

# Mémoire en réponse à l'avis des services (Procédure CUDPM)

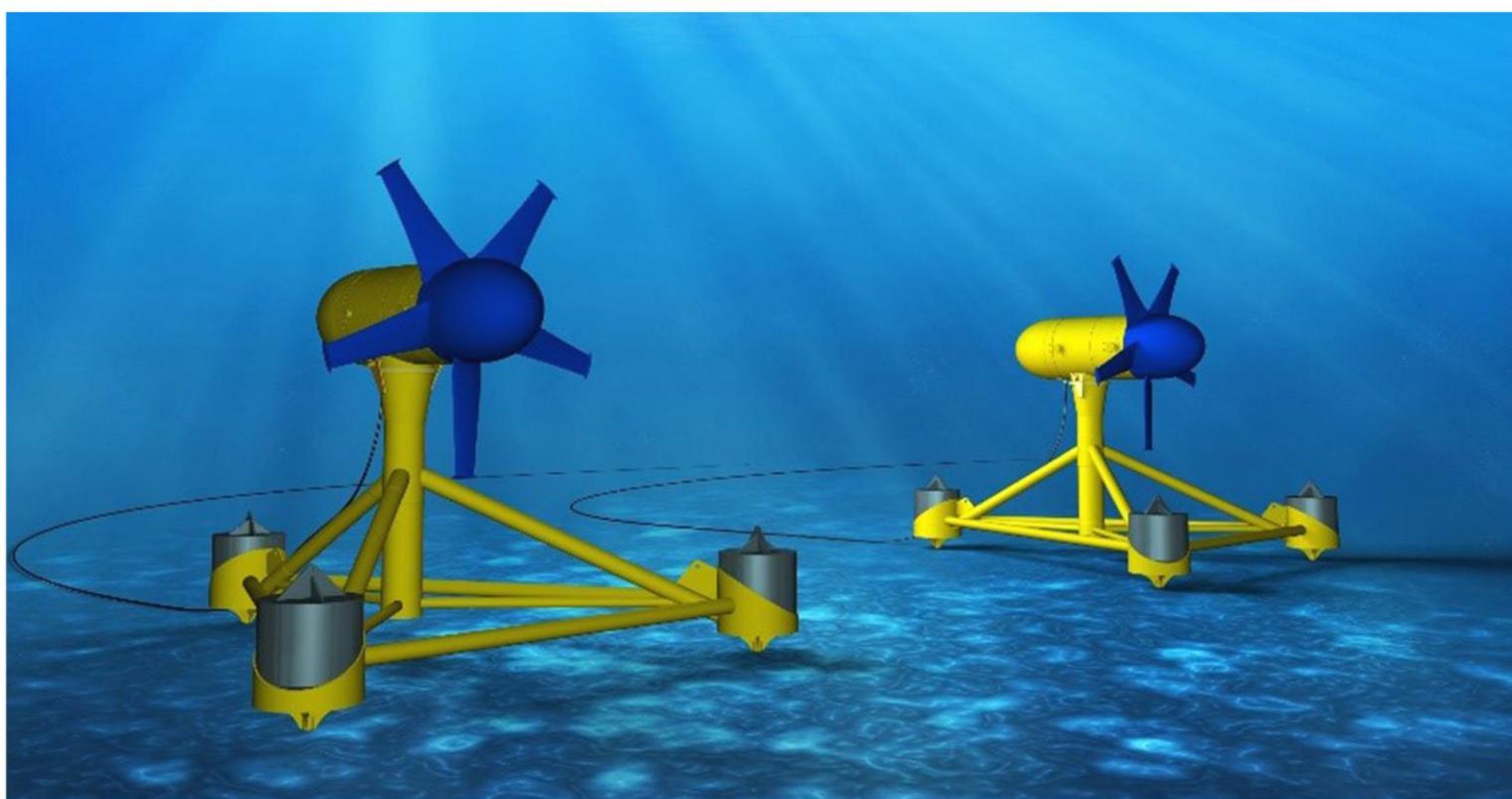


TABLE DES MATIÈRES

**MEMOIRE EN REPONSE A L'AVIS DES SERVICES (PROCEDURE CUDPM) ..... 1**

1	CONTEXTE.....	3
2	RÉPONSES À L'AVIS DU PNMI .....	4
2.1	<i>Recommandation n°1 (Impacts socio-économiques).....</i>	4
2.2	<i>Réponse n°1 du porteur de projet (Impacts socio-économiques).....</i>	4
2.3	<i>Recommandation n°2 (Comité de suivi).....</i>	5
2.4	<i>Réponse n°2 du porteur de projet (Comité de suivi) .....</i>	5
3	RÉPONSES À L'AVIS DE LA PRÉFECTURE MARITIME.....	6
3.1	<i>Recommandation n°3 (Anodes sacrificielles) .....</i>	6
3.2	<i>Réponse n°3 du porteur de projet (Anodes sacrificielles).....</i>	6
3.3	<i>Recommandation n°4 (Mesures ERC) .....</i>	16
3.4	<i>Réponse n°4 du porteur de projet (Mesures ERC) .....</i>	16
4	RÉPONSES A L'AVIS DE LA DDTM-DML.....	17
4.1	<i>Recommandations n°5 dans l'avis .....</i>	17
4.2	<i>Réponse n°5 du porteur de projet .....</i>	17

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Composition chimique des anodes d'aluminium, exprimée en fraction massique en % (source Ampère).....	9
Tableau 2 :	Teneurs en aluminium dans les différents milieux (source FOREGS).....	11
Tableau 3 :	Émissions d'aluminium et de ses composés (source IREP) .....	11
Tableau 4 :	PNEC des 3 métaux ciblés (source ECHA).....	15
Tableau 5 :	Flux en métaux sur la durée de vie de 15 ans des anodes de CB4 et ASM3.....	15
Tableau 6 :	Volume d'influence journalier.....	16

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Principe de la protection cathodique (source CEFRACOR).....	7
Figure 2 :	Phase de vie d'une anode (source Wood group Kenny) .....	8

## 1 CONTEXTE

---

Le projet PHARES (*Progressive Hybrid Architecture for Renewable Energy Solutions in Islands*), modèle énergétique hybride, est actuellement en développement sur l'île d'Ouessant. Composé de volets hydrolien, éolien, photovoltaïque et d'une capacité de stockage, il permet de répondre de manière cohérente à la demande en électricité de l'île, tout au long de l'année. En effet, la production éolienne saisonnière est en phase avec la consommation générale de l'île, les pics de consommation, en hiver, coïncidant avec la période de production maximale de l'éolien. Le solaire permet de répondre au différentiel entre la demande diurne et nocturne principalement l'été avec l'afflux touristique. L'hydrolien, grâce à sa prédictibilité, pourra assurer une fourniture de base tout au long de l'année, tandis que le stockage permettra de réguler et stabiliser le système réseau, d'écarter les pics et creux de production et de lisser les fluctuations de production.

Ainsi le projet PHARES se décompose comme suit :

- ▶ Deux hydroliennes Sabella D15 de 500 kW chacune ;
- ▶ Une éolienne de 900 kW ;
- ▶ Une puissance solaire de 500 kW (mix technologique entre conteneurs solaires, appelés également GEM, développés par Akuo Energy, serres photovoltaïques, et tuiles solaires en toiture) ;
- ▶ Une capacité de stockage de 2 MW / 2 MWh pilotée par EDF-SEI.

Le 9 mars 2020 la société PHARES a déposé aux services instructeurs un dossier de demande d'autorisation environnementale unique (DDAEU) et de demande de Concession pour l'Utilisation du Domaine Public Maritime (CUDPM) pour le volet hydrolien de PHARES.

Dans le cadre de l'instruction de la demande de Concession pour l'Utilisation du Domaine Public Maritime, les services et autres organismes impliqués ont été consultés par la Direction Départementale des Territoires et de la Mer – Délégation à la Mer et au Littoral (DDTM-DML). Trois avis ont été transmis à Akuo Energy ; il s'agit de :

- ▶ Avis du Parc Naturel Marin en Mer d'Iroise (PNMI)
- ▶ Avis du Préfet maritime du 9 juin 2020
- ▶ Avis de synthèse de la DDTM-DML du 15 juin 2020

Le présent mémoire correspond à la réponse à ces avis.

## 2 RÉPONSES À L'AVIS DU PNMI

---

### 2.1 Recommandation n°1 (Impacts socio-économiques)

---

le conseil de gestion souhaite un complément d'information sur l'impact de la mise en place, de l'entretien et du fonctionnement sur les activités socio-économiques.

### 2.2 Réponse n°1 du porteur de projet (Impacts socio-économiques)

---

Deux types d'impacts peuvent en théorie s'appliquer sur les activités socio-économiques de l'île. Il s'agit d'impacts négatifs ou positifs.

Dans la catégorie des impacts positifs, nous pouvons rappeler que l'ensemble du projet PHARES (partie terrestre, hors fabrication des fournitures) va avoir une durée de chantier d'environ 15 mois sur l'île. Ce chantier va nécessiter la mise en œuvre d'entreprises différentes, comme :

- ▶ Les fournisseurs des hydroliennes, des panneaux solaires, de l'éolienne
- ▶ Des entreprises de génie civil, d'électricité, une centrale à béton, grutier, pompistes, société de transports des composants et des engins, plongeurs...

Le chantier pourra facilement mobiliser une dizaine de personnes par entreprise. Les temps d'intervention sur site sur l'île d'Ouessant vont être variables pour les entreprises. Par exemple, le chantier va mobiliser 2 journées pour le pompiste, mais plusieurs semaines, voire mois, pour l'entreprise de Génie civil, Béton, Voiries et Réseaux Divers (VRD). Le personnel des entreprises qui interviendront va donc consommer sur place et faire travailler les commerçants, restaurants, voire hôtels sur place.

Dans la mesure du possible, Akuo travaillera par ordre de priorité :

1. Avec les entreprises d'Ouessant
2. Avec des entreprises du Finistère
3. Avec les autres entreprises

Il y aura donc nécessairement une partie de retombée économique positive et notable pour le secteur économique d'Ouessant et du Finistère.

Concernant les impacts négatifs socio-économiques, ils pourraient se regrouper uniquement autour d'un dérangement lié au déchargement des matériaux, composantes (éolienne et photovoltaïque) et engins au niveau du port du Stiff.

Pour rappel, les hydroliennes ne passeront pas par le port, mais seront directement transportées de Brest et mises à l'eau par le navire « *supply* ».

Pour les déchargements des pièces de l'éolienne et du PDL (hydrolien), ceux-ci arriveront par barge avec un remorqueur (et un pneumatique pour assister à la manœuvre) à compter de 2 à 3 rotations. Les fenêtres d'accostages sont de + 1 ou - 1h par rapport à l'étales de marée de pleine mer (PM -1, PM+1). Le déchargement complet prendra environ 4h, et

comptera l'arrivée, l'accostage, la mise en place de la rampe, le déchargement, déplacement de la rampe et manœuvre de départ. La barge, une fois vide, attendra la marée suivante pour charger les camions qui auront transporté les pièces. Le dérangement de l'activité du port reste donc ponctuel (trois à quatre fois, sur une durée de 4h à chaque fois). Les travaux sur la plage pour aller jusqu'au poste de livraison dans l'Anse d'Arlan vont durer environ deux jours. Ils seront également ponctuels et de courtes durées.

Les travaux de passage des câbles jusqu'au poste de livraison ENEDIS se feront en bordure de chaussée et ne devraient pas couper la circulation sur les routes. Le dérangement sera donc minime.

Pour conclure, d'une manière générale, l'impact négatif, des travaux sur les activités socio-économiques de l'île, sont ponctuels et limités dans le temps et l'espace et ne devraient pas induire de perturbations excessives.

### 2.3 Recommandation n°2 (Comité de suivi)

Par ailleurs, le conseil de gestion du Parc naturel marin d'Iroise propose de jouer le rôle de comité de suivi du projet. A défaut, l'équipe technique du Parc ainsi que les membres du conseil doivent y être étroitement associés.

### 2.4 Réponse n°2 du porteur de projet (Comité de suivi)

La MA1 (Mesure d'Accompagnement n°1, Cf. DDAEU) vise à saisir la Préfecture pour qu'elle aide Akuo Energy à mettre en place un Comité Local d'Information et de Suivi (CLIS), similaire à celui des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et de l'article L125-2-1 du Code de l'environnement. Le porteur de projet prend bonne note de la proposition du PNMI de jouer le rôle de comité de suivi. Le porteur de projet confirme qu'il apportera tout son soutien au bon déroulé de cette mesure, qui sera mise en place suivant les recommandations de la Préfecture, de la DDTM-DML et de la DDTM-Police des eaux. Par ailleurs, Akuo Energy rappelle qu'il participera, en concertation et sous validation de la Préfecture, à l'établissement de la liste des membres de ce comité. Celui-ci sera composé d'acteurs économiques, associatifs, d'élus locaux, de représentants des services de l'État concernés et d'institutionnels (personnalités qualifiées). Sa composition sera arrêtée avant la mise en service du projet PHARES.

### 3 RÉPONSES À L'AVIS DE LA PRÉFECTURE MARITIME

---

#### 3.1 Recommandation n°3 (Anodes sacrificielles)

---

**Le retour d'expérience du démonstrateur de l'hydrolienne Sabella D10 a permis de recueillir des données environnementales liées à l'impact de l'hydrolienne sur le milieu, notamment sur le bruit et sur les peintures anti-fouling. Je regrette cependant que l'impact sur l'environnement biologique des anodes sacrificielles n'ait pas été étudié. Une masse totale de 10 tonnes d'anode en aluminium-indium va en effet être mise sur les embases des hydroliennes qui ne seront jamais émergées. L'oxydation des anodes entraîne une diffusion d'éléments métalliques sous forme d'ions et d'oxydes. En raison des forts courants, la dilution de ces éléments est forte et la sensibilité sur la qualité de l'eau est considérée négligeable. Par contre, le transfert de ces éléments métalliques par bioaccumulation vers certains organismes n'est pas étudié.**

**J'encourage le porteur de projet à compléter son dossier s'agissant de l'impact biologique des anodes sacrificielles sur l'environnement biologique.**

#### 3.2 Réponse n°3 du porteur de projet (Anodes sacrificielles)

---

##### 3.2.1 Rappel sur la protection cathodique

La protection cathodique est une technique de « protection active » contre la corrosion d'un matériau métallique au contact d'un électrolyte (eau de mer dans notre cas). Il s'agit d'un système de prévention électrochimique basé sur la diminution du potentiel de corrosion jusqu'à un niveau où la vitesse de corrosion du métal est réduite de manière significative. La protection cathodique est obtenue par l'application d'une tension capable de fournir un courant cathodique suffisant à la surface métallique pour diminuer son potentiel à un niveau correspondant à une vitesse de corrosion résiduelle suffisamment faible pour l'application concernée.

La variation de potentiel sous l'effet du courant est appelée « polarisation ». Quand elle est dans le sens négatif, il s'agit d'une « polarisation cathodique ». La diminution du potentiel de corrosion du métal se traduit par une réduction de la vitesse d'oxydation (anodique) du métal et une augmentation de la ou des réactions de réduction (cathodiques) des espèces oxydantes présentes dans l'électrolyte. L'ouvrage métallique à protéger est placé à un potentiel tel que la vitesse de corrosion devient acceptable sur toute la surface de métal en contact avec l'électrolyte.

Pour cela on fait circuler un courant électrique continu entre une ou des anode(s) et le matériau à protéger, qui constitue la cathode. L'efficacité de la méthode exige un contact intime de l'électrolyte avec le matériau à protéger en tout point de celui-ci. Le courant, qui circule dans l'électrolyte vers le métal, est ajusté de façon à fournir une densité de courant cathodique permettant d'atteindre une valeur de potentiel pour laquelle la vitesse de corrosion du métal devient très faible. La variation du potentiel de l'ouvrage en fonction de la densité de courant cathodique qu'il reçoit suit la courbe de polarisation cathodique, ou courbe intensité – potentiel, caractéristique du comportement électrochimique d'un métal donné dans un milieu électrolytique donné. Cette courbe quantifie les échanges de courant, donc notamment la vitesse de corrosion et le besoin en courant de protection cathodique.

Il existe deux méthodes pour fournir le courant de protection afin de polariser la surface :

- ▶ Les systèmes à anodes galvaniques dans lesquels le courant de protection provient d'un métal dont le potentiel de corrosion est plus négatif que celui de la pièce à protéger ;
- ▶ Ou les systèmes à courant imposé où le courant continu est fourni par une source alimentant des anodes plus ou moins inertes.

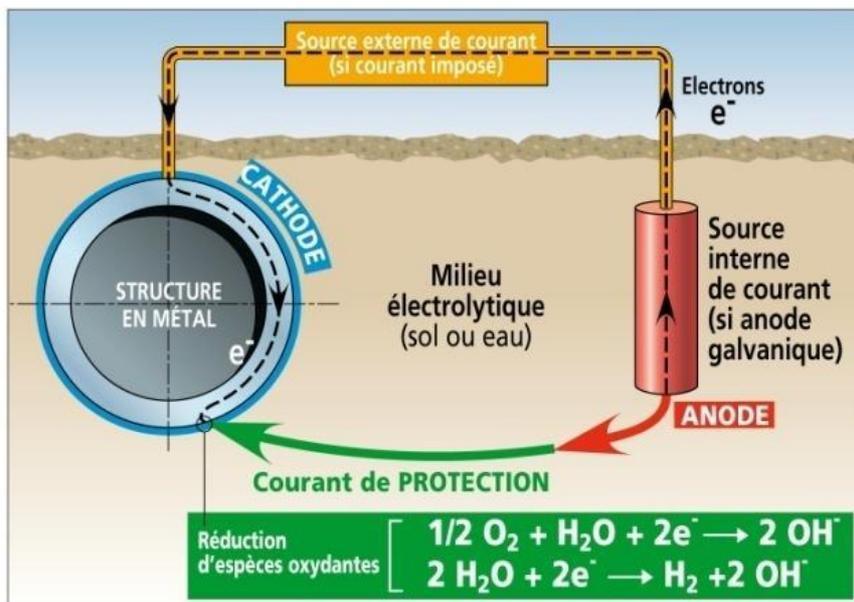


Figure 1 : Principe de la protection cathodique (source CEFRACOR)

Pour les surfaces émergées, la protection cathodique n'étant pas efficace (absence d'électrolyte), cette protection constitue souvent le complément d'une « protection passive » (revêtement de type peinture, revêtement bitumineux, polymère...) dont la performance est limitée dans le temps à quelques années.

Pour les surfaces immergées, le courant de protection cathodique nécessaire à l'abaissement de potentiel recherché est alors fortement réduit, car il n'entre dans la surface métallique qu'aux défauts de continuité du revêtement. Cela permet de ralentir la consommation d'anodes galvaniques et diminuer la consommation d'électricité.

### 3.2.2 Système de protection par anodes galvaniques

Certains métaux ou alliages placés dans le même milieu électrolytique (eau de mer dans notre cas) que l'ouvrage à protéger ont un potentiel d'électrode (mesuré par rapport à une électrode de référence) inférieur à celui du métal constitutif de l'ouvrage. Lorsqu'un tel métal est relié électriquement à la structure à protéger, son potentiel tend à augmenter, alors que celui du métal de la structure tend à diminuer, ce qui conduit à faire décroître sa vitesse de corrosion.

Pour protéger de l'acier, il faut alors que la protection cathodique galvanique soit constituée de métaux dont le potentiel est en dessous de celui de l'acier (-0,6 V) : soit du cadmium (-0,7 V), un alliage d'aluminium (-1,0 V), du béryllium (-1,0 V), du zinc (-1,05 V) ou du magnésium (-1,6 V).

Les anodes galvaniques (parfois appelées anodes sacrificielles ou consommables) sont à base de magnésium, de zinc ou d'aluminium. Dans tous les cas, les anodes pour protection cathodique doivent être impérativement constituées

d'alliages spécifiques qui ont été préalablement qualifiés par des mesures permettant de connaître leurs caractéristiques électrochimiques, notamment leur réactivité et leur polarisabilité, sur le long terme.

Les anodes galvaniques doivent être conformes à la norme NF EN 12496 qui spécifie les exigences de qualité et recommande les compositions et caractéristiques électrochimiques.

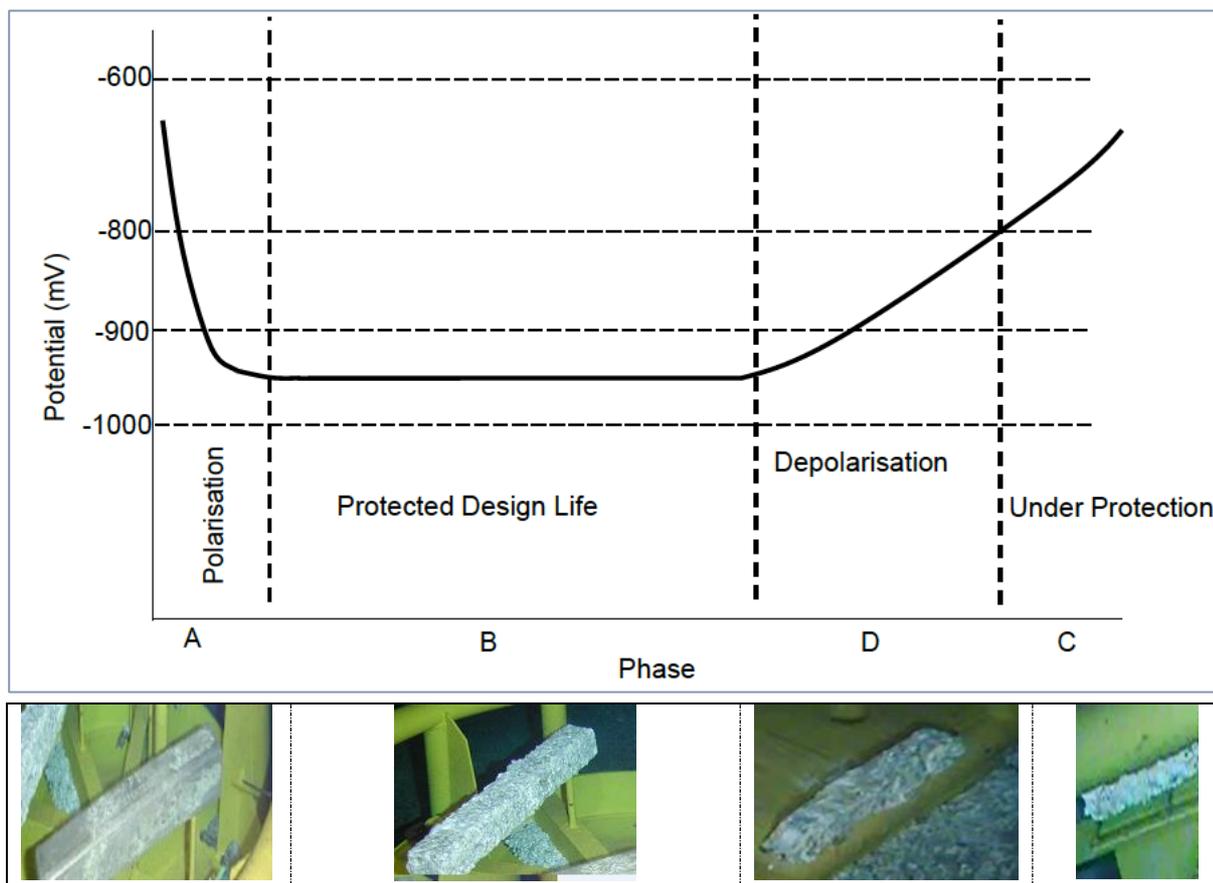


Figure 2 : Phase de vie d'une anode (source Wood group Kenny)

L'anode installée sur l'ouvrage va d'abord se polariser, puis va protéger l'ouvrage en acier en s'érodant progressivement, puis enfin va se dépolariiser en fin de vie, jusqu'à ne plus offrir de protection.

Longtemps, les anodes galvaniques ont été fabriquées en zinc, car quand une anode en aluminium pur est placée dans l'eau, il se forme une couche d'oxyde qui l'isole et la protège. L'alliage d'aluminium a été développé après avoir découvert que l'ajout d'une petite quantité de zinc et d'indium supprimait le problème de la couche d'oxyde isolante qui arrêtaient son fonctionnement en tant qu'anode.

### 3.2.3 Les anodes installées sur Sabella D15

L'hydrolienne Sabella D15 est protégée contre la corrosion par deux moyens de protection efficaces :

- ▶ La peinture, qui a également une fonction antifouling ;
- ▶ Des anodes galvaniques. Il en est placé 5 tonnes par machine, ce qui permet une protection pour au moins 20 ans.

Les alliages utilisés dans les anodes de la D15 ont les compositions suivantes :

Éléments	Alliage HYDRAL 2C® - Ampère industrie
Zinc - Zn	4,0 à 6,0
Indium - In	0,010 – 0,030
Fer - Fe	0,10 max
Silice - Si	0,10 max
Cuivre - Cu	0,005 max
Magnésium – Mg	0,01 max
Titane - Ti	0,015 max
Al	93,73 à 95,76

*Tableau 1 : Composition chimique des anodes d'aluminium, exprimée en fraction massique en % (source Ampère)*

### 3.2.4 Détail des effets des anodes galvaniques

L'enjeu principal de l'utilisation des anodes galvaniques est le relargage progressif de métaux dans le milieu aquatique. Il s'agit principalement de l'aluminium, du zinc et enfin de l'indium (nouvellement apparu dans les anodes à alliages d'aluminium qui ont remplacé les anodes à base de zinc).

Les métaux sont des composants naturels de l'écorce terrestre et rejoignent les compartiments aquatiques et terrestres lors d'épisodes de volcanisme ou d'incendies de forêt. Cette présence naturelle est appelée « fond géochimique » ou « bruit de fond » et peut parfois expliquer des concentrations élevées dans les sédiments ou les eaux souterraines en l'absence de tout apport anthropique.

Utilisés par l'homme depuis l'antiquité, d'abord pour sa survie, puis son confort et ses loisirs, les métaux comptent de nombreuses et diverses utilisations (alliages, batteries, pigments, pesticides, médicaments...) responsables de leur large dissémination dans l'environnement et de l'augmentation des concentrations naturelles. Bien que certains métaux soient indispensables au métabolisme des êtres vivants (ex. : arsenic, chrome, cuivre, fer, nickel, zinc), ils deviennent toxiques au-delà d'une certaine concentration. D'autres métaux, tels que le cadmium ou le plomb, ne sont pas nécessaires à la vie et sont toxiques.

La biodisponibilité des métaux en milieu aquatique est limitée du fait de leur forte capacité d'adsorption (sédiments, matières organiques) et de complexation, bien qu'elle soit très variable suivant les conditions physicochimiques du milieu (par exemple, le cadmium passe de la phase particulaire à la phase dissoute lorsque la salinité augmente). L'accumulation de stocks de métaux dans les sédiments pose par ailleurs le problème de leur remobilisation et de la persistance éventuelle de leurs nuisances bien au-delà d'un arrêt des rejets.

Les parties suivantes présentent une synthèse de l'état de l'art de ces 3 métaux, impliqués dans les anodes, et leur effet sur l'environnement. Il s'agit principalement de données collectées dans les fiches INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques), de l'INRS (Institut national de recherche et de sécurité), d'une parution de Claude Alzieu pour IFREMER, d'un projet de recherche sur les anodes par ACCOAST (société de contrôles des ouvrages portuaires) et du portail d'information sur la sécurité au travail (ILOCIS). Les données présentées ne sont pas commentées dans ces parties, mais dans la partie d'application au projet PHARES.

### 3.2.4.1 Aluminium (source INERIS, INRS, ACCOAST)

#### Utilisation de l'aluminium

L'aluminium est un métal très répandu dans la croûte terrestre. Les sources d'aluminium sont à la fois naturelles et anthropiques. La majorité de l'aluminium naturel (non recyclé) provient des minerais. La production mondiale d'aluminium augmente chaque année pour répondre à la demande industrielle. Les secteurs d'utilisation de l'aluminium sont principalement les transports, le bâtiment et les emballages. Ses composés sont utilisés dans les cosmétiques, la potabilisation de l'eau et les retardateurs de flamme.

Les principales émissions ponctuelles d'aluminium vers l'environnement (eau, sol) sur le territoire français sont répertoriées : tous milieux confondus, selon l'IREP, les émissions industrielles étaient d'environ 13 998 tonnes en 2012. Il n'y a pas ou peu de données quant aux émissions d'aluminium vers l'atmosphère. L'aluminium est principalement présent dans les milieux aquatiques et terrestres. Quand il est rejeté à l'atmosphère, il se dépose près de sa source. Les rejets d'aluminium ont fortement augmenté ces dernières années en raison de l'importante utilisation de l'aluminium en tant que substituant d'autres métaux présentant un fort impact environnemental, tel que le plomb, le cadmium, le cuivre ou le chrome. Il existe actuellement assez peu des possibilités de substitution de l'aluminium dans l'industrie.

Dans le secteur des transports, des alternatives à l'aluminium se développent avec des polymères, notamment dans l'automobile. Il existe des alternatives aux usages de l'aluminium dans le secteur des emballages alimentaires, ou permettant du moins de réduire les quantités d'aluminium en jeu. Dans le secteur de l'énergie, des métaux autres que l'aluminium peuvent être utilisés et des polymères développés pour le substituer. Les composés de l'aluminium employés dans les retardateurs de flamme et les cosmétiques peuvent être substitués, mais les caractéristiques des substituts potentiels sont à étudier, notamment leur toxicité et leur écotoxicité. Des techniques de réductions des émissions urbaines et industrielles de ce métal vers les eaux existent, notamment dans les effluents de stations d'épurations urbaines et lors du traitement des minerais.

#### Réglementation

Le règlement 1907/2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques (REACH) oblige les producteurs et les importateurs de substances en quantité supérieure à une tonne à soumettre une demande d'enregistrement. Ces substances sont ensuite pour certaines évaluées, et éventuellement leur usage est ensuite soumis à autorisation. À ce jour, aucun composé de l'aluminium, cité dans le Tableau 1 ou le Tableau 2, n'est listé ni dans l'annexe XIV2, ni dans l'annexe XVII3 du règlement. Ni l'aluminium ni ses composés listés au Tableau 1 ne sont cités dans la liste de l'annexe I du règlement (CE) 649/2012 relatif à l'export et l'import des substances dangereuses identifiées par ce texte.

En droit français, l'arrêté du 26 décembre 2012 modifiant l'arrêté du 31 janvier 2008 concerne le registre et la déclaration annuelle des émissions polluantes et des déchets. L'exploitant de l'installation doit déclarer ces rejets dès lors que les seuils d'émissions décrits dans l'annexe II de cet arrêté sont dépassés. Les seuils de rejets d'aluminium et ses composés (exprimés en tant qu'Al) sont :

- ▶ De 2 000 kg/an dans l'eau ;
- ▶ De 2 000 kg/an dans le sol.

#### Émissions et quantité

La teneur moyenne de l'écorce terrestre est de 8 % en aluminium et de 15 % en alumine.

Milieu	Unité	Nombre d'échantillons	Minimum	Médiane <sup>41</sup>	Moyenne	Maximum
Sol couche profonde (en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	788	0,21	11,7	11,2	27,1
Sol couche de surface (en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	845	0,37	11,0	10,5	26,7
Sédiments de cours d'eau (en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	850	0,20	10,3	10,2	25,9
Sédiments de plaines alluviales (en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	749	0,10	10,4	9,8	32,6
Eau (en Al)	µg/L	807	0,70	17,7	75,5	3 370

Tableau 2 : Teneurs en aluminium dans les différents milieux (source FOREGS)

Les principales données sur les émissions d'aluminium dans l'environnement, identifiées lors de l'étude INERIS de 2012, concernent les émissions industrielles déclarées (réglementation ICPE).

Emissions d'aluminium et de ses composés	IREP			
	2009	2010	2011	2012
Eau direct (kg/an)	12 589 930	17 478 340	959 720	13 134 730
dont Alteo Gardanne (kg/an)	12 000 000	17 000 000	518 000	12 700 000
dont Alteo Gardanne (% total)	95	97	54	97
Eau indirect (kg/an)	9 450	5 170	2 550	2 320
Sol (kg/an)	448 000	345 000	560 500	861 000

Tableau 3 : Émissions d'aluminium et de ses composés (source IREP)

En France, les émissions d'aluminium ont lieu essentiellement dans l'eau. Elles sont principalement issues d'Alteo Gardanne (13), un producteur d'alumines et de ses composés. Il est à noter que les rejets indirects dans l'eau diminuent depuis 2009, alors que les émissions vers les sols augmentent.

### Toxicité et écotoxicité

La toxicologie de l'aluminium est reprise dans la Fiche n°306 - Aluminium et ses composés minéraux de l'INRS. Elle concerne principalement de l'aluminium sous forme de molécule chimique, comme le chlorure d'aluminium, le fluorure d'aluminium, le sulfate d'aluminium, l'hydroxyde d'aluminium ou le nitrate d'aluminium.

Dans le cas de la dégradation des anodes en aluminium métallique, il se produit très rapidement une oxydation de celui-ci en ion Al<sup>3+</sup> qui s'associe avec l'oxygène pour former de l'alumine Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. L'ion métallique Al<sup>3+</sup> est bien moins toxique et écotoxique que les sulfates d'aluminium.

Sur l'impact environnemental des anodes, l'UMR Borea, avec les chercheurs de Caen, notamment Christelle Caplat a produit plusieurs articles récents :

- ▶ Christelle Caplat et al (2010), *Comparative toxicities of aluminum and zinc from sacrificial anodes or from sulfate salt in sea urchin embryos and sperm*. Ecotoxicology and Environmental Safety 73 (2010) 1138–1143
- ▶ Andrea Mao et al (2011). *Assessment of sacrificial anode impact by aluminum accumulation in mussel Mytilus edulis: A large-scale laboratory test*. Marine Pollution Bulletin 62 (2011) 2707–2713
- ▶ C. Gabelle et al (2012). *The impact of aluminum sacrificial anodes on the marine environment: A case study*. Applied Geochemistry 27 (2012) 2088–2095
- ▶ Jonathan Deborde et al (2015), *Impact of Galvanic Anode Dissolution on Metal Trace Element Concentrations in Marine Waters*. Water Air Soil Pollut (2015) 226:423

Les conclusions de ces articles sont principalement :

- ▶ Les ions  $Al^{3+}$  et  $Zn^{2+}$  issus des anodes sont moins impactants que ceux provenant de sels similaires (notamment de sulfates d'aluminium ou zinc pris comme comparaison) sur des bioessais de larves d'oursins ;
- ▶ Il se forme un précipité d'hydroxyde d'aluminium (non soluble) issu de la dégradation des anodes galvaniques qui a tendance à s'accumuler en surface du sédiment (au pied de l'anode) et non pas dans la masse d'eau. Les concentrations qui peuvent s'accumuler dans des organismes filtreurs, comme les moules, sont bien en dessous des seuils létaux ;
- ▶ La contribution des anodes par rapport aux autres apports continentaux semble négligeable à une échelle régionale.

### 3.2.4.2 Zinc (source C. Alzieu d'IFREMER, INERIS)

Le zinc est un élément métallique de numéro atomique 30 et de masse atomique 65,4 dont les propriétés chimiques sont comparables à celles des métaux de transition par sa capacité à former des complexes avec l'ammoniac, les amines, les ions d'halogènes et les cyanures. Il se trouve à l'état naturel sous forme de sulfures ou carbonates et est impliqué dans la constitution d'un grand nombre de métalloenzymes, anhydrases carboniques et phosphatases alcalines. Il joue également un rôle important dans la synthèse des acides nucléiques et la protection immunitaire.

#### **Source**

Le zinc, principalement sous forme de sulfure (blende), est assez uniformément distribué dans les roches magmatiques (40 à 120 mg/Kg). Sa concentration est un peu plus élevée dans les sédiments argileux (80 à 120 mg/kg) et les schistes alors qu'elle est plus faible dans les roches-mères sableuses. Dans les eaux océaniques, les concentrations en zinc varient de 0,4 à 5  $\mu\text{g/l}$ .

Il entre naturellement dans l'atmosphère à partir :

- ▶ Du transport par le vent de particules du sol ;
- ▶ Des éruptions volcaniques ;
- ▶ Des feux de forêts ;
- ▶ D'émission d'aérosols marins.

Les apports anthropiques de zinc dans l'environnement résultent de trois groupes d'activités :

- ▶ Les sources minières et industrielles : Traitement du minerai, raffinage, galvanisation du fer, construction de toitures, fabrication de gouttières, piles électriques, pigments, matières plastiques, caoutchouc, etc... ;
- ▶ Les épandages agricoles : Le zinc ajouté volontairement à l'alimentation des animaux, surtout les porcs, se retrouve en abondance dans les lisiers ;
- ▶ Les autres activités : De nombreuses activités urbaines et le trafic routier libèrent du zinc dans l'environnement : érosion des toitures et gouttières, usure des pneumatiques, poussières d'incinération des ordures, etc...

#### **Géochimie**

À pH supérieur à 8, le zinc se présente sous forme d'un hydroxyde divalent  $Zn(OH)_2$  et donne des complexes avec les ligands organiques ou s'adsorbe sur les matières en suspension.

### **Toxicité**

Le zinc est un métal essentiel, c'est-à-dire nécessaire en quantité généralement faible, à la vie d'un grand nombre d'organismes aquatiques. L'accumulation du zinc dans l'organisme est régulée pour de nombreuses espèces, par exemple chez les mollusques, les crustacés, les poissons et les mammifères. Le zinc peut s'accumuler dans les organismes aquatiques, mais les valeurs de BCF (facteur de Bioconcentration) décroissent lorsque l'on monte dans la chaîne trophique. Cela peut s'expliquer par une régulation plus importante dans les organismes « supérieurs ». En conséquence, il semble que le potentiel de biomagnification soit faible.

Les sels de zinc sont moins toxiques que ceux du cuivre ou du cadmium et présentent la particularité d'être moins nocifs pour les organismes marins que pour ceux des eaux douces, en raison de l'action protectrice des ions calcium. La toxicologie du zinc a été étudiée chez l'homme et l'animal (rat et souris) et est bien connue.

### **3.2.4.3 *Indium (source ILOCIS)***

#### **Source et utilisation**

Très répandu dans la nature, on trouve l'indium (In) le plus souvent associé aux minerais zincifères (sphalérite, marmatite, christophite), ses principales sources pour l'industrie. On le rencontre également dans les minerais d'étain, de manganèse, de tungstène, de cuivre, de fer, de plomb, de cobalt et de bismuth, mais en général dans une proportion inférieure à 0,1%.

L'industrie utilise l'indium surtout pour la protection des surfaces, allié à d'autres métaux. Une couche mince d'indium accroît la résistance des métaux à la corrosion et à l'usure. Dans les paliers, il prolonge la durée de vie des éléments mobiles et trouve par conséquent de nombreuses applications dans la construction automobile et aéronautique. Il est employé dans les alliages dentaires, et sa « mouillabilité » en fait un élément très apprécié pour la métallisation du verre. En raison de sa résistance à la corrosion, l'indium est un composant de prédilection dans la fabrication des écrans de cinéma, des oscilloscopes à rayons cathodiques et des miroirs. Allié à l'antimoine et au germanium en une association de très grande pureté, il trouve une large application dans la fabrication des transistors et autres pièces électroniques sensibles. Les radio-isotopes de l'indium, dans les composés tels que le trichlorure d'indium et l'hydroxyde d'indium colloïdal, sont utilisés dans l'exploration des organes et le traitement des tumeurs.

Les composés de l'indium les plus répandus dans l'industrie sont le trichlorure (utilisé en galvanoplastie), le sesquioxyde (employé dans l'industrie du verre) et le sulfate. L'antimoniure et l'arséniure sont utilisés en tant que matériaux semi-conducteurs.

### **Toxicité**

Aucun cas d'effet systémique n'a été décrit chez l'humain par suite d'une exposition à l'indium. Sans doute le plus grand des risques se rencontre-t-il lors de son utilisation conjointe avec l'arsenic, l'antimoine et le germanium dans l'industrie électronique. Ce risque provient avant tout des vapeurs dégagées au cours des travaux de soudage et de brasage que nécessite la fabrication des composants électroniques. Les dangers éventuellement associés à la purification de l'indium sont sans doute imputables à la présence d'autres métaux, tels que le plomb, ou de certaines substances chimiques, telles que les cyanures, qui interviennent dans les procédés d'électrodéposition. L'exposition de la peau à l'action de l'indium ne semble pas présenter de risque appréciable. La distribution dans les tissus de ce métal sous différentes formes chimiques a été étudiée sur des animaux de laboratoire.

Les sièges des plus fortes concentrations ont été les reins, la rate, le foie et les glandes salivaires. Après inhalation, on a observé des altérations pulmonaires étendues, telles qu'une pneumonie interstitielle desquamative, avec une insuffisance respiratoire consécutive.

Les recherches faites sur l'animal ont montré que les plus solubles des sels de l'indium étaient très toxiques, l'effet mortel se manifestant après administration de moins de 5 mg/Kg par voie parentérale. En revanche, après gavage, l'indium n'était pour l'essentiel pas absorbé et ne présentait pour ainsi dire pas de toxicité. L'examen histopathologique révèle que la mort est due principalement à des lésions dégénératives du foie et des reins. On a également relevé des altérations mineures du sang. Lors d'une intoxication chronique au chlorure d'indium, la principale modification est une néphrite interstitielle chronique accompagnée de protéinurie. Sous sa forme la plus insoluble, celle du sesquioxyde, l'indium ne présente qu'une toxicité modérée à faible, exigeant des doses de l'ordre de plusieurs centaines de mg/kg pour entraîner la mort. Après administration d'arséniure d'indium à des hamsters, il est apparu que l'absorption par les divers organes est différente de la distribution de l'indium ionique ou des composés de l'arsenic.

Il y a peu de recherche sur l'écotoxicité de l'Indium.

### 3.2.5 Application aux métaux rejetés par les anodes du projet PHARES

#### 3.2.5.1 L'indice PNEC (Predicted No Effect Concentration)

La mise sur le marché européen de la plupart des produits ayant des propriétés chimiques doit se faire en conformité avec la réglementation REACH. REACH (pour *Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals*) est un règlement adopté en 2006 par le Parlement et le Conseil européens. Il a permis la création d'un système communautaire d'enregistrement, d'évaluation et d'autorisation des substances chimiques géré par la nouvelle Agence européenne des produits chimiques (ECHA) basée à Helsinki. Les données sur les substances chimiques sont ainsi référencées et se trouvent sur le site de l'ECHA.

L'utilisation d'anode galvanique va libérer progressivement dans le milieu les éléments métalliques constitutifs de celle-ci. Il s'agit :

- ▶ Majoritairement de l'aluminium, sous forme de précipité d'hydroxyde d'aluminium qui va plutôt s'accumuler sur le fond du sédiment et dont les interactions avec celui-ci sont encore mal connues ;
- ▶ Dans une moindre mesure du zinc, également sous forme d'hydroxyde qui aura tendance à se lier avec la matière organique ;
- ▶ Et enfin, à l'état de traces, de l'indium, dont les effets sur le milieu sont mal connus, mais supposés négligeables par rapport aux valeurs de concentration atteintes.

À ce stade, il faut donc s'intéresser aux données d'écotoxicité pour le milieu marin. L'écotoxicité est évaluée grâce à une valeur dite PNEC pour *Predicted No Effect Concentration*. C'est la valeur définissant le seuil sans effet, qui est largement utilisée en évaluation des risques environnementaux des substances chimiques.

Cependant, il existe certains PNEC dans la littérature, mais qui ne sont pas repris par l'ECHA (*European Chemicals Agency*, <https://echa.europa.eu/fr/home>). C'est notamment le cas de l'aluminium.

Métal	PNEC (milieu marin)
Aluminium	Pas de valeur
Indium	40,6 µg/L
Zinc	6,1 µg/L

Tableau 4 : PNEC des 3 métaux ciblés (source ECHA)

Il est à noter que l'ECHA refuse de mettre un PNEC sur l'aluminium. L'agence européenne considère que l'aluminium étant non soluble, il ne peut pas induire facilement un effet écotoxique chronique sur le milieu marin.

### 3.2.5.2 Flux de métaux provenant des anodes de Sabella D15

Sur chaque hydrolienne, il sera installé 5 tonnes d'anodes qui protégeront l'installation durant les 20 ans d'exploitation. Les flux de métaux sont calculés ci-dessous.

Anode sur D15	Alliage Hydral	Masse totale	Flux par an	Flux par jour
Éléments	%	Tonnes	Kg/an	g/j
Zn	6 % max	0,3	15	41,1
In	0,03 % max	0,0015	0,075	0,2
Al	95,76 % max	4,788	239,4	655,9

Tableau 5 : Flux en métaux sur la durée de vie de 15 ans des anodes de CB4 et ASM3

### 3.2.6 Principe de dilution

À ce stade, il peut être intéressant de calculer le volume d'influence autour de l'hydrolienne, dont la concentration (**sans mouvement de masse d'eau**) peut atteindre ou dépasser le PNEC. Il s'agit donc du volume d'eau théorique où la concentration du PNEC est atteinte au bout d'une journée, en prenant comme hypothèse que la molécule étudiée est entièrement solubilisée et que la masse d'eau ne se déplace pas. Cela va nous permettre de voir, en théorie, quelle serait la zone où il pourrait y avoir un effet sur les organismes présents dans ce volume et d'appréhender ainsi une idée du niveau d'impact. Il faut bien comprendre que ce calcul est théorique et permet de savoir s'il faut poursuivre les investigations ou pas sur les anodes. En effet, si le volume d'influence, où les concentrations de métaux dépassent les PNEC, est très grand, alors les organismes, dont le plancton (base de la chaîne alimentaire) pourraient être fortement impactés et induire des effets importants sur les populations locales. À l'inverse, si le volume est faible, le risque d'impact, remis dans le contexte de la très forte dilution induite par les forts courants et par la mise en jeu d'une énorme masse d'eau journalière, serait alors négligeable. Une première approche par le calcul permet ainsi de comprendre l'importance ou pas du thème des anodes.

En partant de la formule suivante :

$$\text{Volume d'influence}^* = \text{Masse journalière du métal} / \text{Valeur du PNEC}$$

\*Le volume d'influence est le volume théorique où la concentration en métal, sans déplacement de masse d'eau dans la journée, dépasse ou est égale à la valeur du PNEC.

Nous obtenons ainsi pour les 2 éléments les valeurs suivantes :

Éléments	Masse journalière	PNEC	Volume d'influence	Rayon de la demi-sphère, centrée sur l'hydrolienne
	µg	µg/L	m <sup>3</sup>	m
Zn	41 095 890	6,1	6 737	14 m
In	205 479	40,60	5,1	1,35 m

*Tableau 6 : Volume d'influence journalier*

À la lueur de ce premier calcul, nous pouvons voir que les éléments métalliques auront une influence soit dans les quelques dizaines de mètres autour (cas du zinc) ou uniquement très proches des anodes (cas de l'indium). En remettant cela dans le contexte du Fromveur où les courants sont extrêmement forts, il est possible d'affirmer que la dilution de ces éléments métalliques va être très importante dans la masse d'eau, qui est renouvelée à chaque marée. L'accumulation dans les organismes vivants est donc négligeable sur la zone proche et improbable dans la zone lointaine. Concernant plus particulièrement l'aluminium, le précipité d'hydroxyde d'aluminium va également se disperser à cause du courant et se diffuser sous forme particulière dans le milieu. Il faut rappeler ici que l'aluminium est excessivement présent dans le milieu marin et notamment dans les sédiments (par exemple, sous la forme de silicates d'alumines). L'aluminium des anodes n'aura donc pas d'effet également sur les organismes vivants présents.

### 3.2.7 Conclusion

En première approche, même si le zinc et l'indium peuvent être écotoxiques pour le milieu marin, les niveaux de concentration n'atteindront les seuils d'effets que dans le champ extrêmement proche de chaque machine. Pour l'aluminium qui n'est pas soluble, le précipité va se déliter également dans la masse d'eau et la concentration attendue ne permettra pas d'avoir un effet écotoxique important. Enfin, du fait des courants quotidiens de marée extrêmement forts du Fromveur, les métaux diffusés par les anodes vont être rapidement dilués. Il est à rappeler que ces métaux sont déjà présents à l'état de trace dans le milieu marin. La charge supplémentaire au vu des volumes aura un effet négligeable par rapport aux autres sources.

## 3.3 Recommandation n°4 (Mesures ERC)

**Pour les mesures ERC et de suivi, celles-ci devront être ajustées par l'ensemble des acteurs de la zone.**

## 3.4 Réponse n°4 du porteur de projet (Mesures ERC)

L'étude d'impact du Dossier de demande d'autorisation environnementale unique propose 3 mesures d'évitement et 4 mesures de réduction pour le milieu biologique et 2 mesures de réduction pour le cadre de vie. Les mesures de réduction pour le cadre de vie portent sur la création de mouillages collectifs sur la zone de Pors Ar Lan et sur la construction d'un poste électrique insonorisé. Nous avons supposé que la recommandation du Préfet maritime portait davantage sur les mesures pour le cadre de vie que pour celle du compartiment biologique. Comme évoqué déjà dans le mémoire en réponse à la MRAE, pour la mesure MR5, la commune a été sollicitée par le porteur de projet et a répondu par courrier le 12 novembre 2020, par la main du Maire Denis Palluel, qui confirme son accord pour cette action (Cf. annexe). Cette mesure ERC MR5 est donc bien en accord avec les acteurs de la zone.

La mesure MA1 (cf. Supra) vise à mettre en place un comité local d'information et de suivi qui permettra justement aux acteurs locaux de s'exprimer sur l'application des mesures ERC & A et des suivis corrélés.

### 4 RÉPONSES A L'AVIS DE LA DDTM-DML

---

#### 4.1 Recommandations n°5 dans l'avis

---

L'avis de la DDTM-DML du 15 juin reprend les questions de la Préfecture maritime, à savoir :

- ▶ Étude complémentaire sur l'impact de l'hydrolienne sur l'environnement biologique des anodes sacrificielles.
- ▶ Un ajustement des mesures « ERC » par l'ensemble des acteurs de la zone

#### 4.2 Réponse n°5 du porteur de projet

---

Les réponses ont été apportées plus haut (réponses n°3 et n°4).