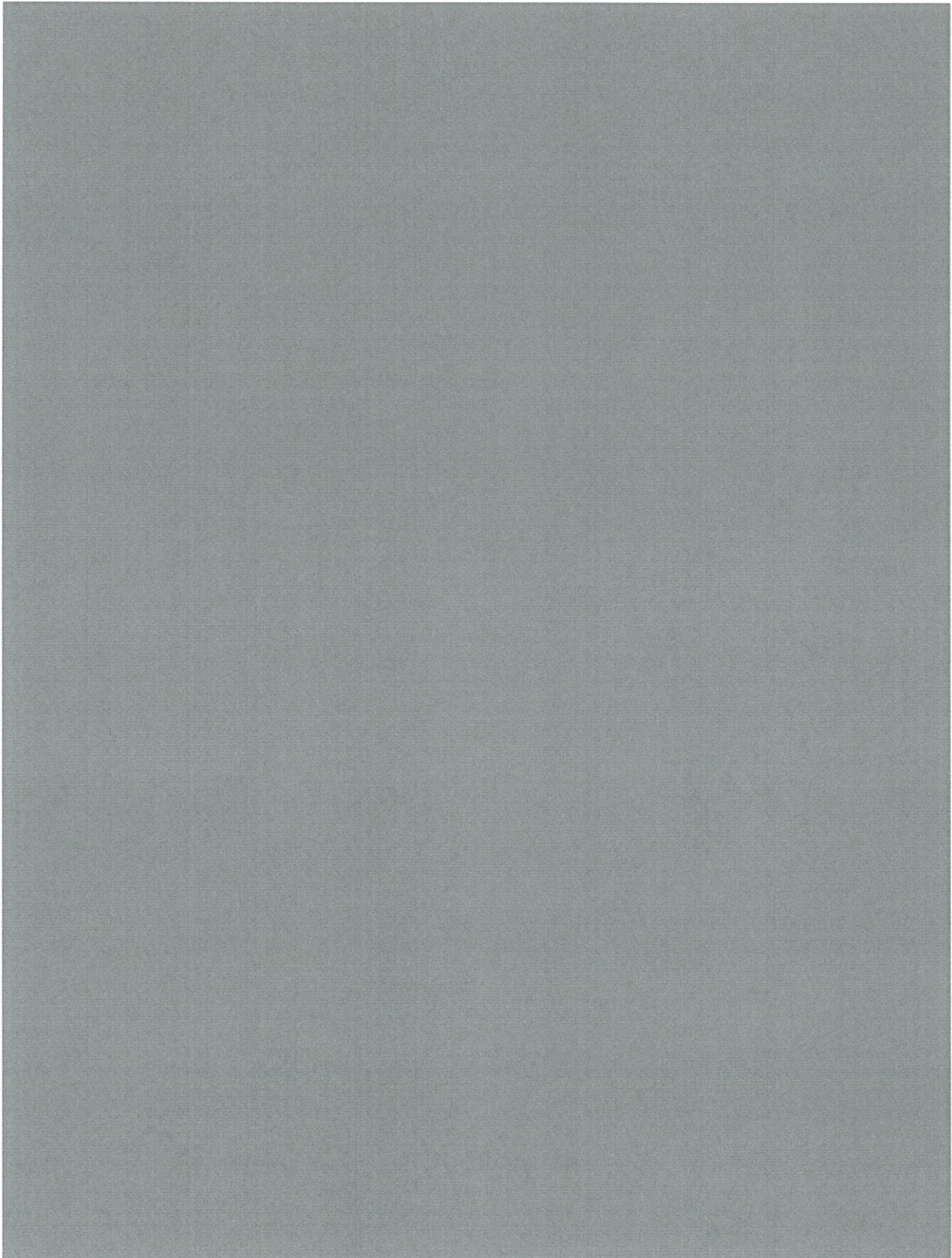














## 4. PLAN D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE PREVU (D1.4)

### 4.1. AEROGENERATEURS

L'activité de maintenance des éoliennes offshore est étroitement liée à celle d'exploitation. L'objectif est de garantir un taux de disponibilité maximale pour produire de l'électricité dans des conditions optimales. En effet les éoliennes AREVA –M5000 font l'objet d'une instrumentation et d'un dispositif de contrôle commande perfectionné permettant de piloter et traiter à distance, tout au long de l'année, un grand nombre d'événements et d'activer des équipements à distance en redondance.

La maintenance d'un parc éolien offshore se décompose en 5 types :

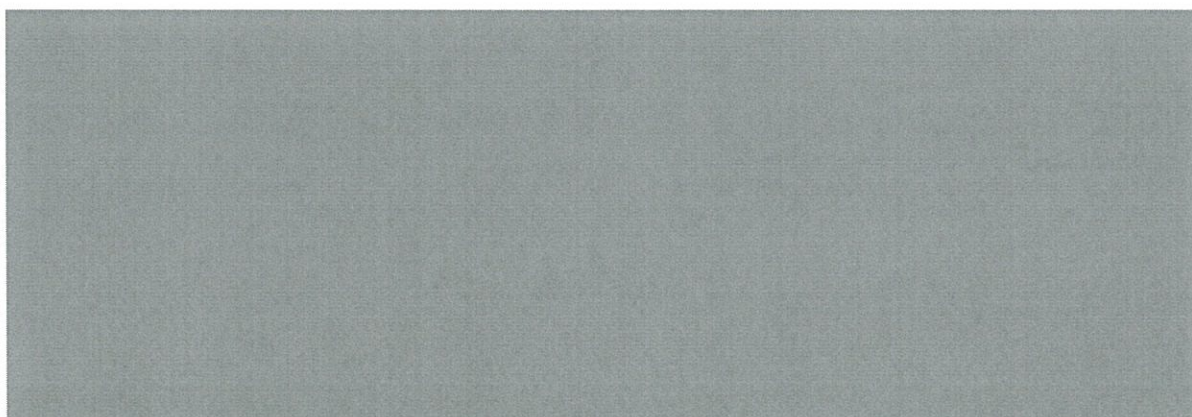
- Les inspections et contrôles réglementaires
- La maintenance préventive
- La maintenance conditionnelle
- La maintenance curative légère
- La maintenance curative lourde

Les opérations de maintenance et de contrôle réglementaires seront conduites principalement depuis des ports dits secondaires, ports spécifiques à chacun des champs éoliens et dont les deux critères principaux de sélection sont la distance aux champs éoliens concernés et un accès permanent à la mer garanti 24h/24, 7 jours /7. Une base vie terrestre sera établie pour chacun des ports de maintenance, base située à proximité ou idéalement dans la zone portuaire avec accès immédiat au bord à quai lorsque les infrastructures existantes ou prévisionnelles le permettent.

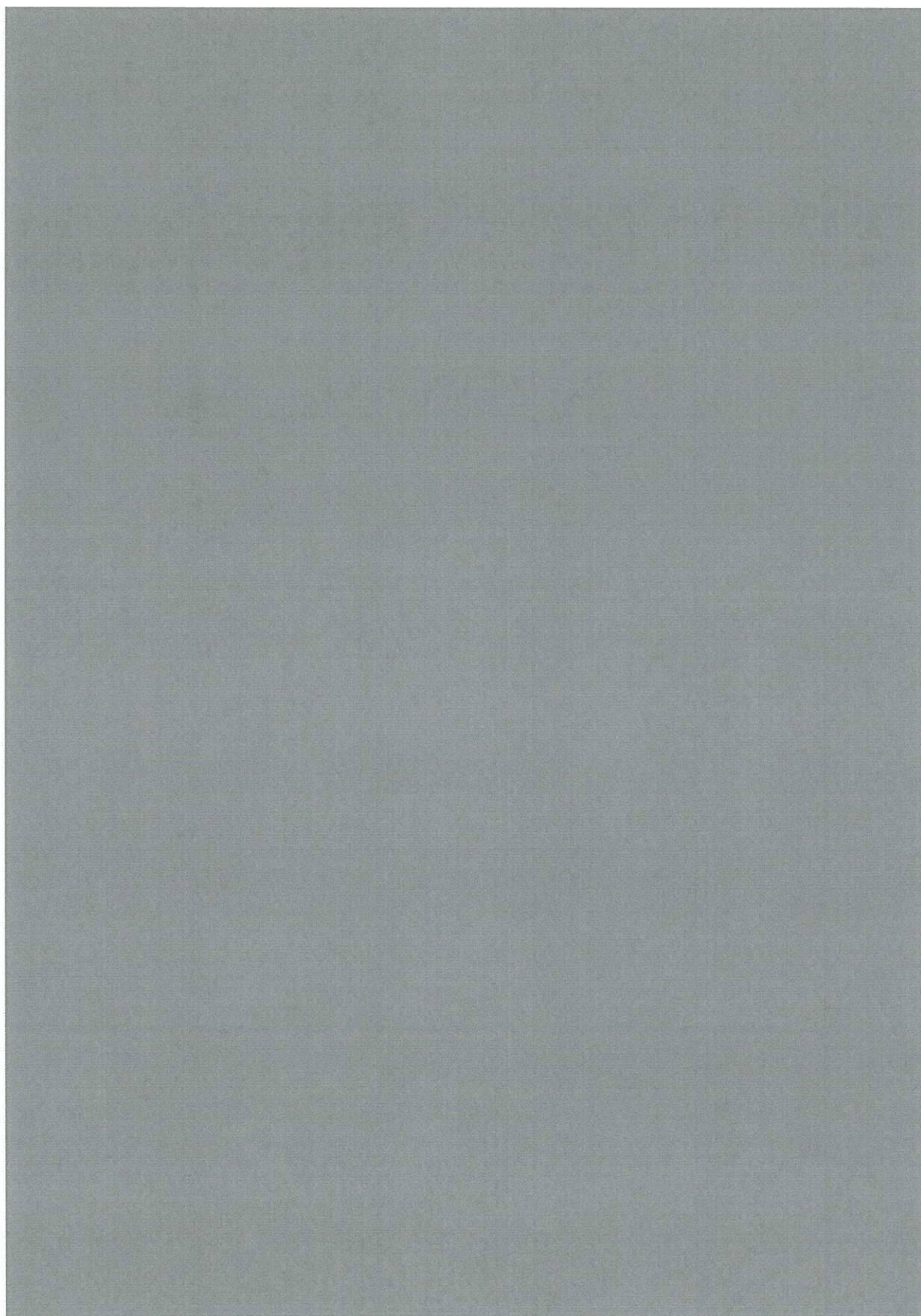
Les navires seront opérés par un ou plusieurs armateur(s).

La maintenance curative lourde fera l'objet d'une logistique particulière opérée depuis les ports principaux de fabrication et de pré-assemblage.

Compte tenu des données de conditions météorologiques locales et de la faible distance séparant la cote des champs, AREVA opérera la maintenance des éoliennes principalement par voie maritime, sur la base d'un nombre prévisionnel de 280 jours d'accostage possible aux éoliennes par an.









#### 4.5. SOUS-TRAITANCE

Certains travaux de maintenance préventive seront sous-traités sous la forme de work-package à des entreprises locales. Un premier recensement des entreprises susceptibles d'effectuer ces opérations a été effectué.

#### 4.6. CONTROLES REGLEMENTAIRES

Les points suivants seront inspectés pour respecter la législation existantes et les bonnes pratiques :

- Equipement électrique des aérogénérateurs (annuellement)
- Ascenseurs (6 mois )
- Treuils (annuellement)
- Echelles (annuellement)
- Lignes de sauvetages (annuellement)
- Equipements de pression (40 mois )
- Extincteurs (annuellement)
- Pack de sauvetage (en fonction des équipements)

Le Consortium se doit de surveiller régulièrement le développement et les bonnes pratiques tout au long du cycle de vie du parc éolien, afin de s'assurer que le parc éolien est constamment exploité conformément aux exigences réglementaires.

#### 4.7. QUALIFICATION ET FORMATION

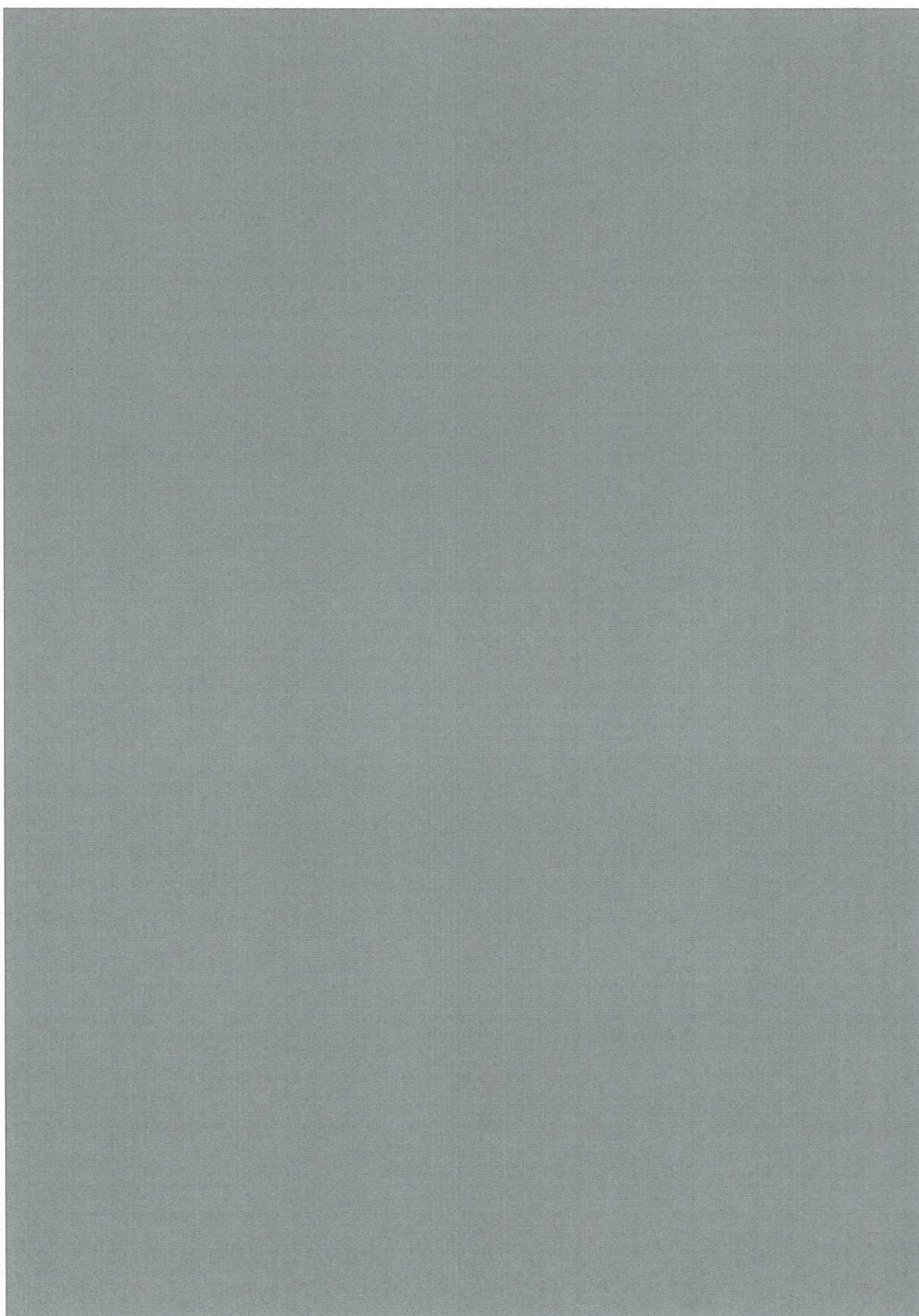
Les principales qualifications nécessaires à l'entretien et l'exploitation des éoliennes sont :

- Mécaniciens 30 %
- Electromécanicien 40 %
- Autres disciplines 30%

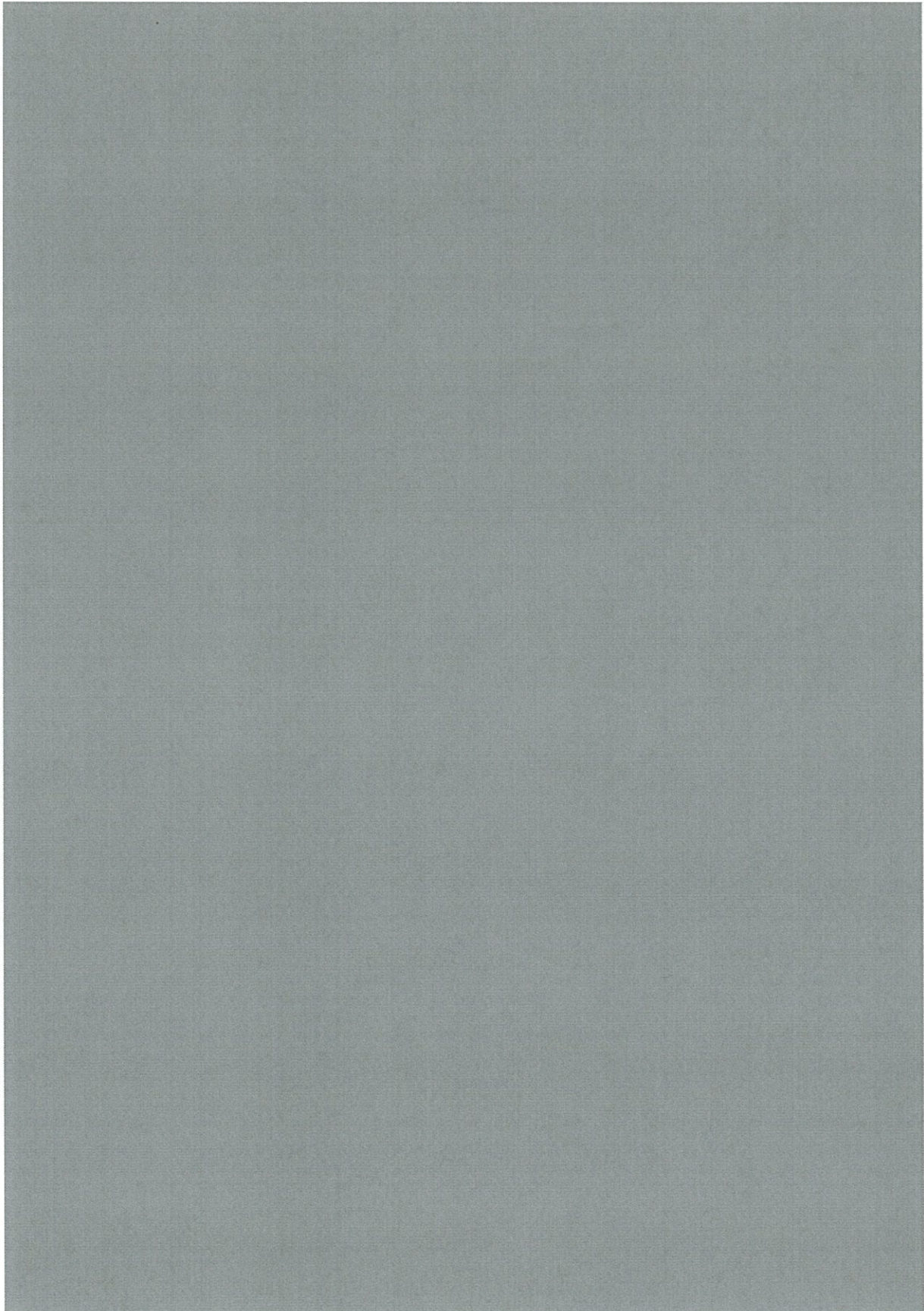
#### 4.8. ORGANISATION

Pour exécuter la maintenance des éoliennes en mer, AREVA s'appuiera sur son expertise acquise en Mer du Nord. Lors de l'installation des éoliennes au large des côtes françaises, AREVA disposera d'un retour d'expérience unique au monde. Par ailleurs, AREVA est fort d'une expertise mondialement reconnue dans le domaine de la maintenance acquise depuis plus de 40 ans dans le suivi du parc de centrale nucléaire française et étrangère. AREVA entretient plus de 100 centrales nucléaires à travers le monde.

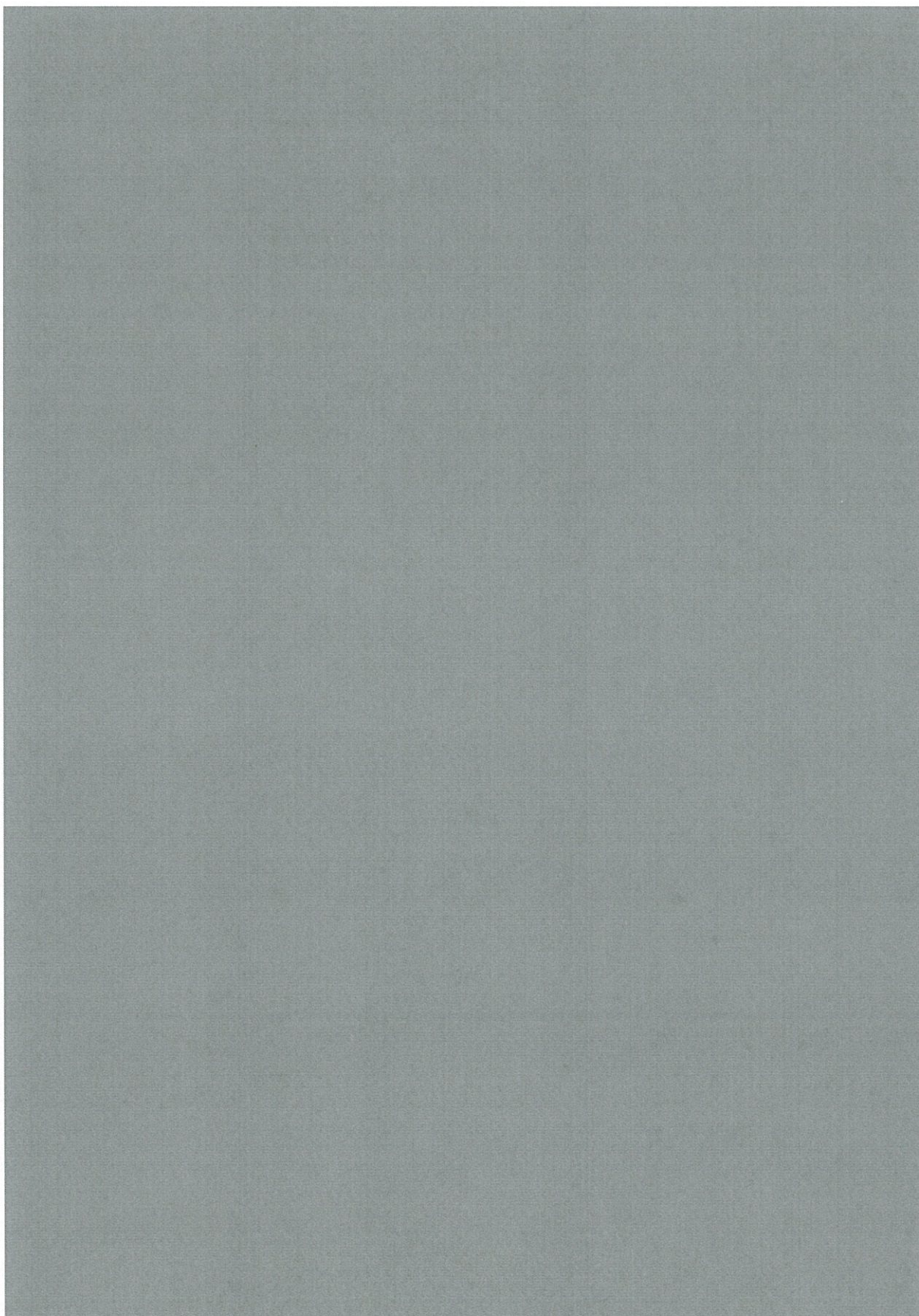




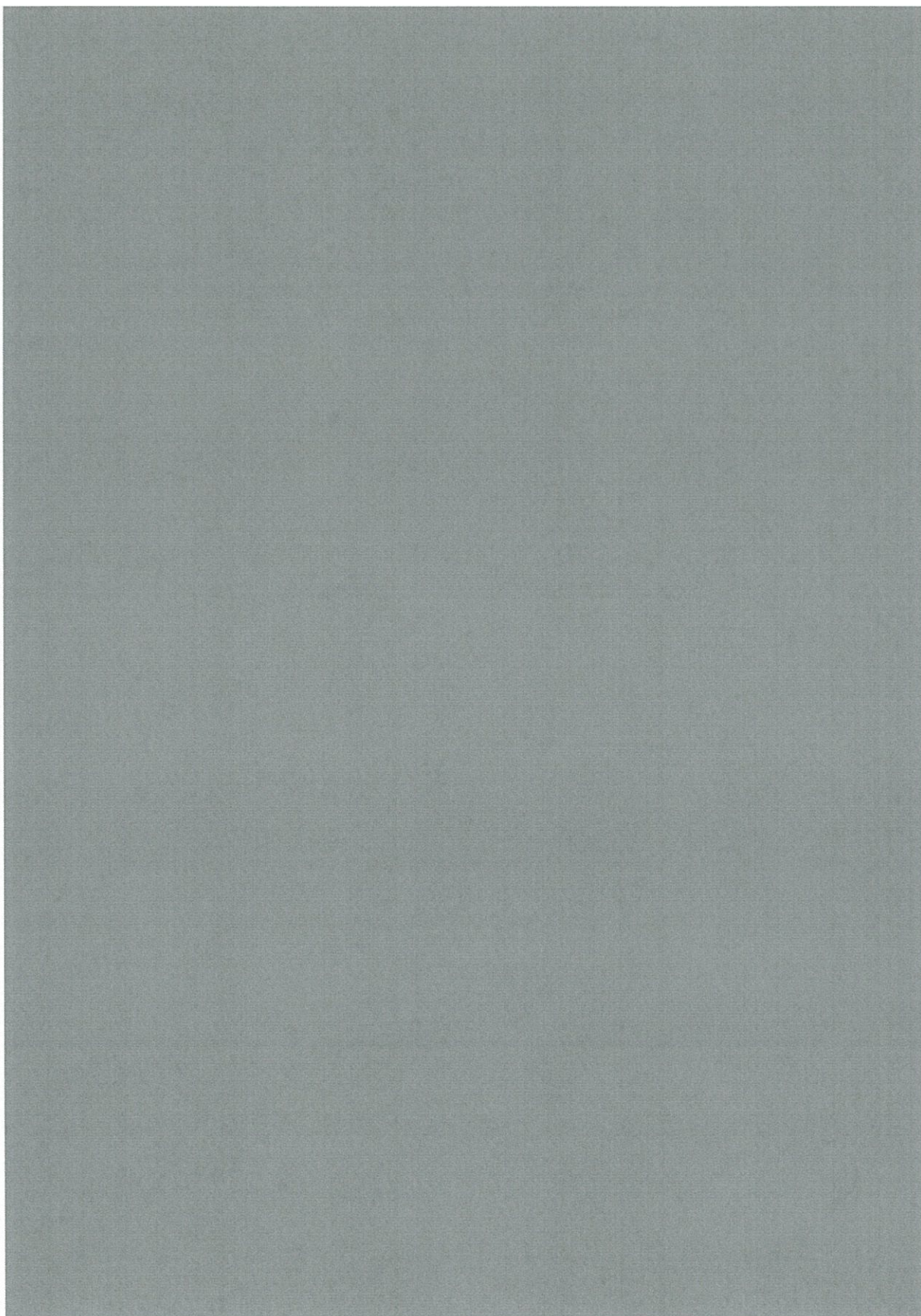




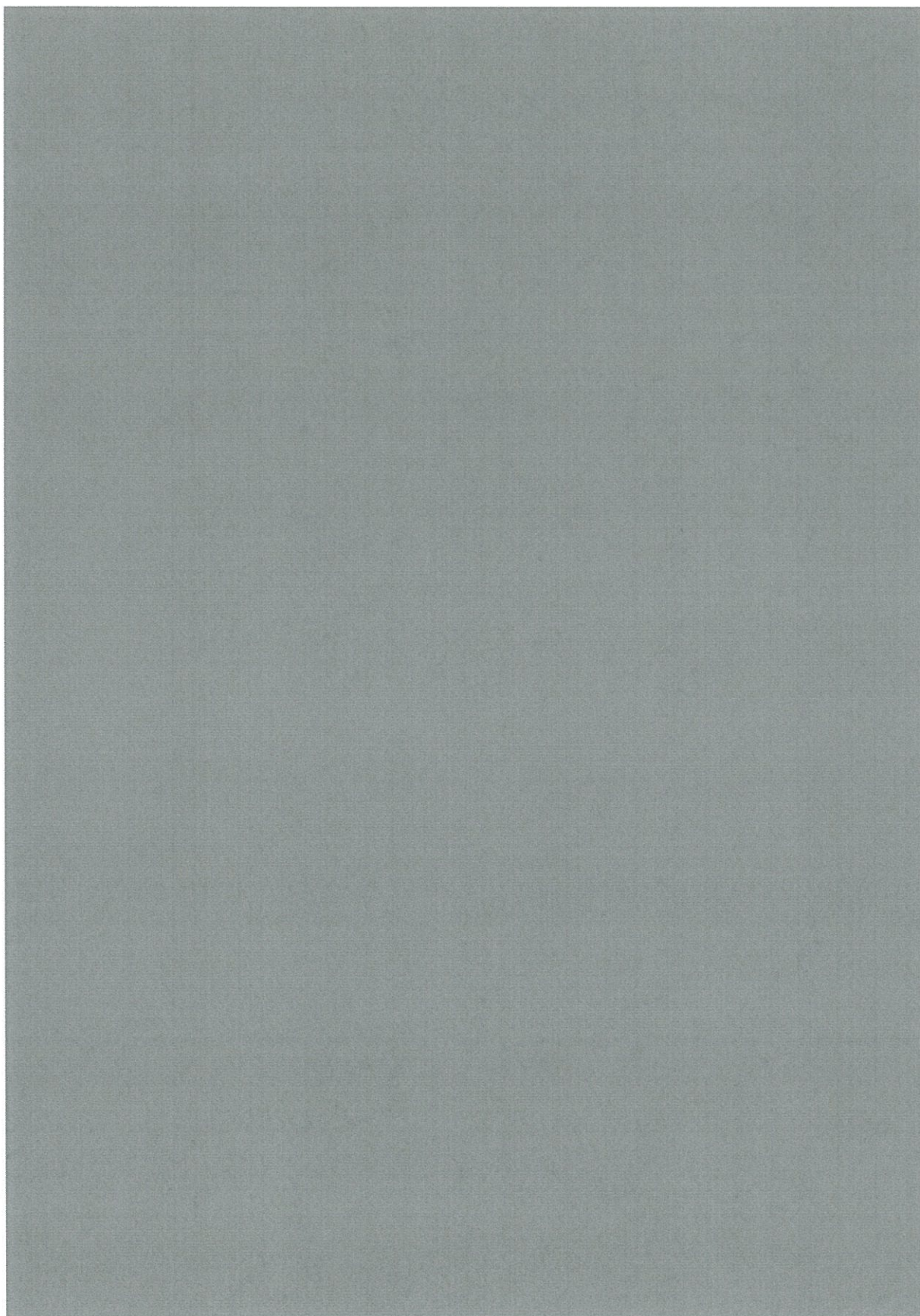












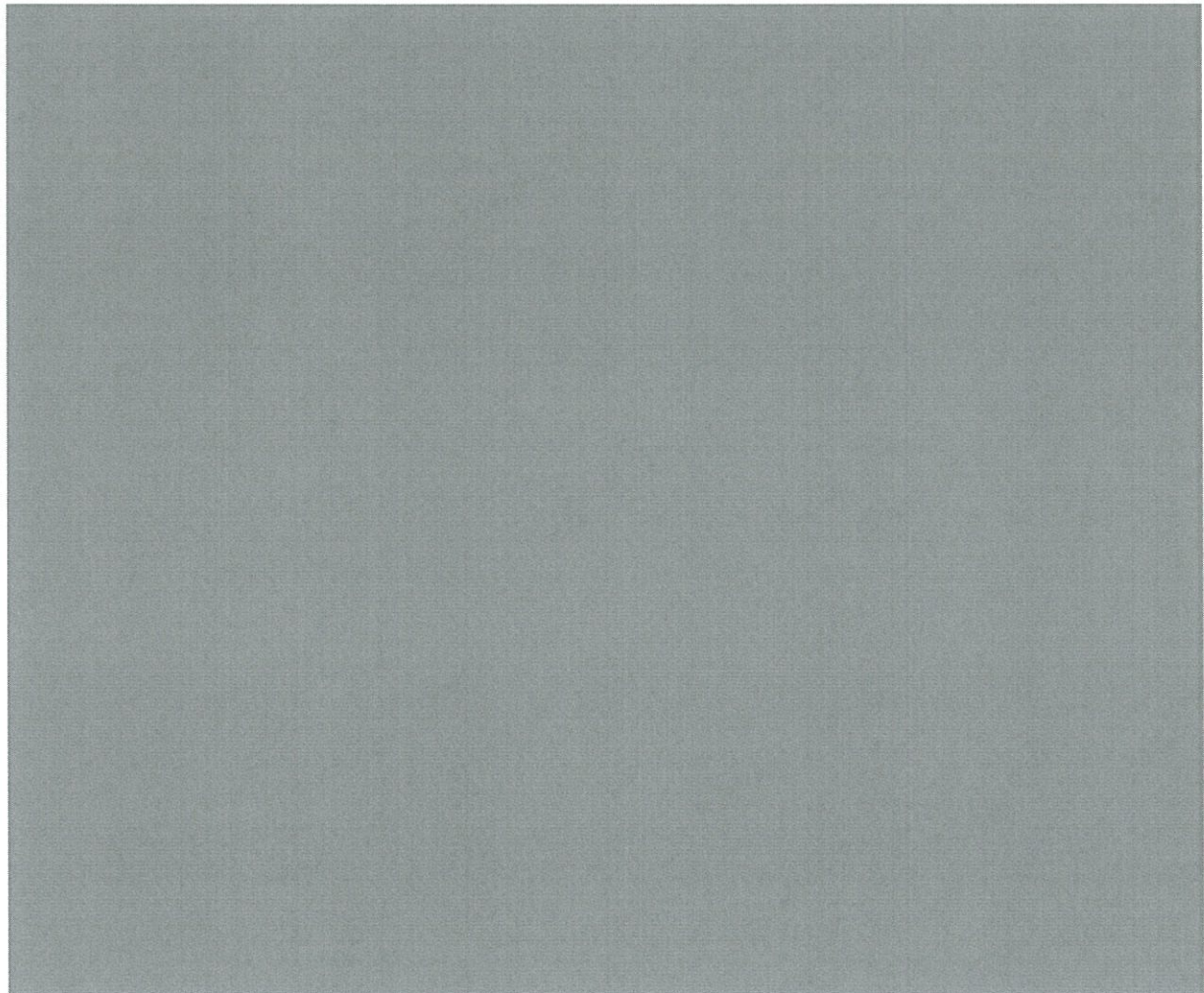


## 6. IDENTIFICATION DES PORTS (D1.6)

Les turbines seront fabriquées au port du Havre : les composants des turbines y seront assemblés jusqu'à être prêt au transport et à l'installation.

Les fondations seront quant à elles construites à Saint-Nazaire puis directement transportées et installées sur le site ou stockées temporairement à Brest ou éventuellement à Cherbourg.

Enfin, certains composants mineurs seront fabriqués en Bretagne et stockés à Brest de manière préférentielle.



Plusieurs ports ont été identifiés dans la région, mais seuls deux répondent aux critères ci-dessus : les ports de Saint Cast et de Saint Quay. Les autres présentent des temps de transit trop élevés, des restrictions d'accès à moins de 24 heures par jour ou des restrictions au niveau de la construction des installations.

Les bases pour l'exploitation et la maintenance seront choisies entre les deux sites cités ci-dessus après attribution de la zone et étude complémentaire pour déterminer lequel constitue la meilleure solution.



