



**DISCUSSIONS STRUCTURÉES SUR LE COMMERCE ET LA DURABILITÉ  
ENVIRONNEMENTALE ("DISCUSSIONS STRUCTURÉES")**

COMMUNICATION PRÉSENTÉE PAR LE ROYAUME-UNI

*Addendum<sup>1</sup>*

La communication ci-après, datée du 23 mai 2023, est distribuée à la demande de la délégation du Royaume-Uni.

ÉNERGIE ÉOLIENNE EN MER

*Note technique présentée par le Royaume-Uni*

**ANNEXE I**

**DIAGRAMMES DE CHAÎNES DE VALEUR CONCERNANT L'ÉNERGIE ÉOLIENNE EN MER**

**Diagrammes de chaînes de valeur – Code couleur:**

Couleur du chevron	Signification
	Activité ou processus intervenant au stade " <b>Développement et gestion de projet</b> " du cycle de vie d'une ferme éolienne en mer. S'agissant de la fourniture d'un service, cela représente une sous-étape de la fourniture du service. S'agissant de la fourniture d'une marchandise (qu'il s'agisse d'un intrant, d'un produit intermédiaire ou d'un produit final), cela représente une activité de fabrication ou un processus de production.
	Activité de fabrication ou processus de production intervenant lors de la fabrication ou de l'assemblage d'une <b>turbine éolienne</b> .
	Activité de fabrication ou processus de production intervenant lors de la fabrication, de l'assemblage ou de l'installation de l' <b>équipement de la partie classique</b> d'une ferme éolienne en mer
	Activité de fabrication, processus de production ou processus d'installation intervenant lors de l' <b>installation finale et de la mise en service</b> d'une ferme éolienne en mer
	Activité de fabrication, processus de production ou processus d'installation intervenant au stade " <b>Exploitation, maintenance et entretien</b> " d'une ferme éolienne en mer
	Activité ou processus intervenant au stade "Démantèlement" du cycle de vie d'une ferme éolienne en mer
	Intrant, produit intermédiaire, produit final ou service pouvant être fourni à tout stade du cycle de vie d'une ferme éolienne en mer

<sup>1</sup> Le présent addendum complète la note intitulée "Énergie éolienne en mer – Renseignements présentés par le Royaume-Uni dans le cadre des Discussions structurées sur le commerce et la durabilité environnementale ("Discussions structurées")", [INF/TE/SSD/W/26](#).

---

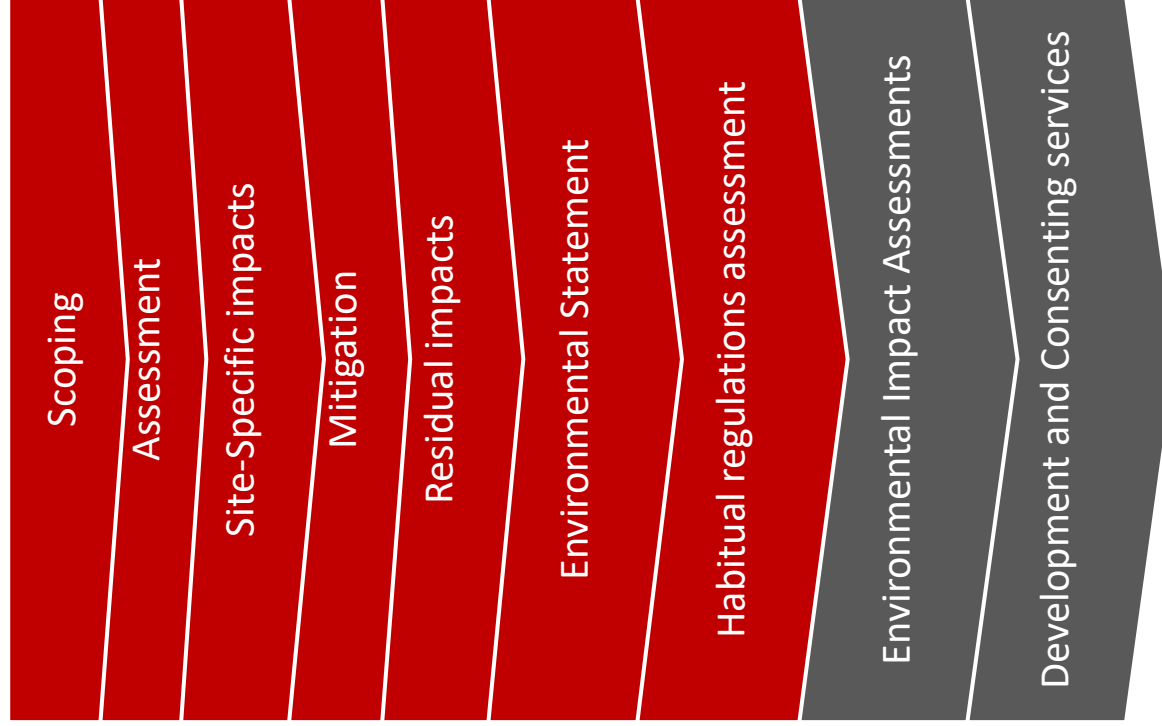
**Table des matières**

<b>I.1. DÉVELOPPEMENT ET GESTION DE PROJET .....</b>	<b>3</b>
I.1.1. Services de développement et d'autorisation .....	3
I.1.2. Enquêtes environnementales .....	4
I.1.3. Évaluation des ressources et des conditions météorologiques et océanographiques .....	6
I.1.4. Enquêtes géologiques et hydrographiques .....	8
I.1.5. Services de conseil en ingénierie .....	9
I.2. Turbine éolienne .....	10
I.2.1. Nacelle.....	10
I.2.2. Rotor .....	13
I.2.3. Mât.....	15
I.3. Partie classique de la centrale.....	17
I.3.1. Câbles .....	17
I.3.2. Fondations de la turbine.....	18
I.3.3. Sous-stations en mer.....	19
I.3.4. Sous-station terrestre .....	20
I.3.5. Base d'exploitation .....	21
I.4. Installation et mise en service .....	22
I.4.1. Installation des fondations.....	22
I.4.2. Installation de la sous-station en mer .....	24
I.4.3. Construction de la sous-station terrestre .....	25
I.4.4. Installation du câble d'export terrestre.....	26
I.4.5. Installation du câble en mer .....	27
I.4.6. Installation de la turbine .....	28
I.4.6.1. Mise en service .....	29
I.4.7. Port de construction.....	30
I.4.8. Services de logistique en mer .....	31
I.5. Exploitation, maintenance et entretien.....	32
I.5.1. Activités d'exploitation .....	32
I.5.1.1. Formation.....	32
I.5.2. Maintenance et entretien.....	36
I.5.3. Maintenance et entretien de la partie classique de la centrale .....	37
I.6. Démantèlement .....	38
I.6.1. Démantèlement de la turbine.....	38
I.6.2. Démantèlement des fondations .....	39
I.6.3. Démantèlement des câbles.....	40
I.6.4. Démantèlement de la sous-station .....	41
I.6.5. Port de démantèlement.....	42
I.6.6. Réutilisation, recyclage ou élimination.....	43

## I.1. Développement et gestion de projet

### I.1.1. Services de développement et d'autorisation

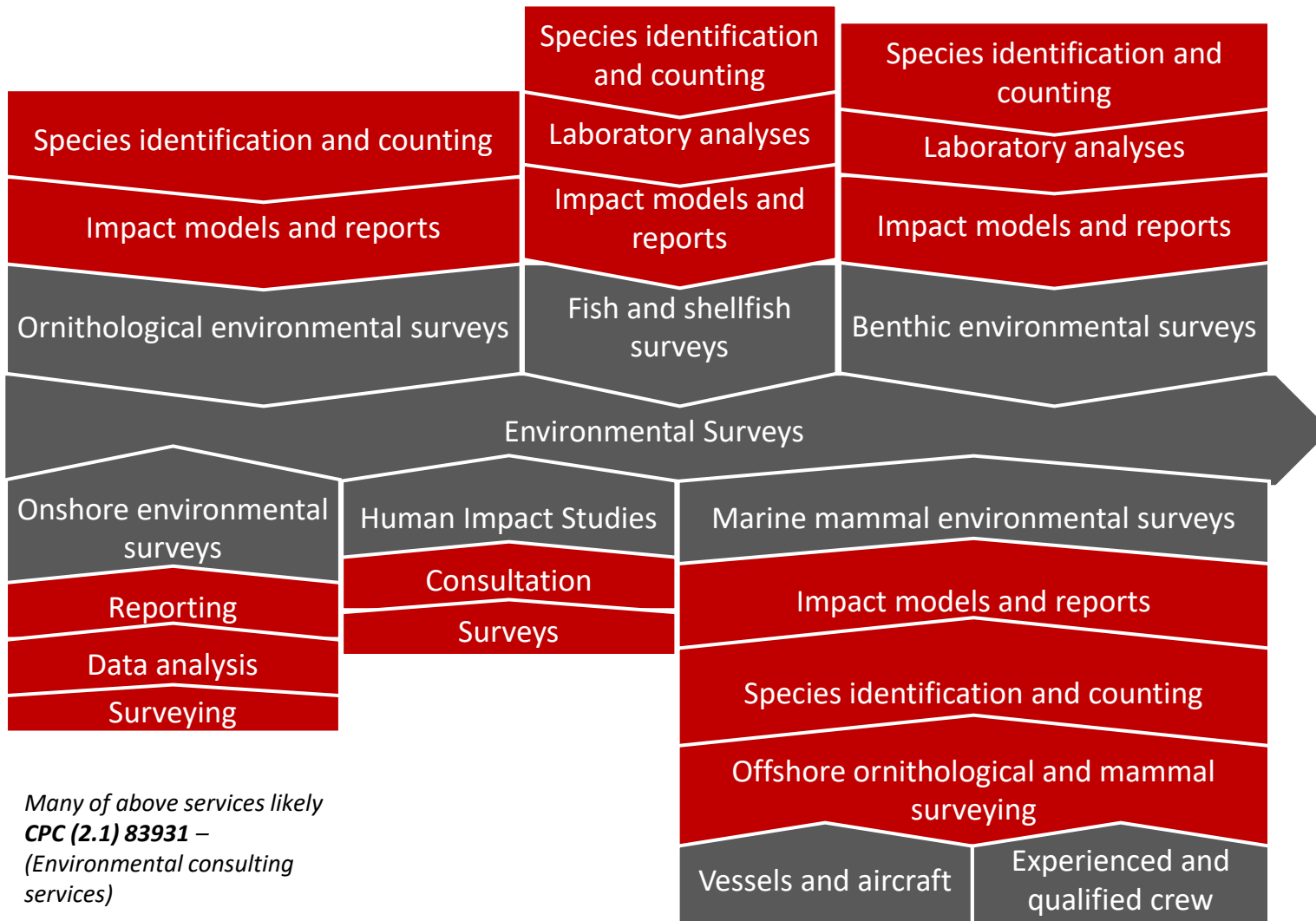
Les services de développement et d'autorisation comprennent les travaux nécessaires pour obtenir les autorisations et gérer le processus de développement jusqu'au bouclage du financement.



### I.1.2. Enquêtes environnementales

Pour déterminer les impacts sur l'environnement, une gamme complète d'enquêtes environnementales portant sur le site de la ferme éolienne et les zones environnantes est réalisée. Ces enquêtes établissent un point de référence pour l'évaluation et permettent d'effectuer la modélisation de l'impact.

- **Enquêtes environnementales benthiques:** les enquêtes benthiques étudient les espèces qui vivent dans les fonds marins et dans les sédiments. Les données de l'enquête et l'analyse servent à définir des zones ayant des conditions environnementales similaires dans les fonds marins et à contribuer aux études d'impact sur l'habitat et les espèces.
- **Enquêtes sur les poissons et les crustacés:** établissent les espèces présentes dans la colonne d'eau sur le site projeté de la ferme éolienne et dans les zones environnantes. Les données qui en résultent servent à contribuer à l'analyse d'impact et à la présentation de rapports.
- **Enquêtes ornithologiques:** établissent la présence et le comportement des oiseaux dans les limites de la ferme éolienne et les zones environnantes. Les données issues de ces enquêtes ornithologiques servent à déterminer les risques que peuvent poser une ferme éolienne pour les oiseaux.
- **Enquêtes sur les mammifères marins:** établissent la diversité, l'abondance, la répartition et le comportement des cétacés (y compris les marsouins, les dauphins et les baleines) et des phoques dans les limites de la ferme éolienne et les zones environnantes. Les enquêtes sont généralement menées chaque mois pendant au moins deux ans afin d'établir de quelle manière ces variables évoluent en fonction des saisons et des années. Les données de ces enquêtes sont utilisées pour établir les impacts potentiels d'une ferme marine sur les mammifères marins.
- **Enquêtes environnementales terrestres:** examinent l'impact écologique potentiel que la pose de câbles et les sous-stations terrestres peuvent avoir sur l'environnement terrestre.
- **Études d'impact sur les humains:** évaluent l'impact qu'une ferme éolienne projetée peut avoir sur les communautés vivant sur la zone côtière adjacente à la ferme éolienne et les zones côtières environnantes.

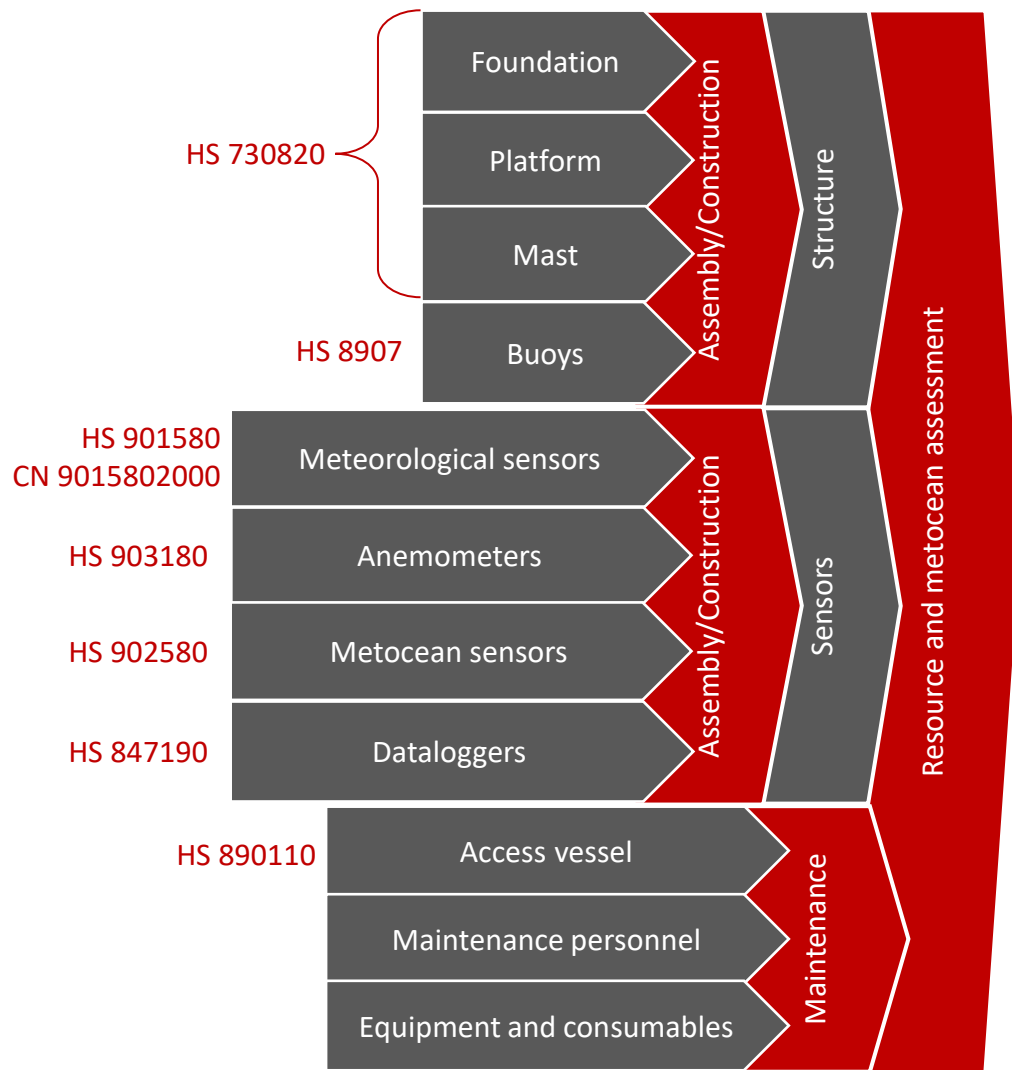


Many of above services likely  
**CPC (2.1) 83931** –  
 (Environmental consulting  
 services)

### I.1.3. Évaluation des ressources et des conditions météorologiques et océanographiques

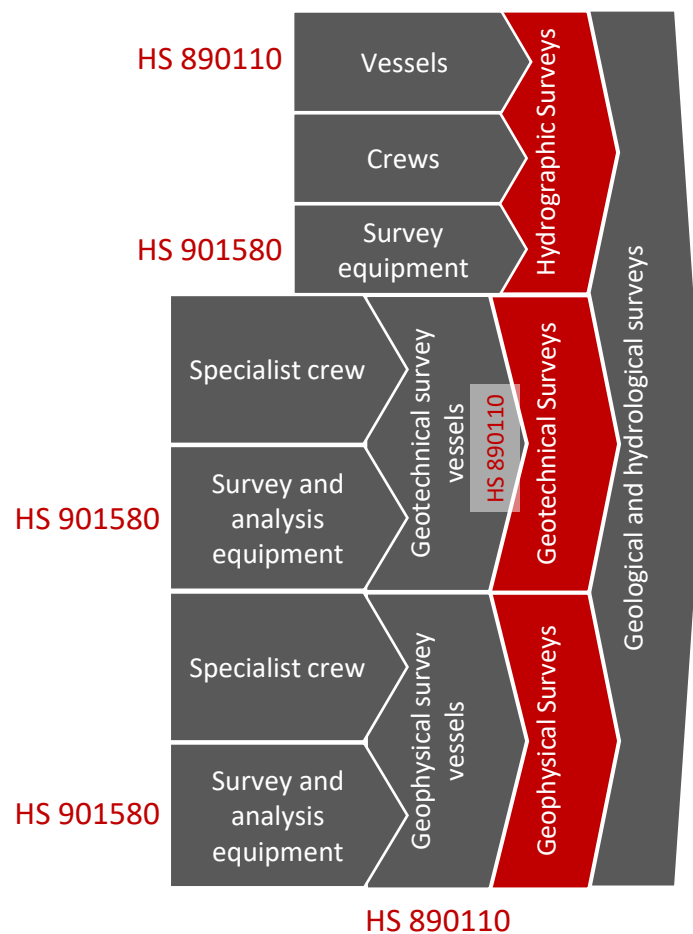
Une évaluation des ressources et des conditions météorologiques et océanographiques est menée pour fournir des ensembles de données atmosphériques et océanographiques afin de contribuer à la conception technique d'une ferme éolienne, aux études sur la production potentielle future d'énergie et de décrire en détail les conditions d'exploitation probables sur le site projeté de la ferme éolienne.

- **Structure:** fournit un support pour les études météorologiques et océanographiques, les capteurs et les systèmes auxiliaires ainsi qu'un accès sûr pour le personnel.
- **Capteurs:** fournissent des données sur les conditions météorologiques et océanographiques sur le site d'intérêt. Des enregistreurs de données fournissent des capacités en matière de stockage, de traitement et de communication de données à distance.
- **Entretien:** les systèmes éoliens en mer et météorologiques et océanographiques nécessiteront une maintenance, y compris l'inspection, le nettoyage et le ravitaillement en combustible (dans les cas où des générateurs diesel ou des piles à hydrogène à combustible à hydrogène ou systèmes similaires sont utilisés).



#### I.1.4. Enquêtes géologiques et hydrographiques

Les enquêtes sur les fonds marins analysent le sous-sol marin du site projeté de la ferme éolienne et le trajet du câble d'export pour évaluer les conditions géologiques et les caractéristiques techniques. Les données collectées sont utilisées dans un large éventail d'études d'ingénierie et environnementales pendant la phase de conception et de développement.





### I.1.5. Services de conseil en ingénierie

Les études d'ingénierie de base (FEED) portent sur la conception du système de ferme éolienne et élaborent le concept de ferme éolienne avant l'étape des achats, de l'établissement des contrats et de la construction. Plus tôt au cours du processus, des études préalables aux études d'ingénierie de base servent à élaborer les grandes lignes du concept du projet afin de définir l'enveloppe des autorisations et de contribuer aux études d'impact sur l'environnement. L'étude d'ingénierie de base est affinée en permanence tout au long du processus de développement et sert en définitive pour encadrer et traiter les décisions importantes en matière d'ingénierie et d'achats.



## I.2. Turbine éolienne

La turbine convertit l'énergie cinétique du vent en courant électrique alternatif triphasé.

### I.2.1. Nacelle

La nacelle supporte le rotor et convertit l'énergie rotationnelle du rotor en courant électrique alternatif triphasé.

- **Châssis de la nacelle:** supporte la chaîne dynamique et le reste des composants de la nacelle et transmet les charges du rotor au mât.
- **Palier principal:** supporte le rotor et transmet une partie de la charge du rotor au châssis de la nacelle.
- **Arbre principal:** transmet le couple du rotor au multiplicateur de vitesse ou, dans le cas de certains systèmes à entraînement par accouplement direct, à la génératrice. Il est soutenu au bout du rotor par le palier principal et à l'autre bout par le multiplicateur/la génératrice ou bien par un palier monté séparément.
- **Multiplicateur:** convertit le couple du rotor d'une vitesse de 5 à 15 tr/min à une vitesse allant jusqu'à 600 tr/min dans le cas d'un multiplicateur à vitesse moyenne et jusqu'à 1 500 tr/min dans le cas d'un multiplicateur à vitesse élevée en vue de la conversion en énergie électrique par la génératrice.
- **Génératrice:** convertit l'énergie mécanique en énergie électrique.
- **Prise de force:** reçoit l'énergie électrique de la génératrice et ajuste le voltage et la fréquence pour la transmission vers l'avant au système de distribution de la ferme éolienne.
- **Système de régulation:** assure le contrôle de supervision (y compris le contrôle d'état des systèmes) et un contrôle actif de la puissance et de la charge pour optimiser la durée de vie de la turbine et la production de recettes, tout en respectant les prescriptions imposées de l'extérieur.
- **Dispositif d'orientation:** oriente la nacelle dans la direction du vent pendant le fonctionnement.
- **Couronne d'orientation:** connecte la nacelle et le mât, et permet au dispositif d'orientation d'orienter la nacelle dans n'importe quelle direction du vent pendant le fonctionnement.
- **Systèmes auxiliaires:** facilitent le fonctionnement continu sans supervision de la turbine éolienne la majorité du temps, et appuient l'entretien planifié, qui devrait en général avoir lieu uniquement une fois par an.
- **Coque de nacelle:** fournit une protection résistante aux intempéries aux composants de la nacelle et supporte et donne accès aux composants externes tels que dispositifs de refroidissement, équipements de mesure du vent et dispositifs de protection contre la foudre.

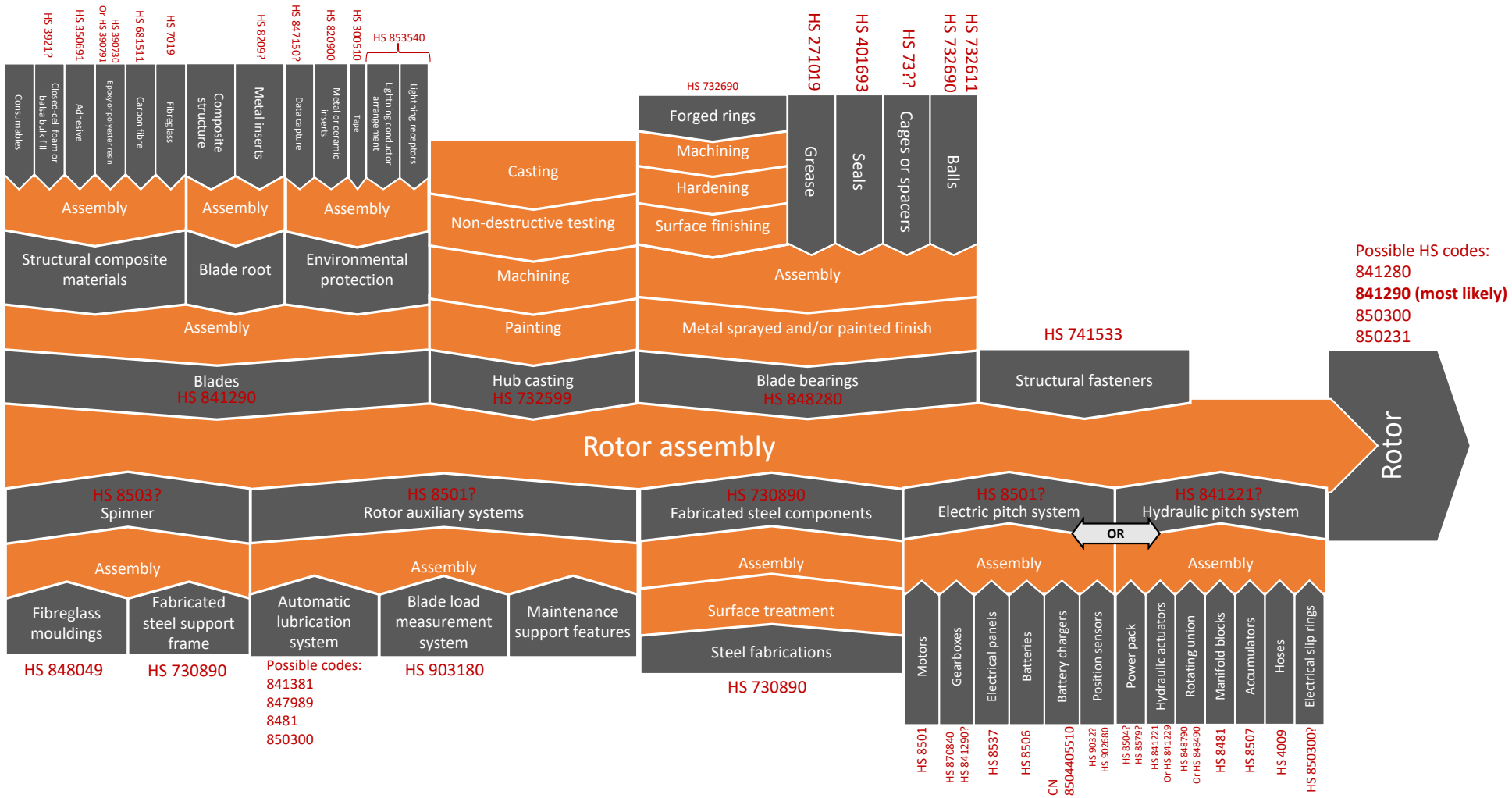
- **Petits composants d'ingénierie:** constituent le reste de l'ensemble de la nacelle.
- **Pièces de fixation structurelles (boulons ou goujons):** utilisées dans un éventail d'assemblages boulonnés essentiels, par exemple celui reliant le rotor à l'arbre principal, les corps du palier principal au châssis de la nacelle et la couronne d'orientation à la partie inférieure du châssis de la nacelle.
- **Dispositifs de surveillance de l'état des systèmes:** assurent des vérifications additionnelles de l'état des systèmes et sont dotés de capacités de prédiction des défaillances



### I.2.2. Rotor

Le rotor extrait l'énergie cinétique de l'air et le convertit en énergie rotationnelle dans la chaîne dynamique.

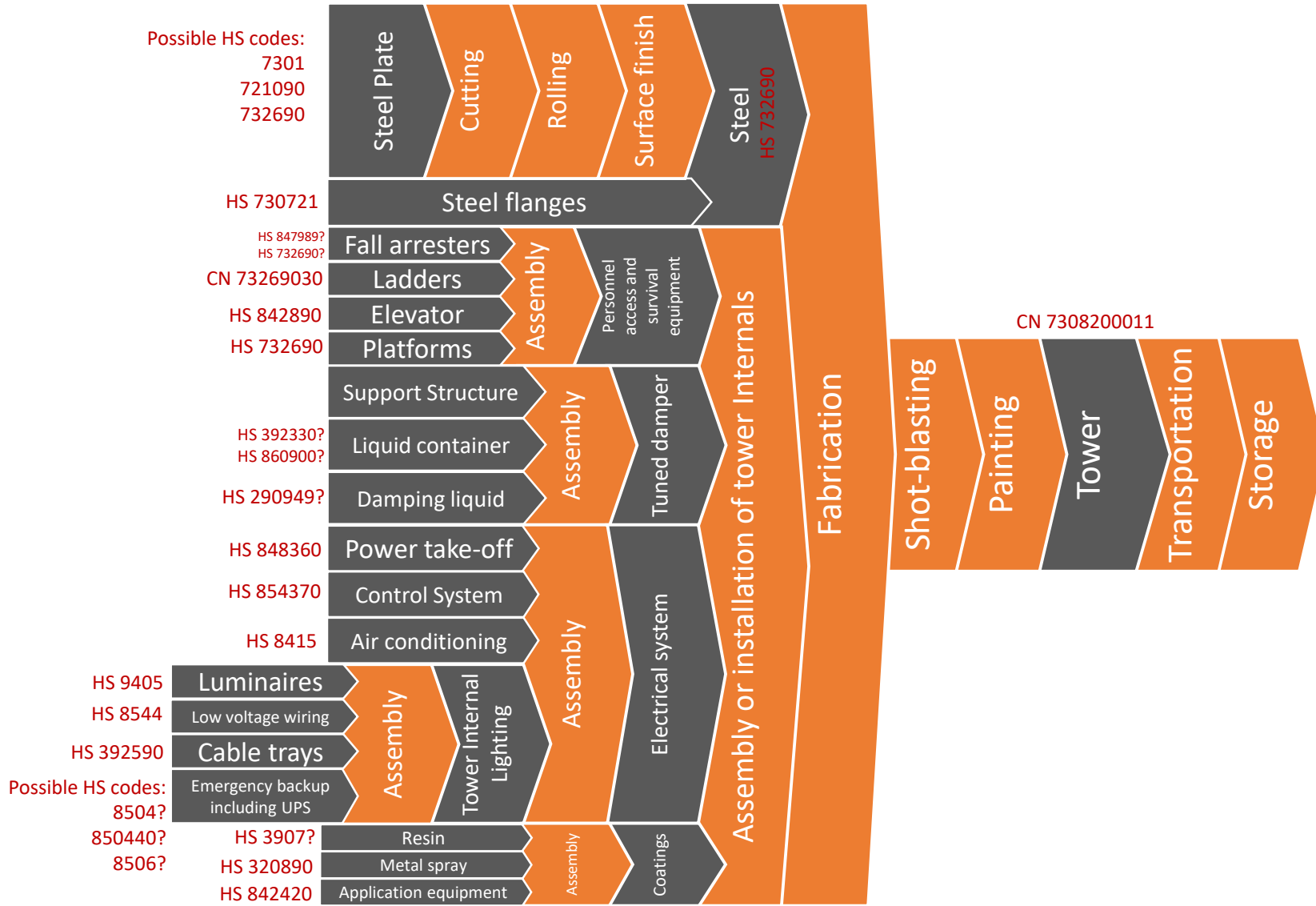
- **Pales:** capturent l'énergie du vent et transmettent le couple et autres charges indésirables à la chaîne dynamique et au reste de la turbine.
- **Moyeu:** relie les pales à l'arbre principal.
- **Paliers de pales:** permettent l'ajustement de l'angle de calage des pales pour contrôler la puissance de sortie de la turbine, réduire au minimum les charges et démarrer/arrêter la turbine selon qu'il est nécessaire.
- **Système de calage:** ajuste l'angle de calage des pales pour contrôler la puissance de sortie de la turbine, réduire au minimum les charges et démarrer/arrêter la turbine selon qu'il est nécessaire.
- **Nez de rotor:** offre une protection environnementale à l'ensemble du moyeu et permet au personnel d'entretien d'accéder au moyeu et aux pales.
- **Systèmes auxiliaires du rotor:** peuvent être intégrés pour lubrifier les paliers et faciliter la surveillance de l'état des systèmes et fournir des données de contrôle avancées.
- **Composants fabriqués en acier:** souvent nécessaires pour renforcer le support des paliers de pales et relier les vérins hydrauliques du système de calage.



### I.2.3. Mât

Le mât est généralement une structure tubulaire en acier qui supporte la nacelle. Il donne également accès à la nacelle et abrite l'équipement électrique et de contrôle. Il sert aussi à protéger et stocker l'équipement de sécurité.

- **Acier:** matériaux le plus couramment utilisés pour la fabrication des mâts.
- **Internes de tour:** fournit des moyens d'accès, d'éclairage et de sécurité pour le personnel d'entretien et de service, ainsi que des moyens de transférer des outils à main et composants vers la nacelle. Elle supporte les câbles de contrôle et câbles électriques et abrite l'appareillage de commutation, les transformateurs et autres éléments de la prise de force. Elle permet aussi de stocker l'équipement de survie. Un amortisseur accordé peut être situé dans la partie supérieure du mât pour aider à amortir les résonnances du mât et de la structure.



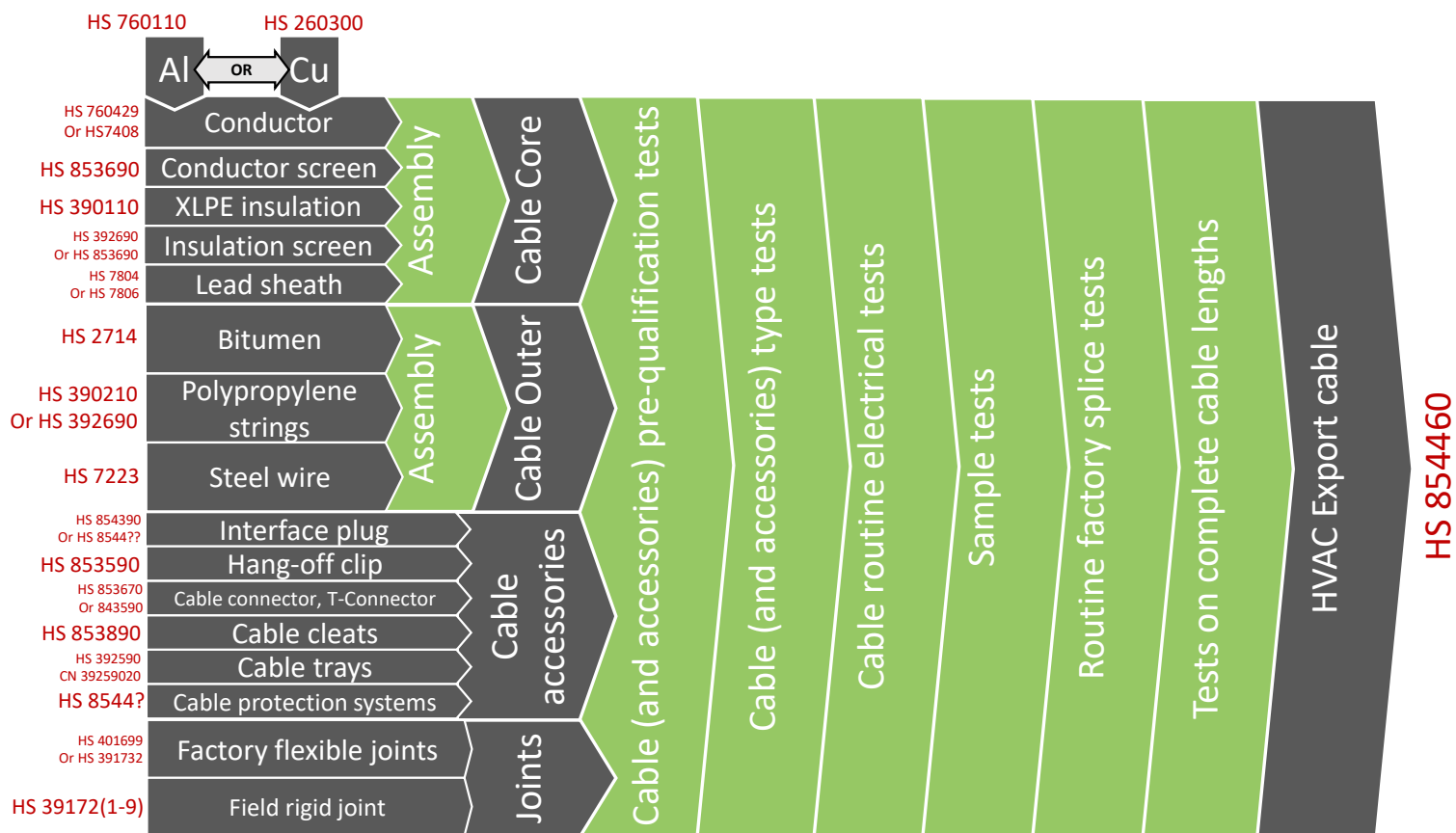


### I.3. Partie classique de la centrale

La partie classique de la centrale inclut tous les composants de la ferme éolienne à l'exception des turbines, y compris les actifs de transport construits directement en relation avec la ferme éolienne.

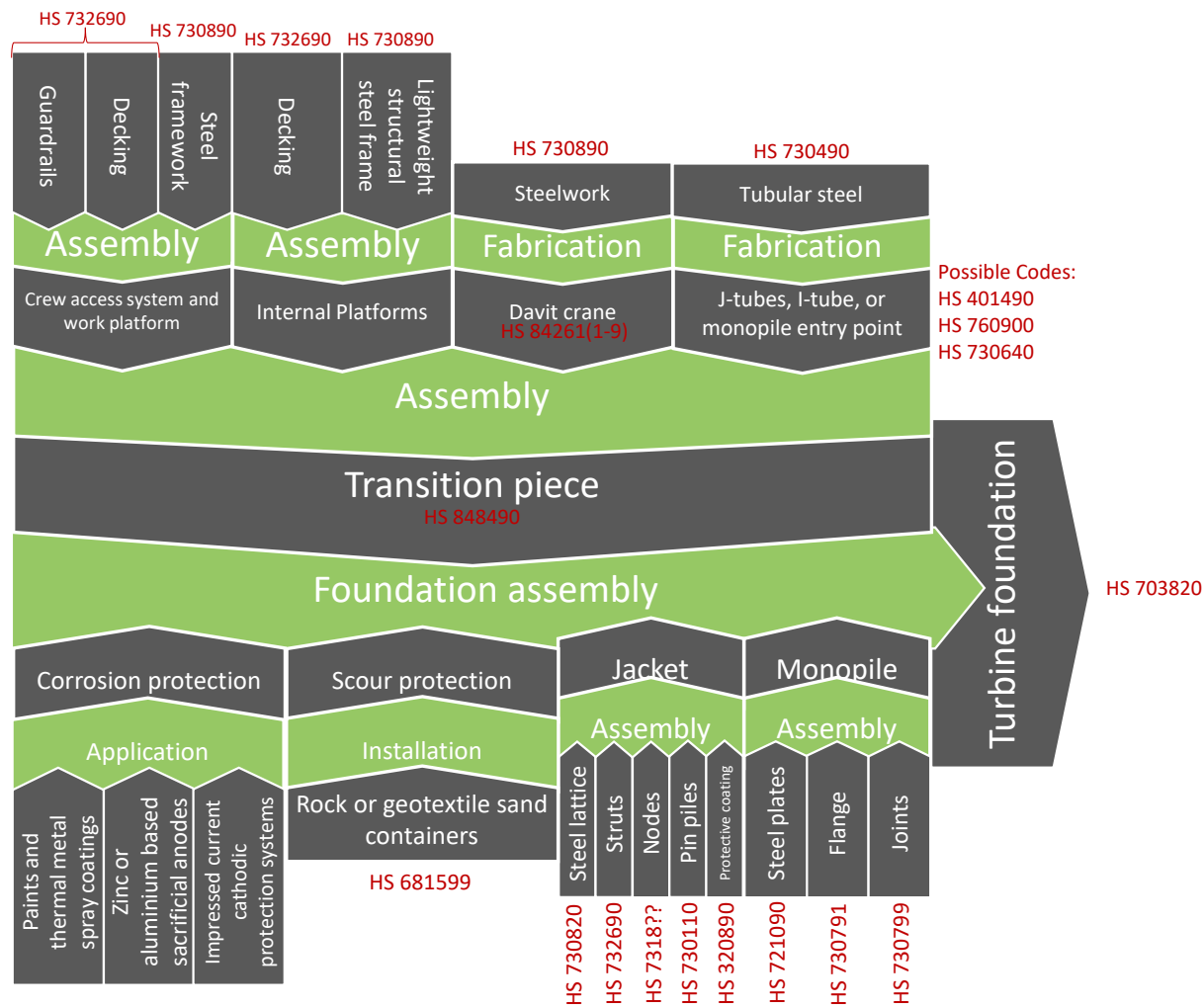
#### I.3.1. Câbles

Les câbles délivrent la puissance de sortie des turbines éoliennes au réseau.



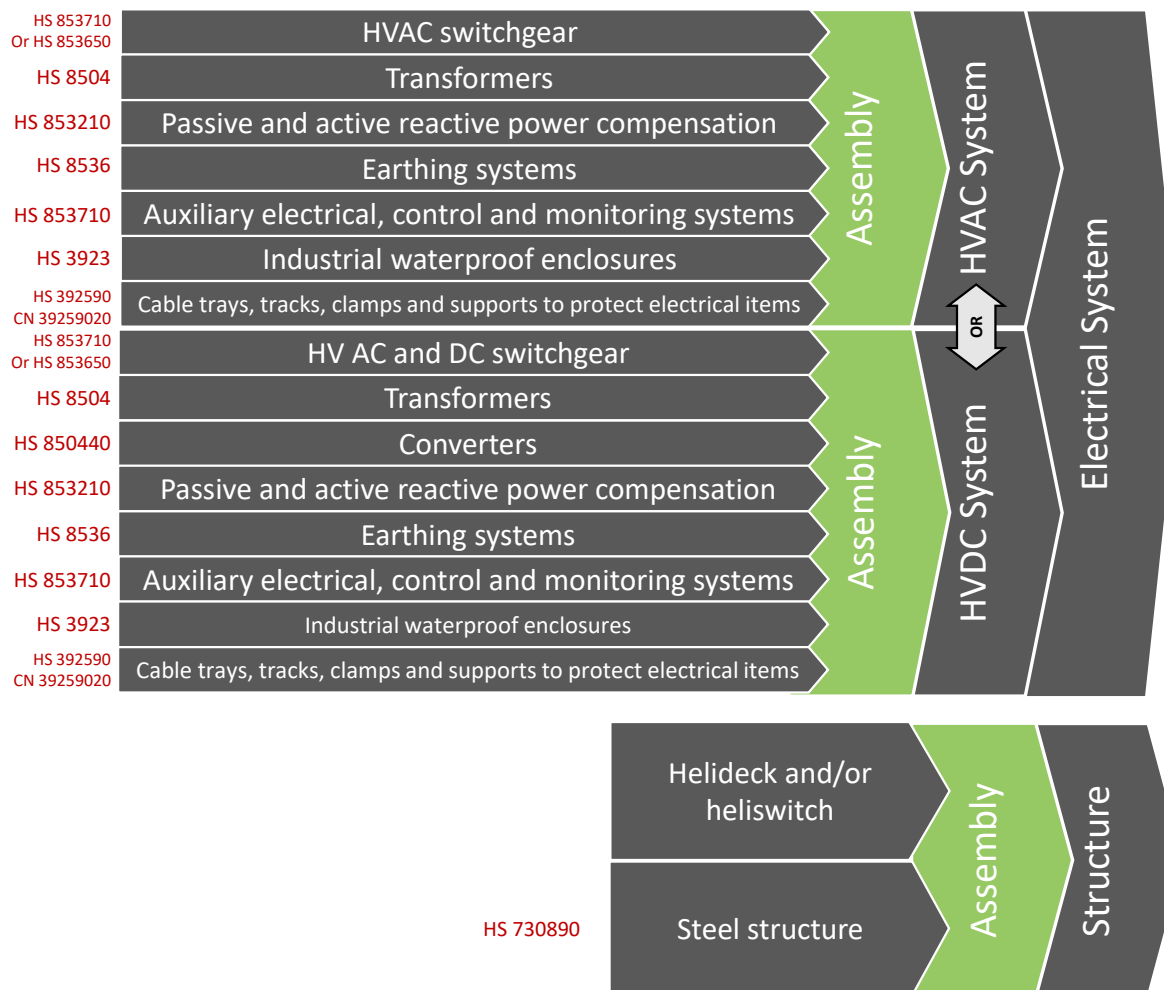
### I.3.2. Fondations de la turbine

Les fondations supportent la turbine éolienne et transmettent les charges de la turbine au niveau d'interface de la tour (en général environ 20 m au-dessus du niveau de l'eau) aux fonds marins où les charges sont absorbées. Les fondations contiennent aussi le conduit pour les câbles électriques et permettent l'accès du personnel depuis les navires.



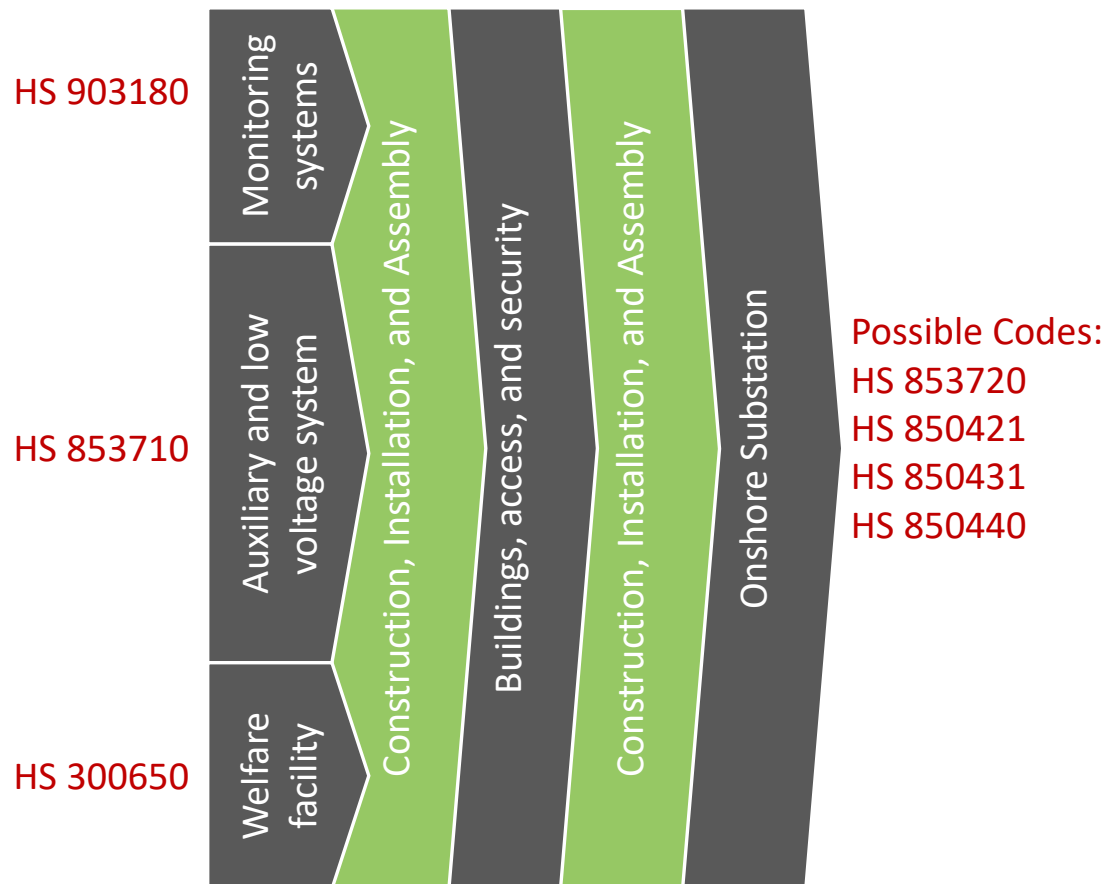
### I.3.3. Sous-stations en mer

Les sous-stations en mer servent à réduire les pertes électriques avant l'acheminement de l'électricité vers le rivage. Cela est réalisé en augmentant le voltage, et dans certains cas, en convertissant le courant alternatif (AC) en courant continu(CC). Les sous-stations contiennent aussi des équipements permettant de gérer la consommation d'électricité réactive du système électrique, y compris les effets capacitifs des câbles d'export.



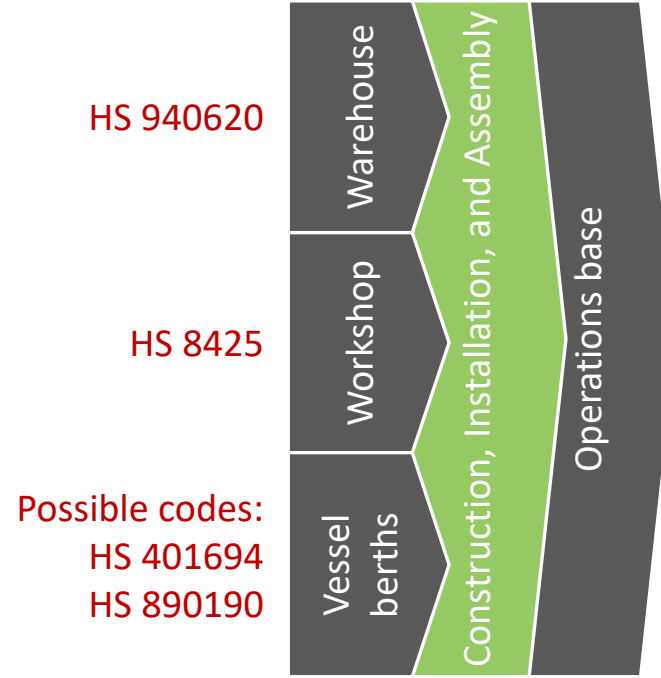
### I.3.4. Sous-station terrestre

La sous-station terrestre transforme l'électricité en tension de réseau, par exemple 400 kV. Dans les cas où un câble d'export pour CC haute tension est utilisé, la sous-station convertira le courant alternatif triphasé.



### I.3.5. Base d'exploitation

La base d'exploitation permet l'exploitation, la maintenance et l'entretien de la ferme éolienne.

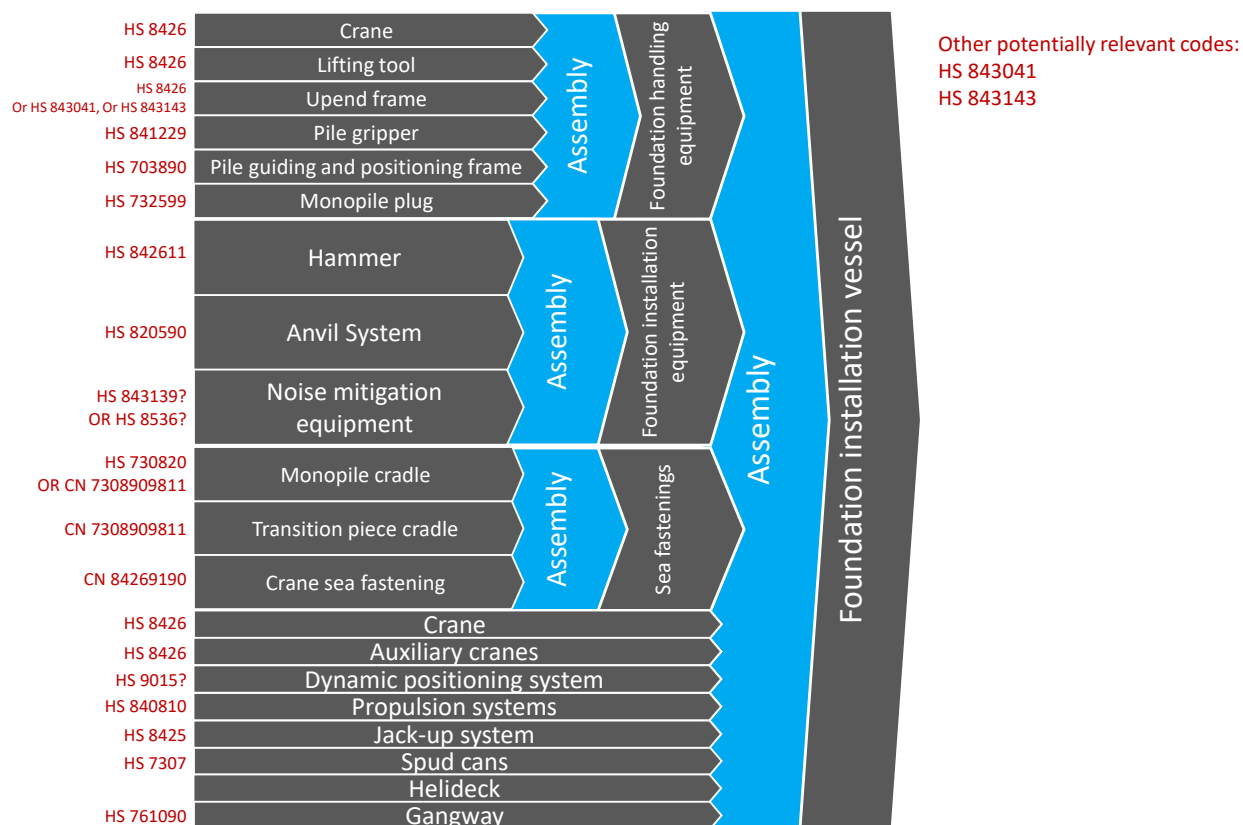


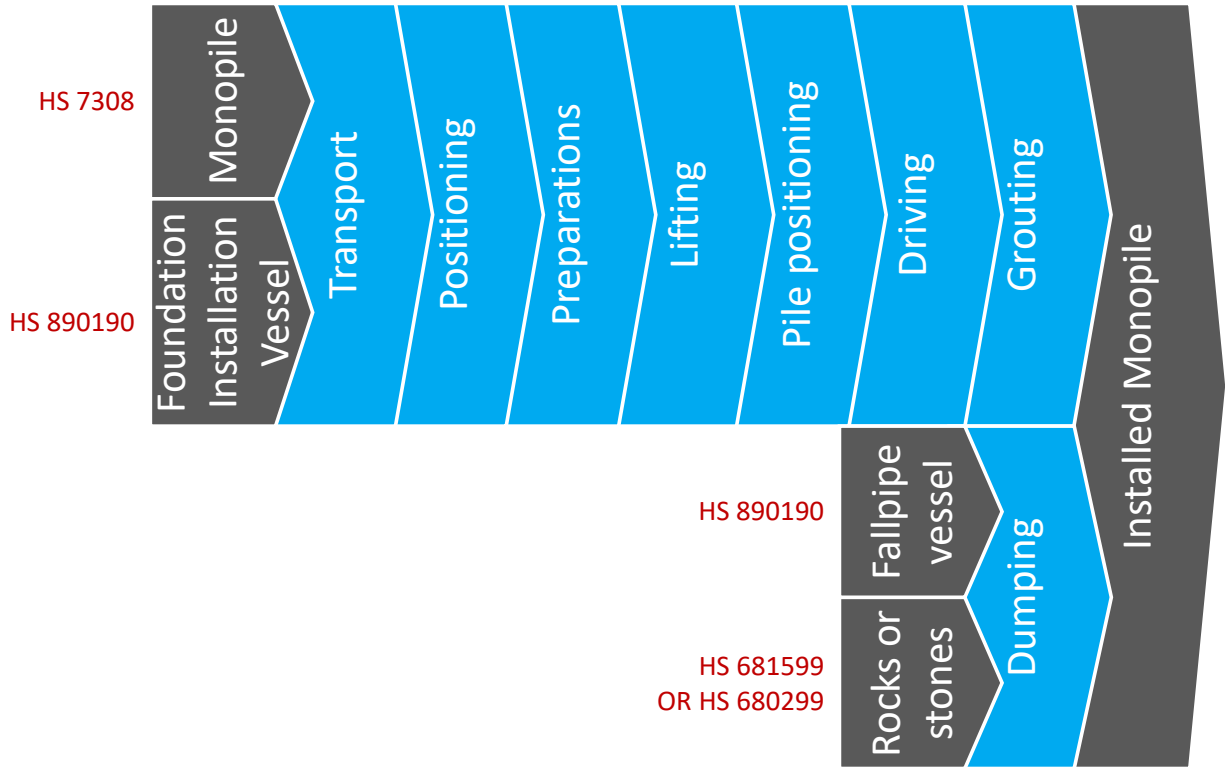
## I.4. Installation et mise en service

Comprennent l'installation et la mise en service de la partie classique de la centrale et des turbines, y compris des activités sur terre et en mer. S'agissant des activités en mer, le processus débute par le transport des composants en vue de la fabrication depuis le port le plus proche vers le port de construction (I.4.7) ou directement vers le site. Les activités sont achevées à la date d'achèvement des travaux de construction de la ferme éolienne, moment où les actifs sont remis aux équipes d'exploitation.

### I.4.1. Installation des fondations

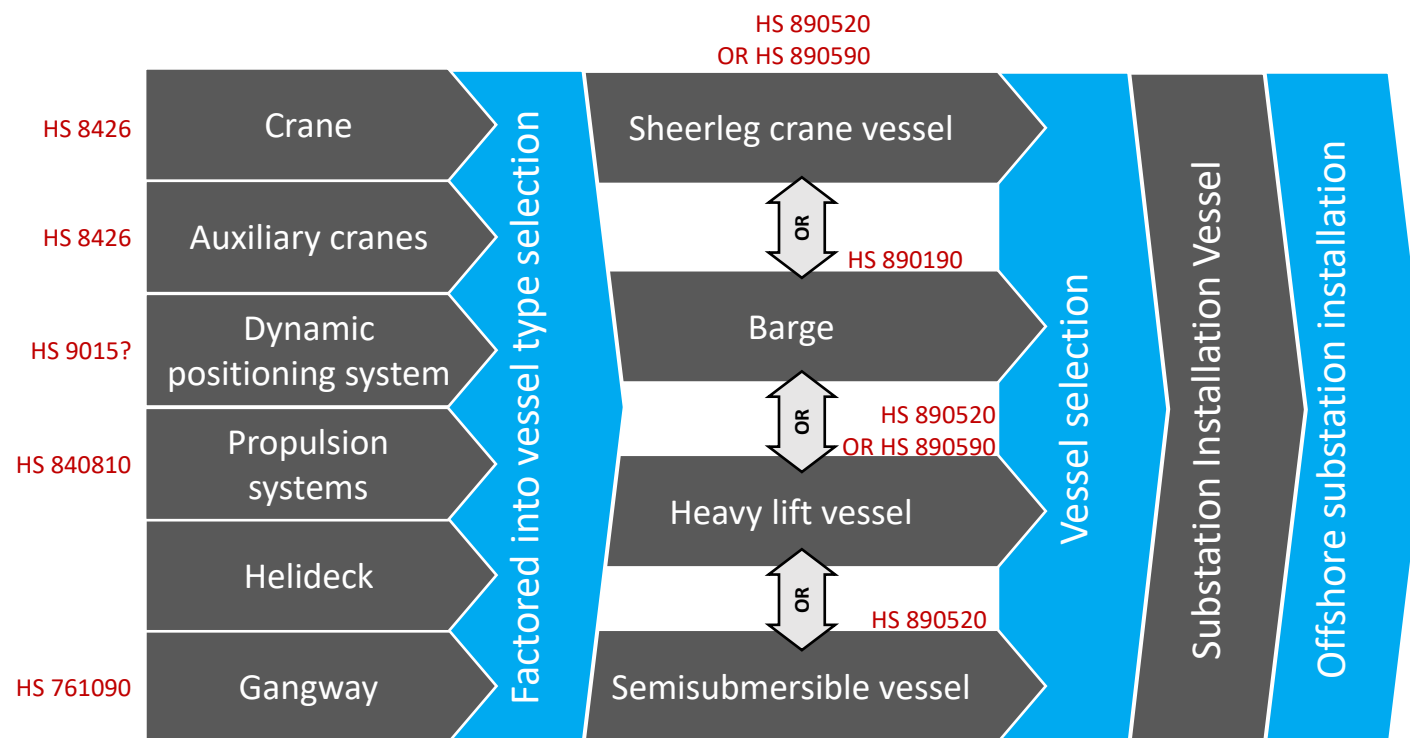
L'installation des fondations comprend le transport et la fixation des fondations à leur emplacement.





### I.4.2. Installation de la sous-station en mer

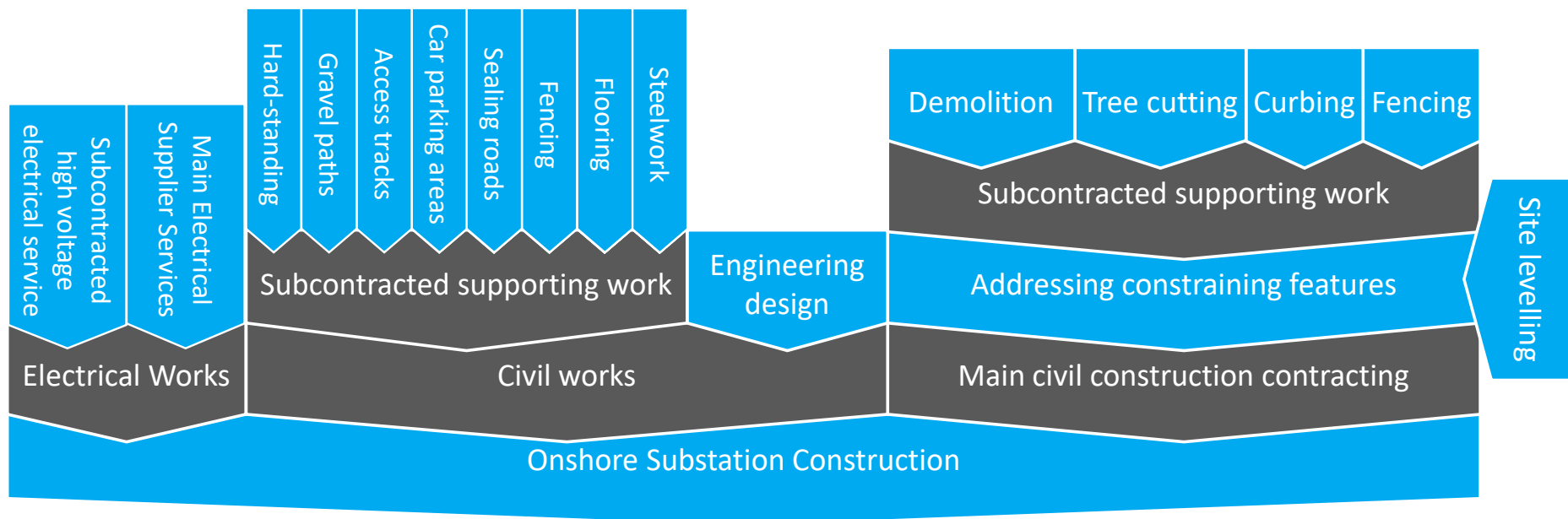
L'installation de la sous-station en mer comprend le transfert de la sous-station depuis son site de fabrication à quai et l'installation sur les fondations.





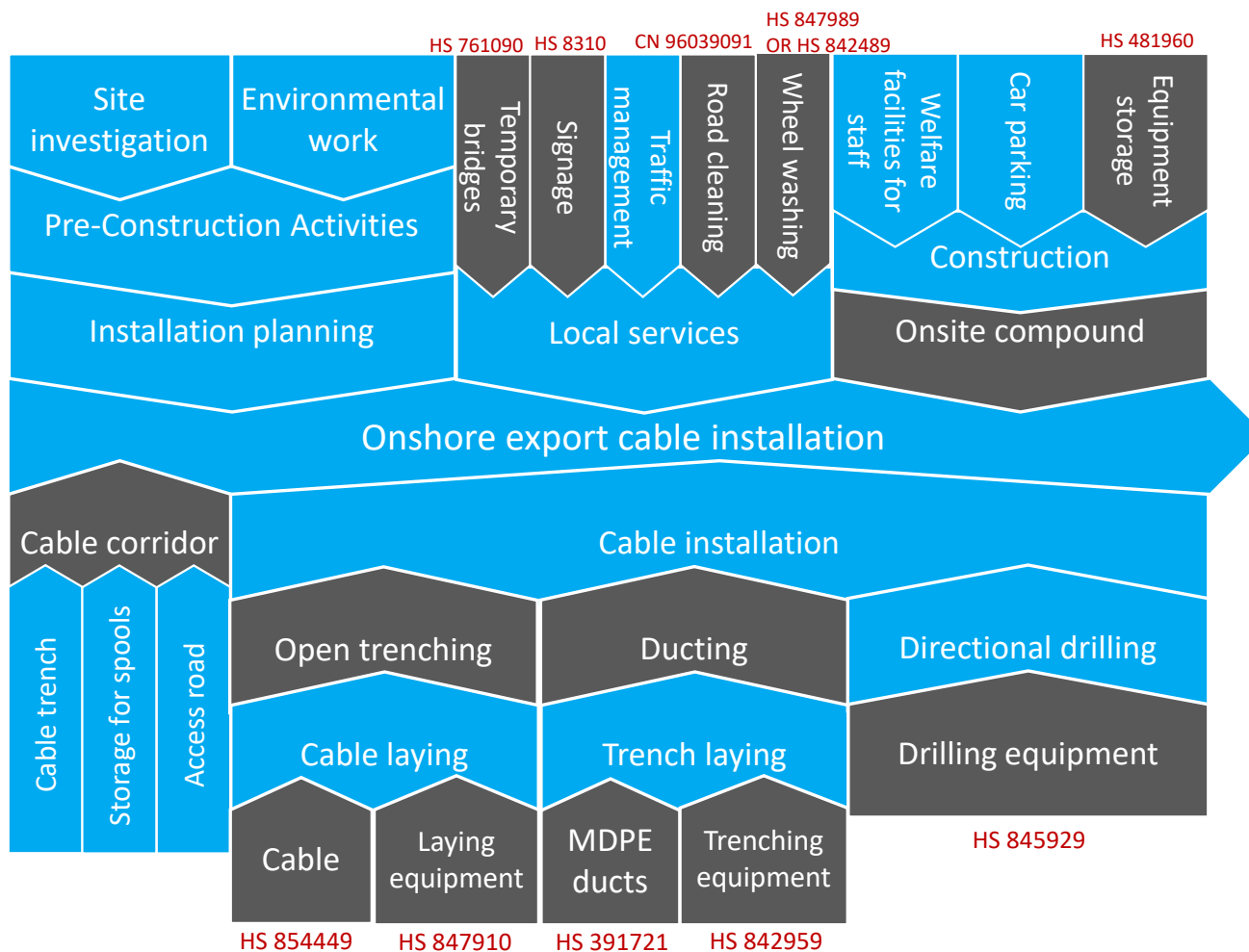
### I.4.3. Construction de la sous-station terrestre

La construction de la sous-station terrestre comprend la construction de l'infrastructure et l'installation de l'équipement électrique.



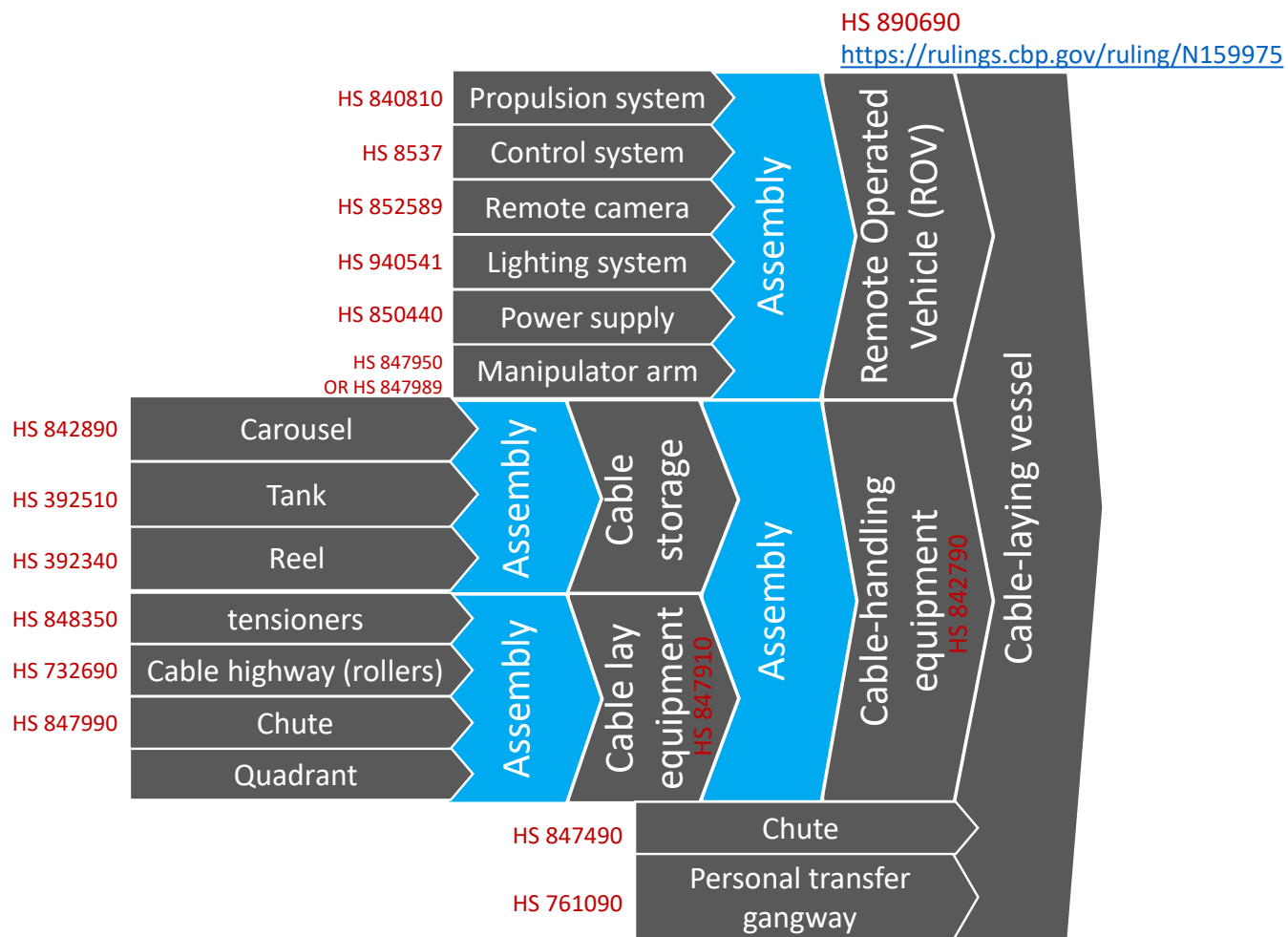
### I.4.4. Installation du câble d'export terrestre

L'installation du câble d'export terrestre achève la connexion entre le câble d'export en mer et la sous-station terrestre.



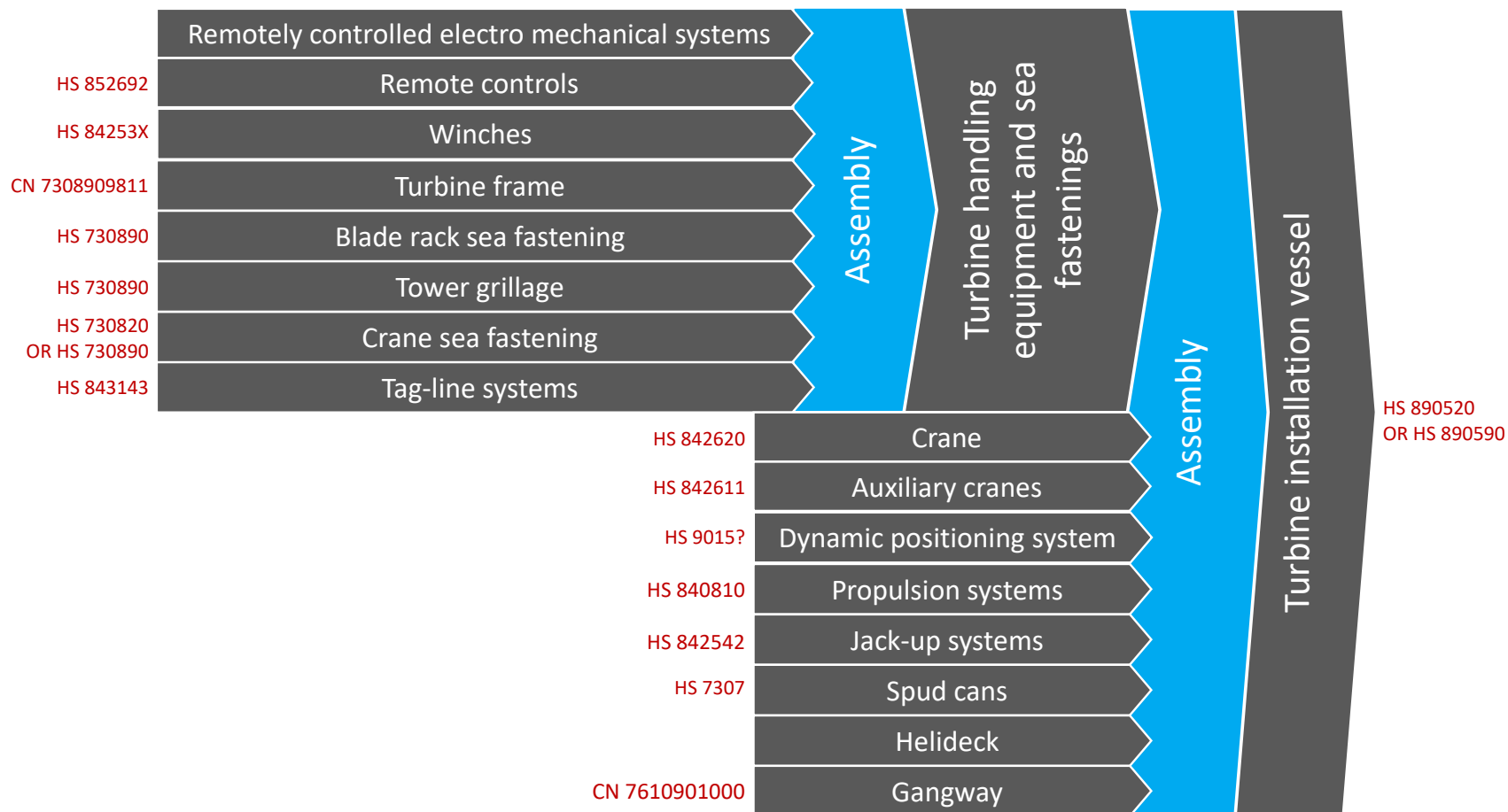
### I.4.5. Installation du câble en mer

L'installation des câbles interéoliennes permet de relier les turbines éoliennes à la sous-station en mer tandis que l'installation du câble d'export permet la connexion entre la sous-station terrestre et la sous-station en mer.



### I.4.6. Installation de la turbine

L'installation de la turbine correspond au transport des composants de la turbine depuis le port de construction et à l'installation des composants de la turbine sur les fondations.



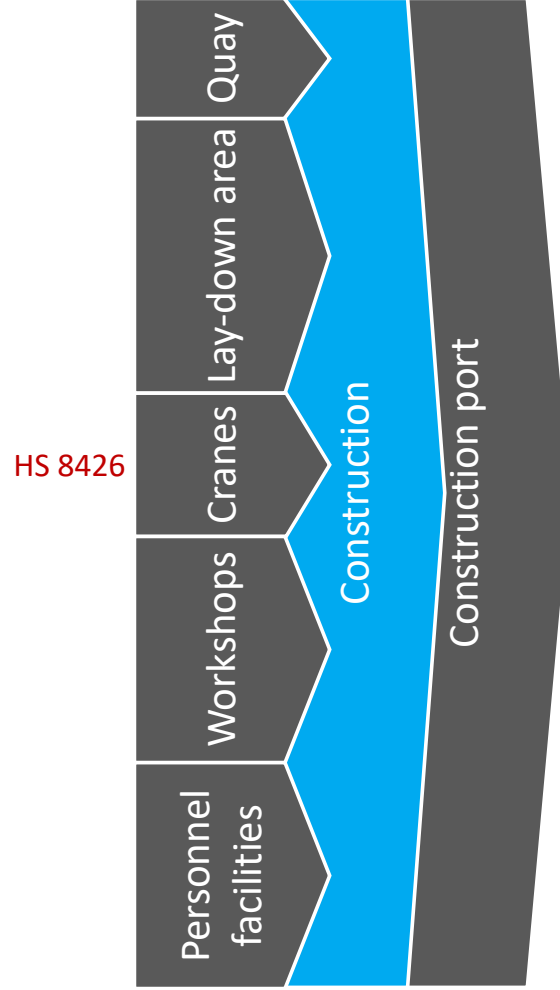
#### I.4.6.1. Mise en service

Après l'installation, la mise en service est le processus consistant à achever l'assemblage mécanique et électrique dans des conditions de sécurité, à mettre en marche tous les systèmes et à traiter la liste des travaux non conformes avant la mise à disposition.



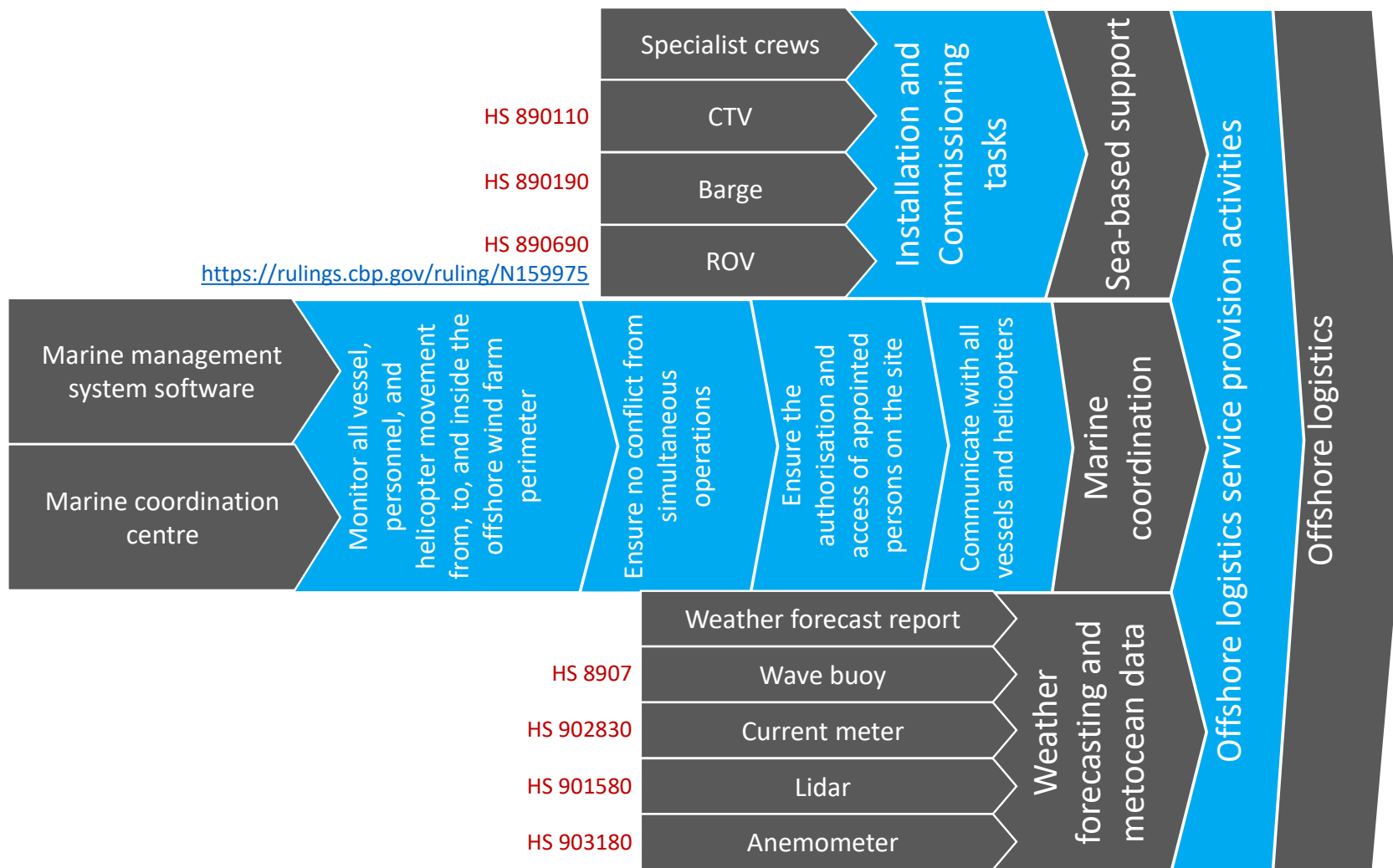
### I.4.7. Port de construction

Le port de construction est la base pour le pré-assemblage et la construction de la ferme éolienne. Des endroits distincts peuvent être utilisés pour fournir les fondations et les turbines éoliennes à une ferme éolienne. La localisation est un aspect essentiel car elle a une incidence sur le délai de transport et l'importance des fenêtres météo.



### I.4.8. Services de logistique en mer

Les services de logistique en mer comprennent la coordination et l'appui aux activités d'installation et de mise en service en mer.



## I.5. Exploitation, maintenance et entretien

L'exploitation, la maintenance et l'entretien sont des fonctions combinées qui, pendant la durée de vie de la ferme éolienne, appuient l'exploitation continue des turbines éoliennes, de la partie classique de la centrale et des actifs de transport associés. Ces activités débutent officiellement à la date d'achèvement des travaux de construction de la ferme éolienne.

L'essentiel de ces activités pendant la phase d'exploitation consiste à assurer une exploitation sûre, à maintenir l'intégrité physique des actifs de la ferme éolienne et à optimiser la production d'électricité.

### I.5.1. Activités d'exploitation

Les activités d'exploitation concernent la gestion de l'actif telle que la santé et la sécurité, le contrôle et l'exploitation de l'actif, aussi bien des turbines éoliennes et de la partie classique de la centrale, la surveillance du site à distance, la surveillance environnementale, les ventes d'électricité, l'administration, la supervision des activités en mer, l'exploitation des navires et des infrastructures à quai et les tâches d'appui.

#### I.5.1.1. Formation

La formation garantit que les membres du personnel chargés de l'exploitation, de la maintenance et de l'entretien sont qualifiés pour remplir les fonctions que demandent la ferme éolienne tout en assurant leur propre sécurité et celle de leurs collègues.





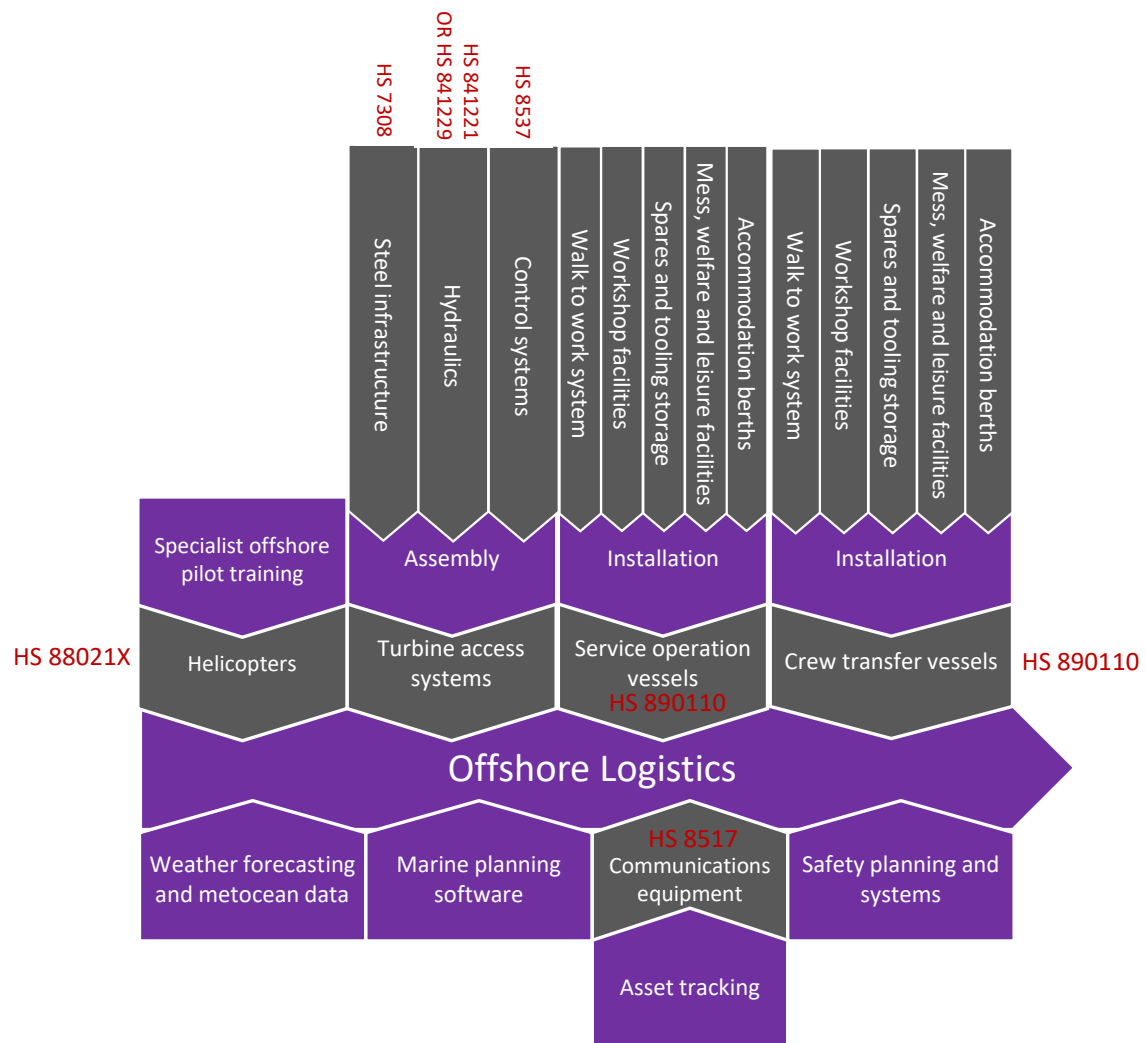
### I.5.1.2. Services de logistique terrestre

Les services de logistique terrestre comprennent un appui et des ressources destinés aux activités de la ferme éolienne, y compris des infrastructures de quai, des services d'entreposage, des services de logistique et des services de planification opérationnelle.



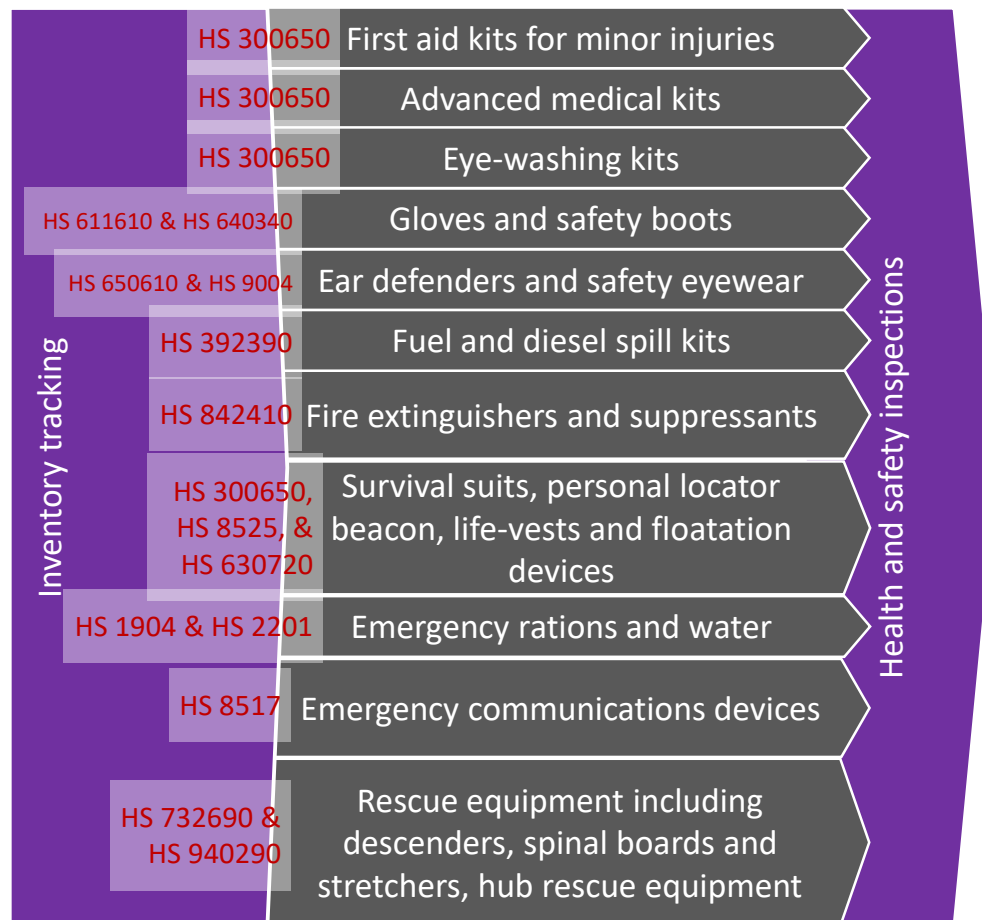
### I.5.1.3. Services de logistique en mer

Les services de logistique en mer comprennent la gestion et la coordination de toutes les activités et opérations basées en mer.



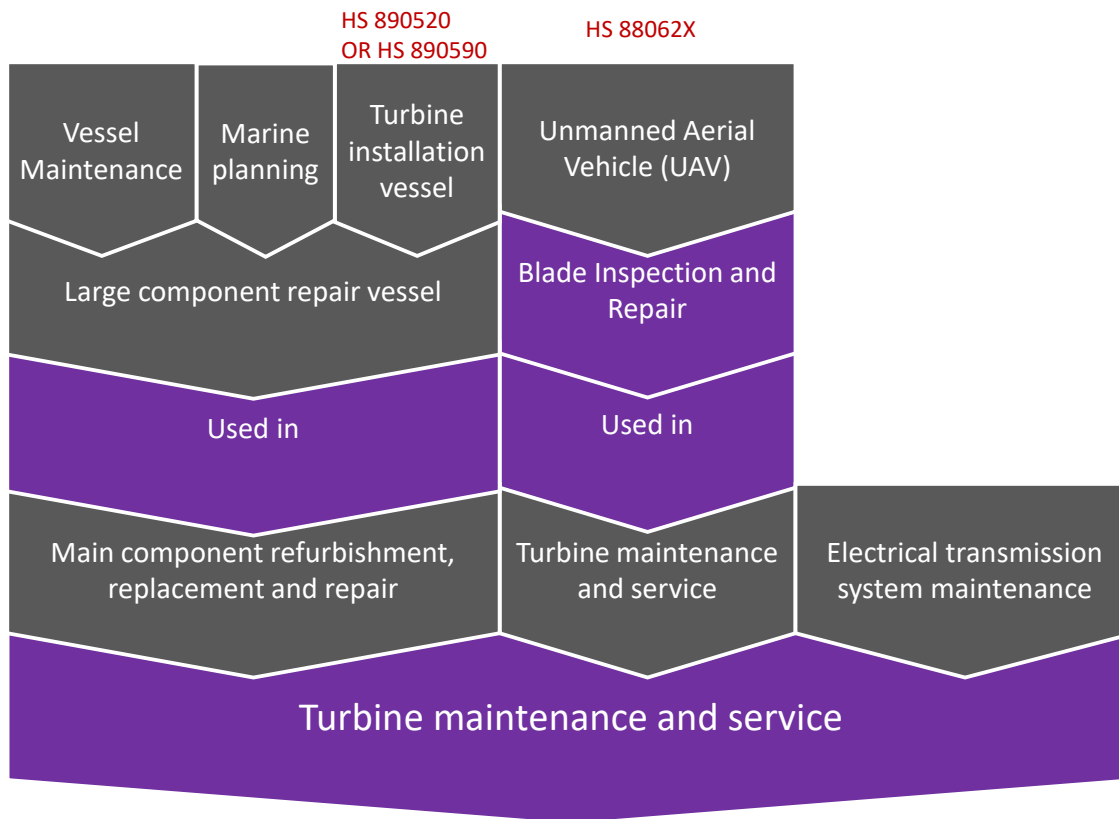
#### I.5.1.4. Inspections en matière de santé et de sécurité

Les inspections en matière de santé et de sécurité sont des activités essentielles pour assurer le fonctionnement continu et sûr des infrastructures et systèmes de la ferme éolienne et respecter les obligations statutaires d'inspecter régulièrement les systèmes de sécurité essentiels.



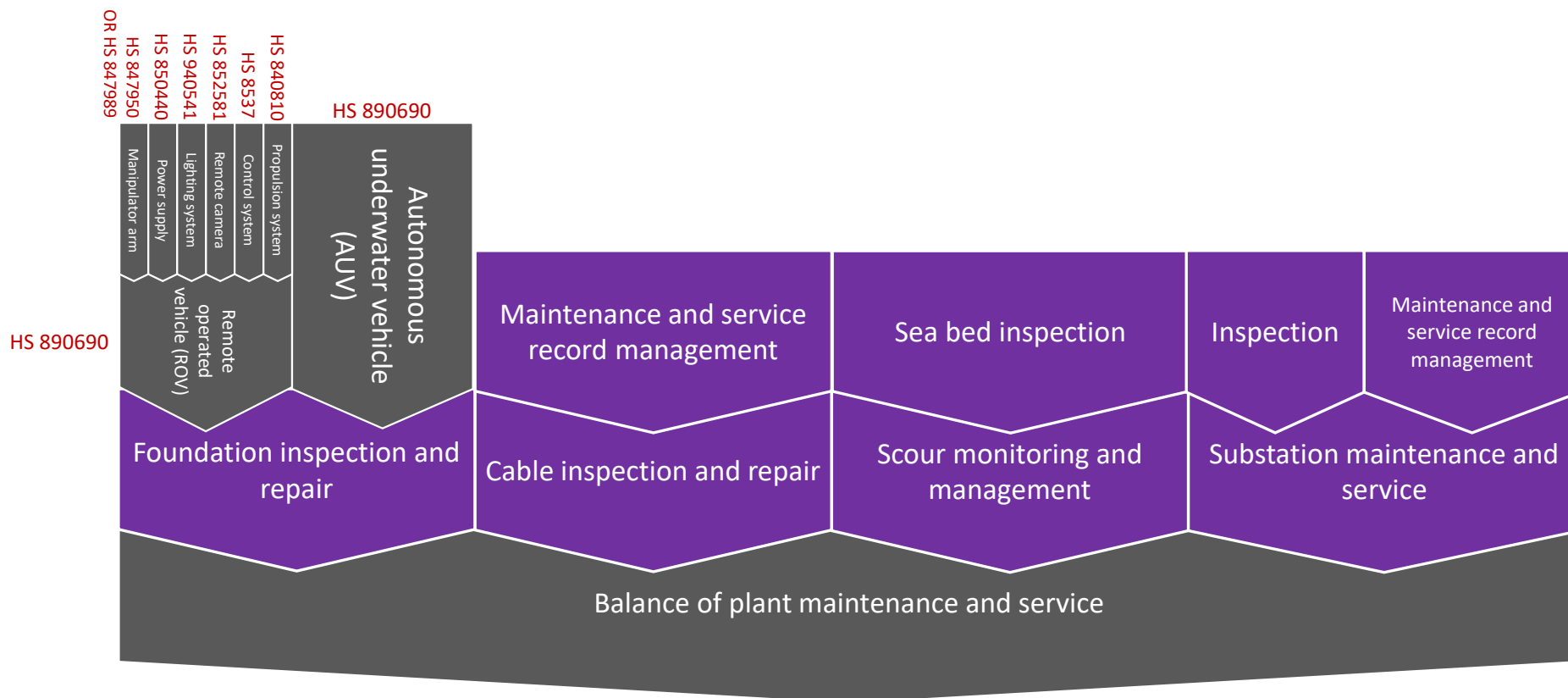
### I.5.2. Maintenance et entretien

Les activités de maintenance et d'entretien garantissent l'intégrité opérationnelle continue des turbines éoliennes et de la partie classique de la centrale associée, y compris la maintenance planifiée et l'entretien non planifié en réponse à des erreurs, de manière proactive ou réactive.



### I.5.3. Maintenance et entretien de la partie classique de la centrale

La maintenance et l'entretien de la partie classique de la centrale vise à garantir l'intégrité opérationnelle et la fiabilité de tous les actifs de la ferme éolienne autres que les turbines éoliennes, y compris la ou les sous-stations, les fondations, les câbles interéoliennes, les câbles d'export, les systèmes de protection contre l'affouillement et la corrosion.

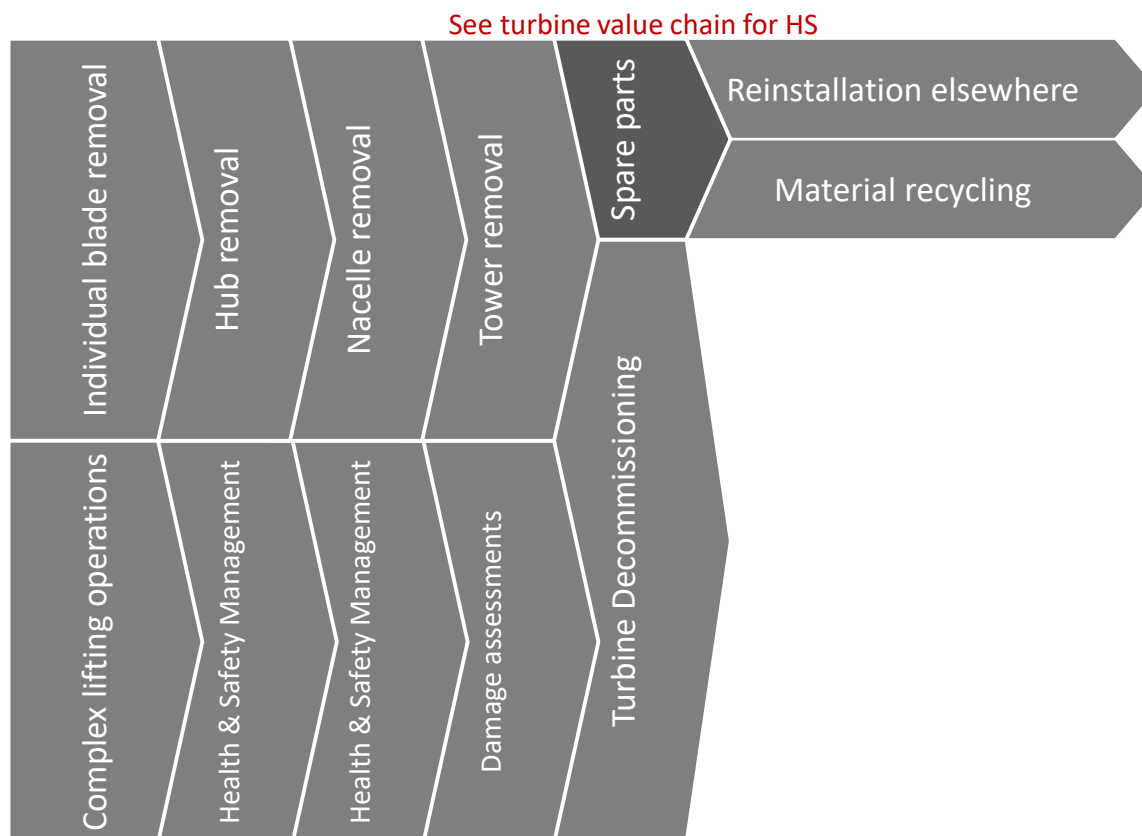


## I.6. Démantèlement

Retrait ou mise en sécurité des infrastructures en mer à la fin de leur durée de vie utile et élimination des équipements.

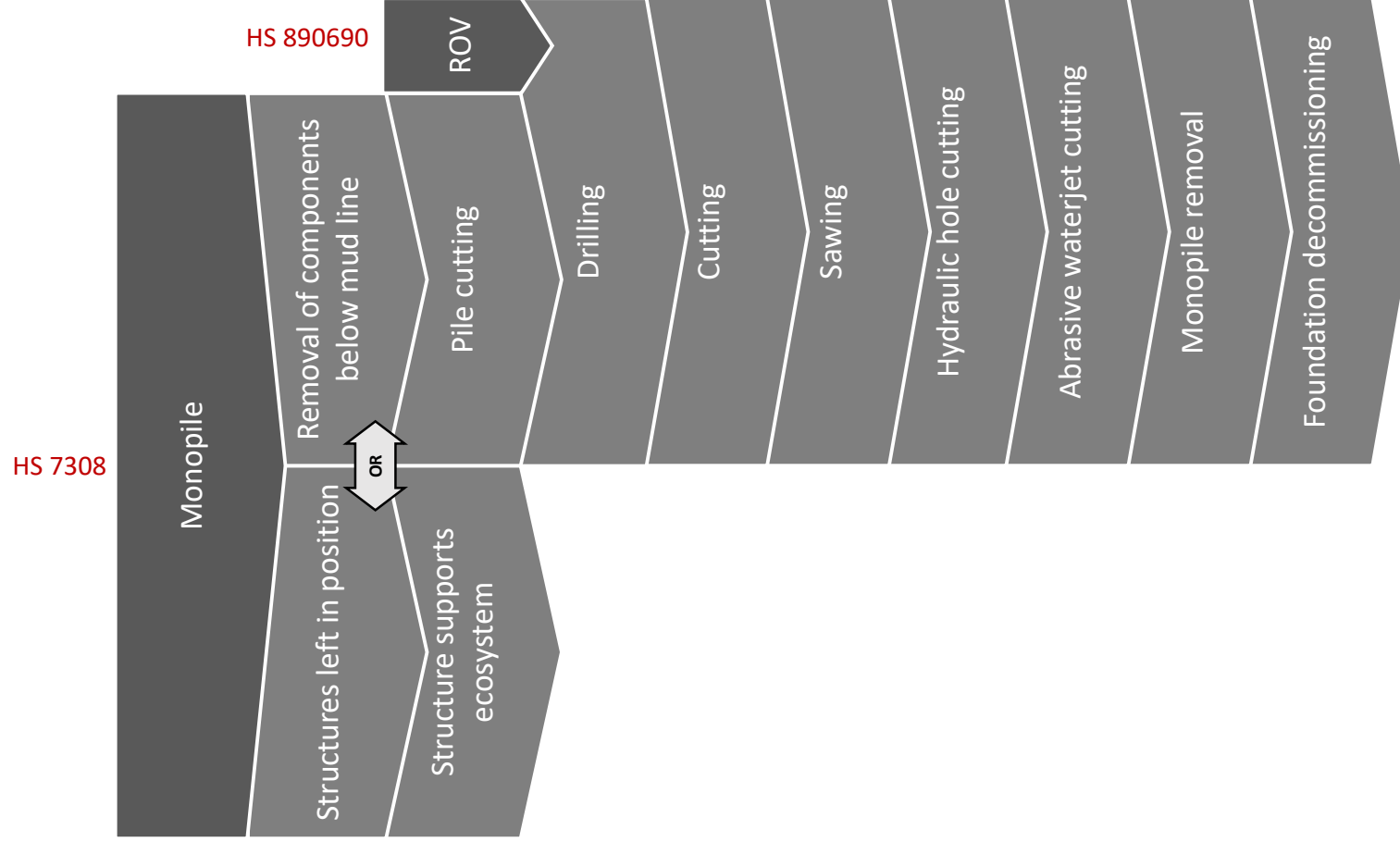
### I.6.1. Démantèlement de la turbine

Retrait complet et envoi à terre du rotor, de la nacelle et du mât de la turbine.



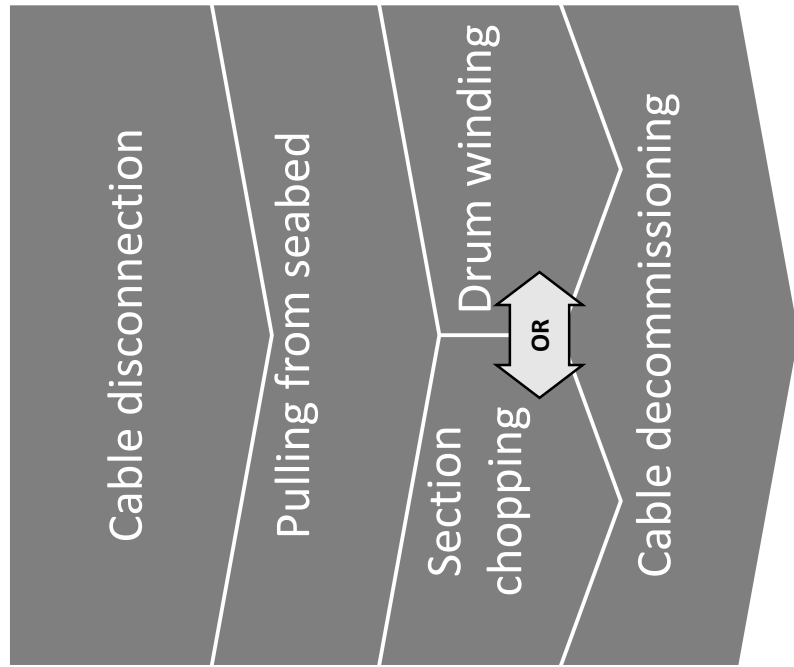
### I.6.2. Démantèlement des fondations

Retrait et envoi à terre ou découpage au niveau des fonds marins et mise en sécurité.



### I.6.3. Démantèlement des câbles

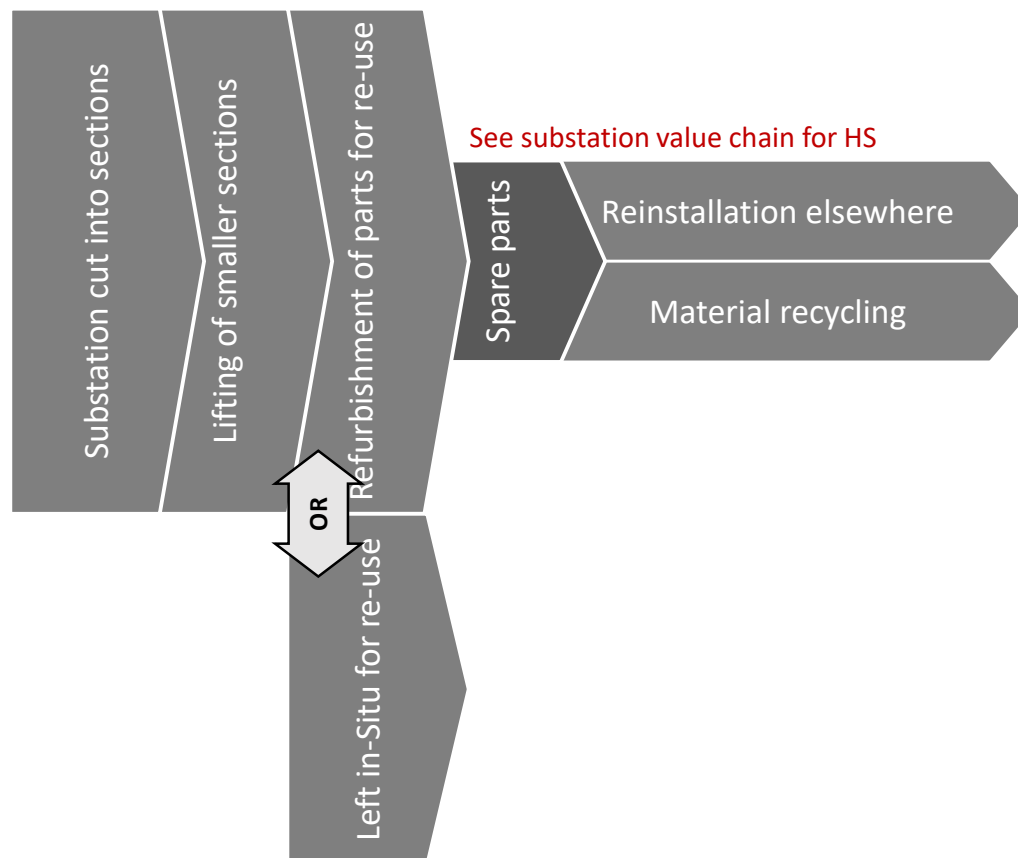
Retrait et envoi à terre.





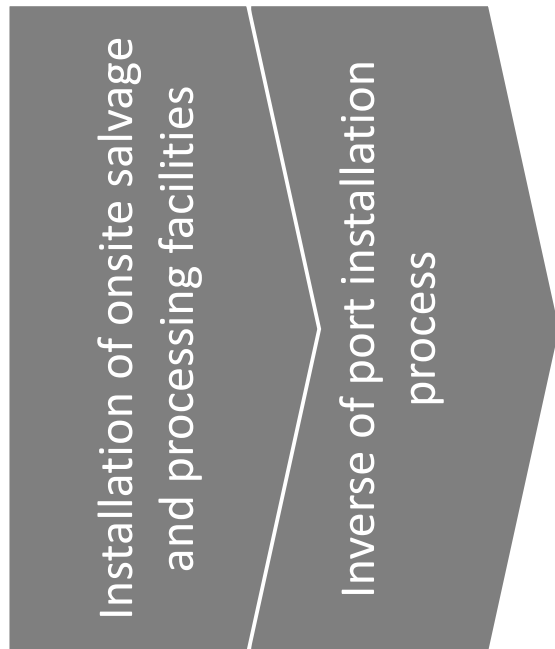
#### I.6.4. Démantèlement de la sous-station

Des plans de démantèlement sont généralement requis pour obtenir l'autorisation de construire. Ces derniers peuvent définir des prescriptions spécifiques pour le retrait des composants en-dessous de la ligne de boue qui, pour leur part, peuvent orienter le choix ou la conception des fondations et des méthodes d'installation de la sous-station.



### I.6.5. Port de démantèlement

Port dans lequel les équipements retirés sont déchargés et rassemblés pour le stade de traitement suivant.



### I.6.6. Réutilisation, recyclage ou élimination

Une fois que les équipements sont à terre, il est intéressant d'en tirer la valeur maximale grâce à la réutilisation, au recyclage ou à l'élimination.

