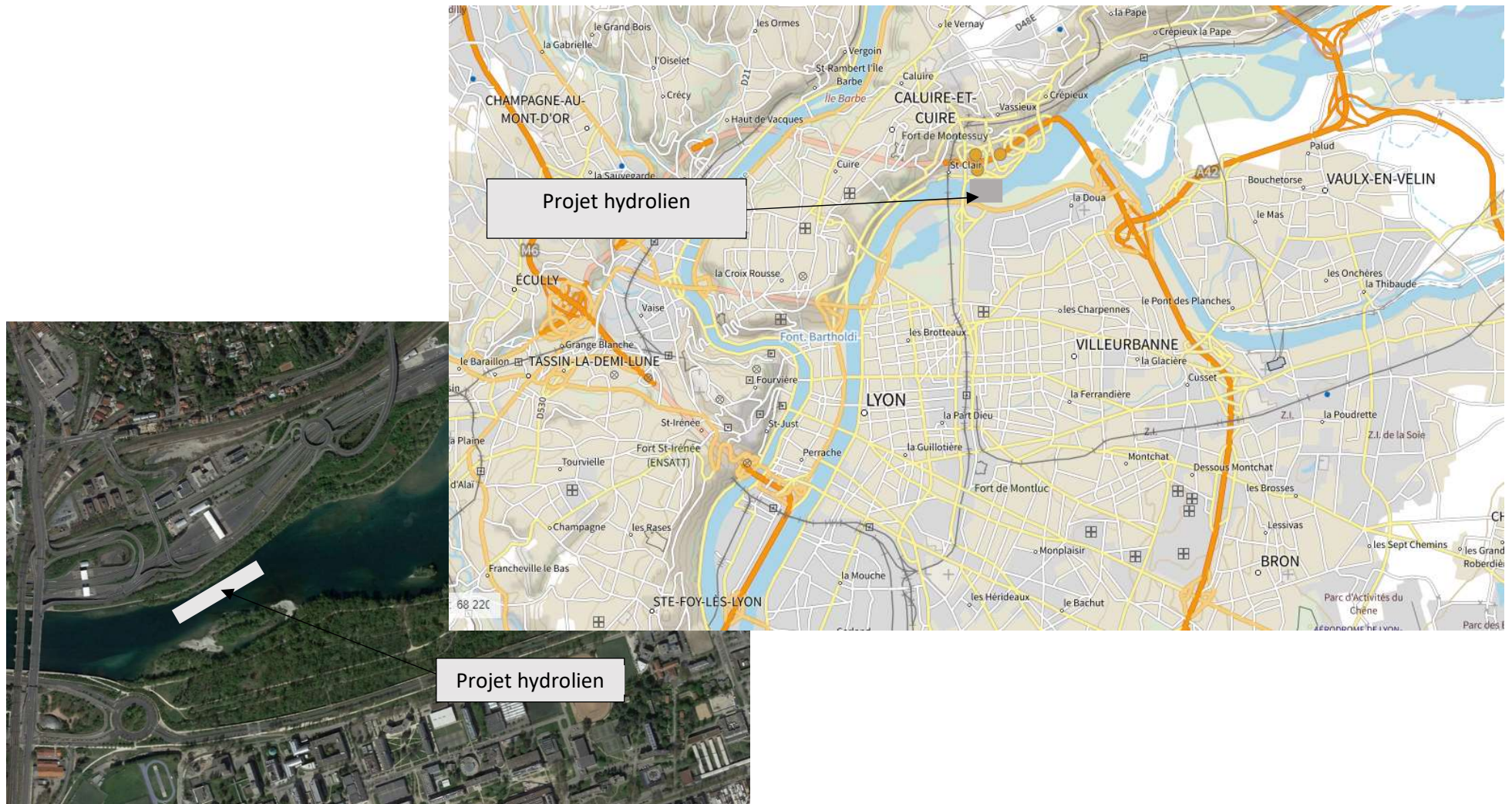


Projet hydrolien 4 x 30kW : le Rhône (Commune de Caluire et Cuire)



1 Intégration paysagère

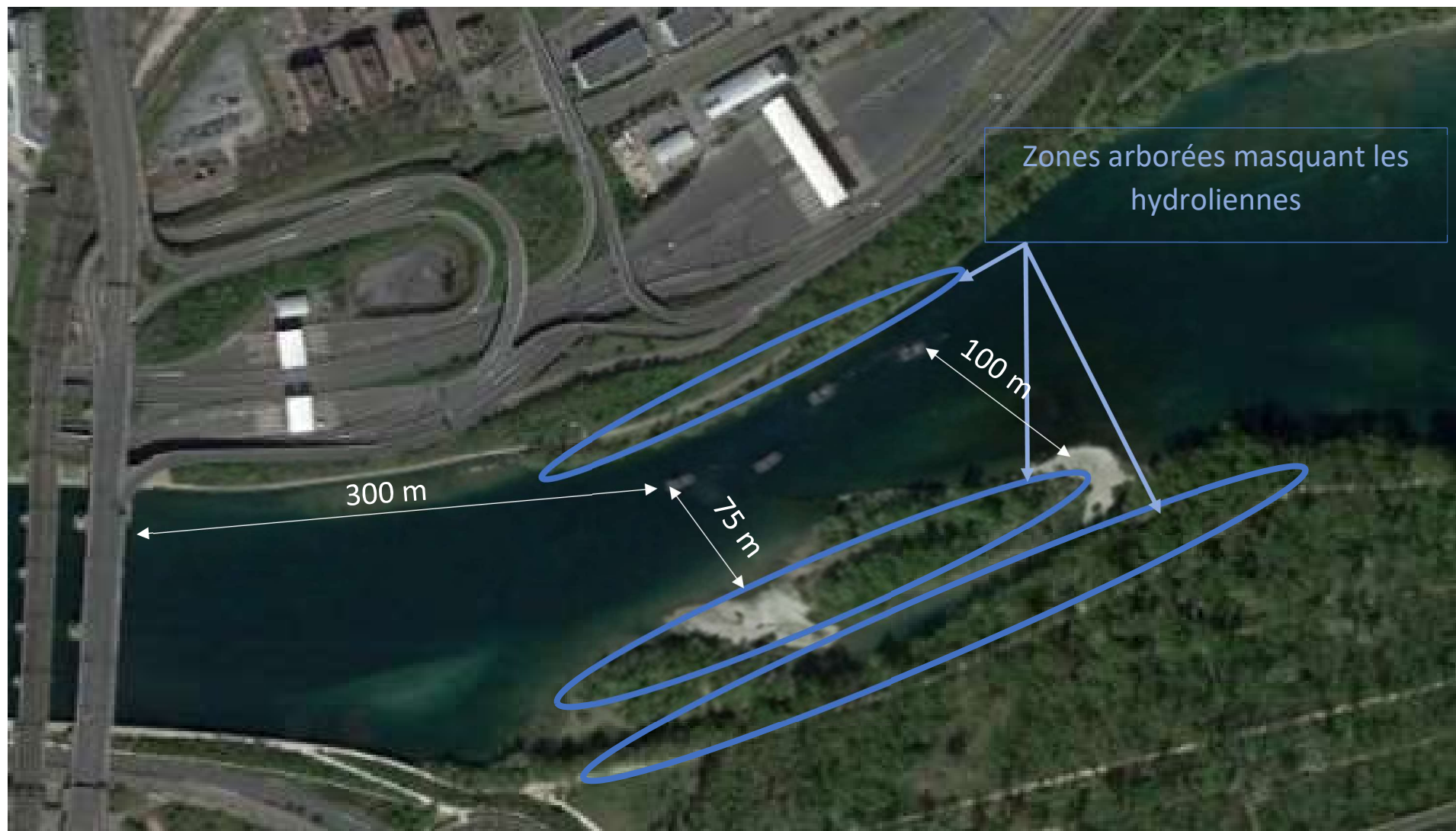


Figure 1 – Description de l'intégration paysagère de la ferme hydrolienne sur la zone de la Feyssine

2 Mise en situation du projet

2.1 Vue d'ensemble de la ferme hydrolienne



Figure 2 – Vision générale de la ferme hydrolienne sur le Rhône



Figure 3 – Vue de dessus de la ferme hydrolienne sur le Rhône



Figure 4 – Vue en amont de la ferme depuis la rive droite du Rhône



Figure 5 – Vue en amont de la ferme depuis la rive gauche du Rhône

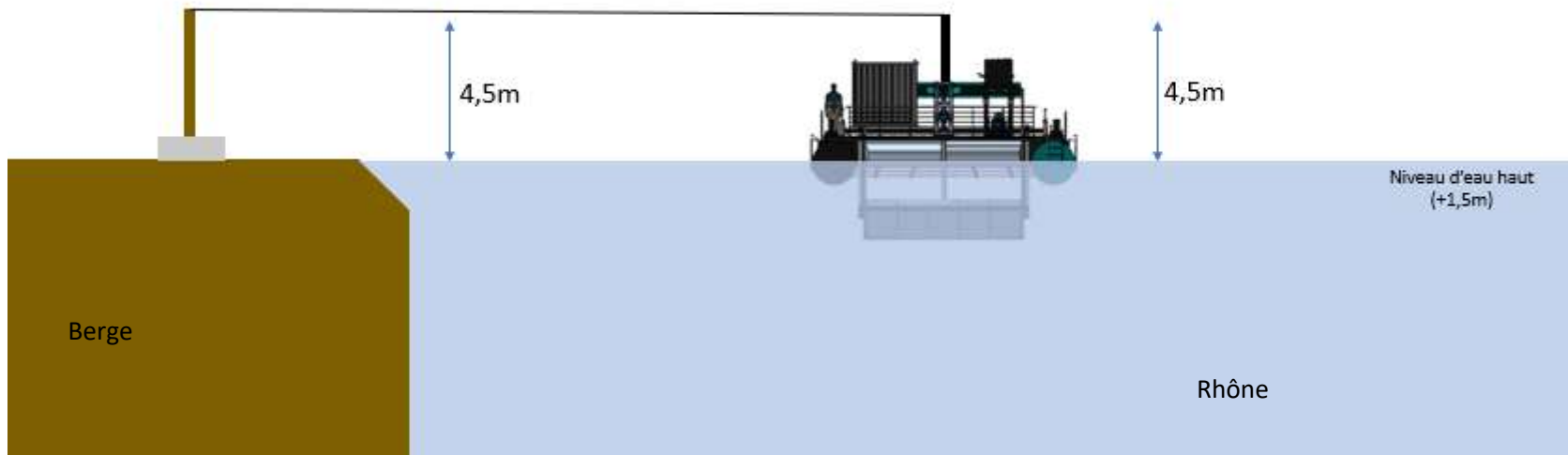
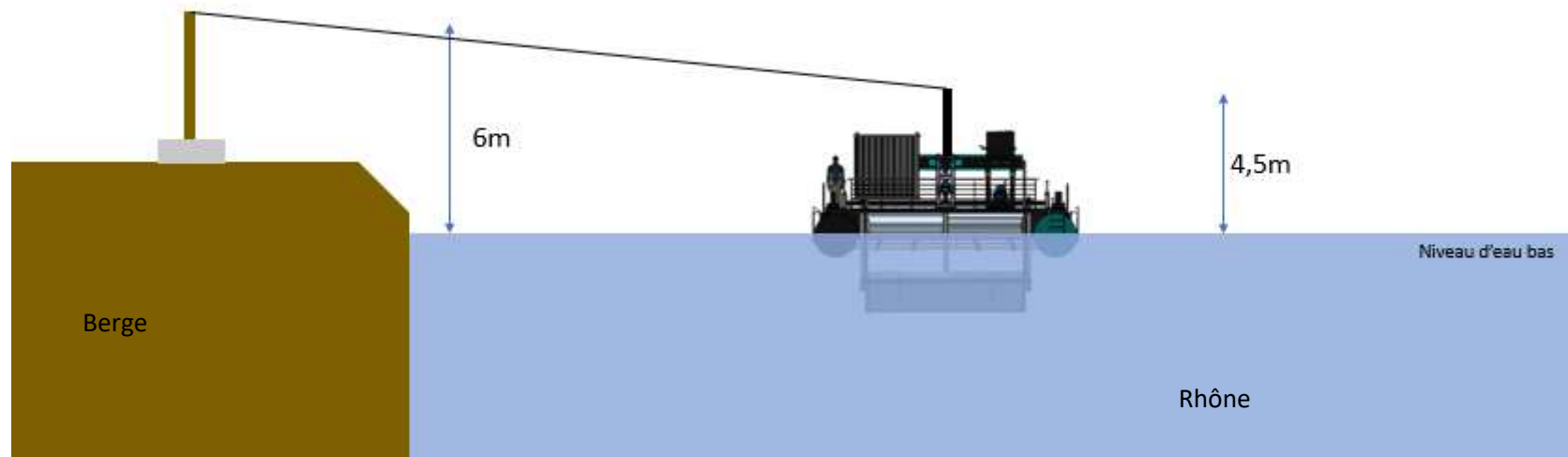


Figure 6 – Vue en aval de la ferme depuis la rive gauche du Rhône

2.2 Raccordement électrique



Figure 7 – Vue du dessus du raccordement électrique de la barge jusqu'au local électrique



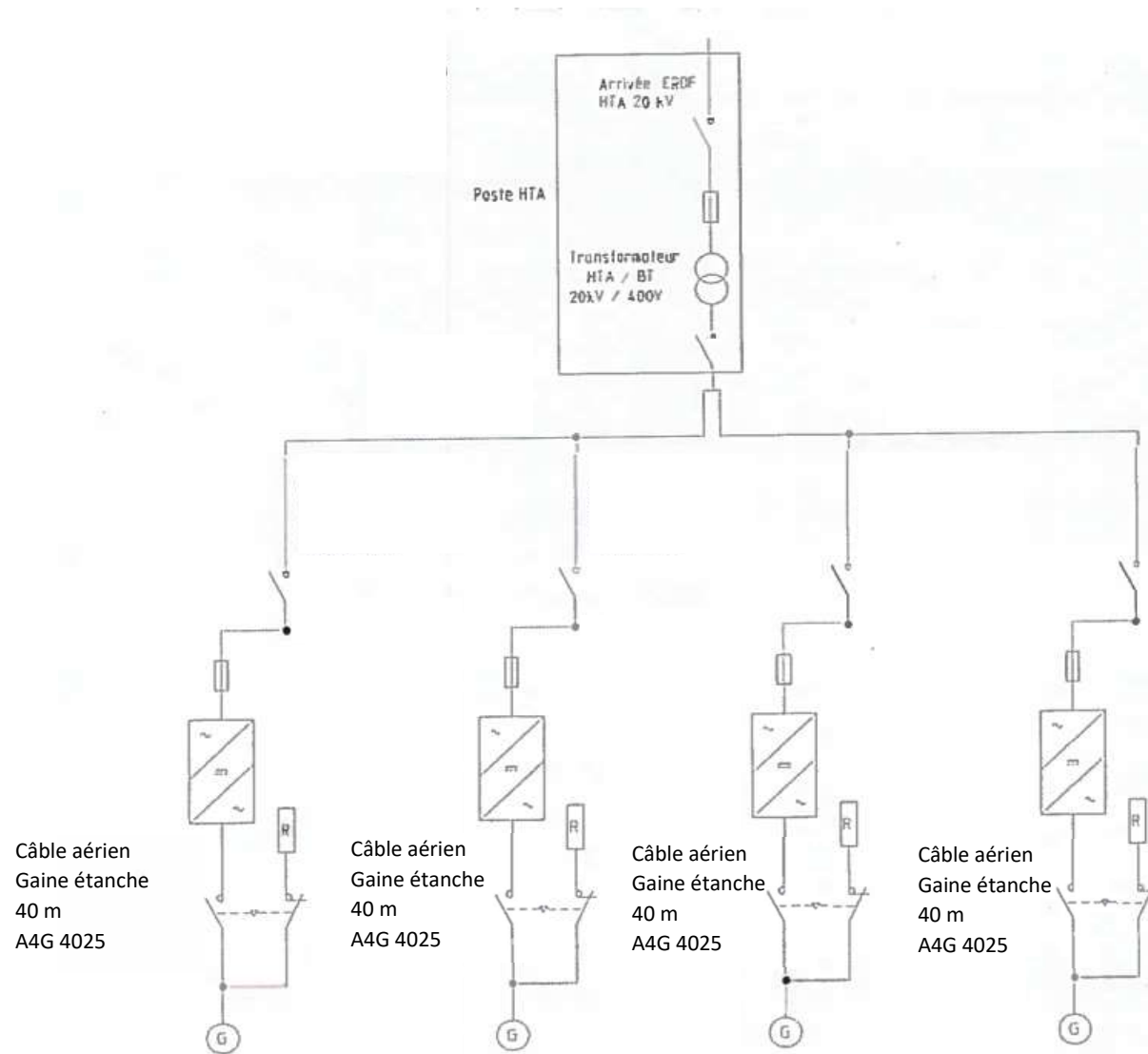
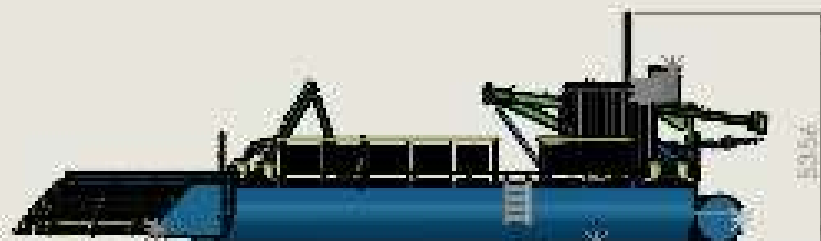
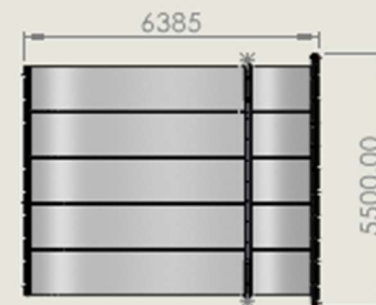


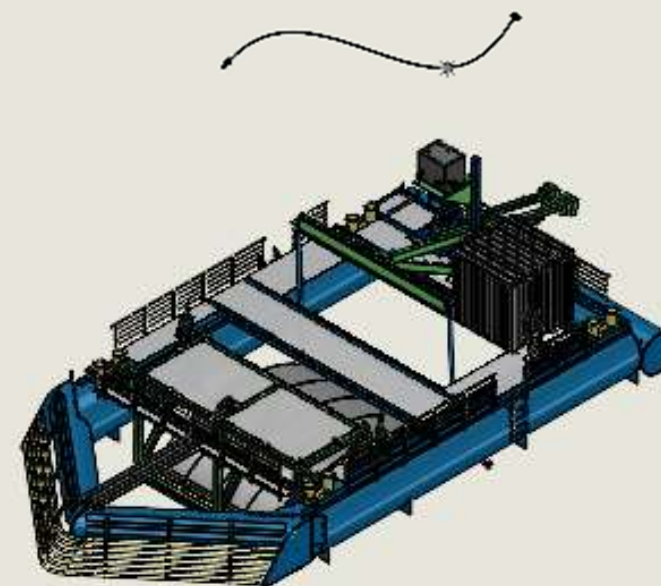
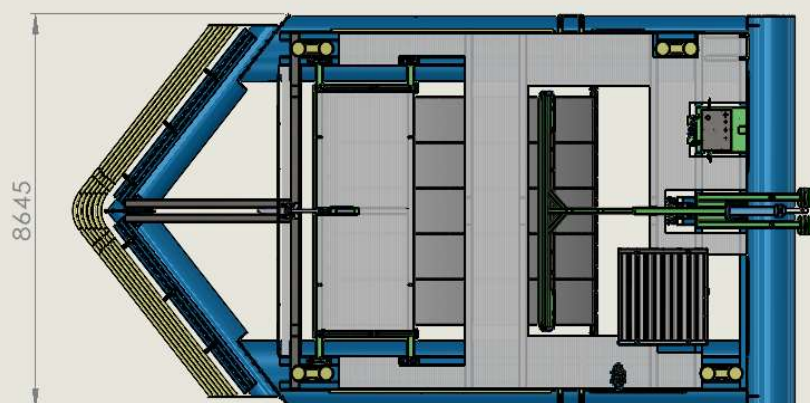
Figure 8 – Schéma symbolique du raccordement électrique de la barge jusqu'au point de livraison ERDF



MACHINE RELEVÉE

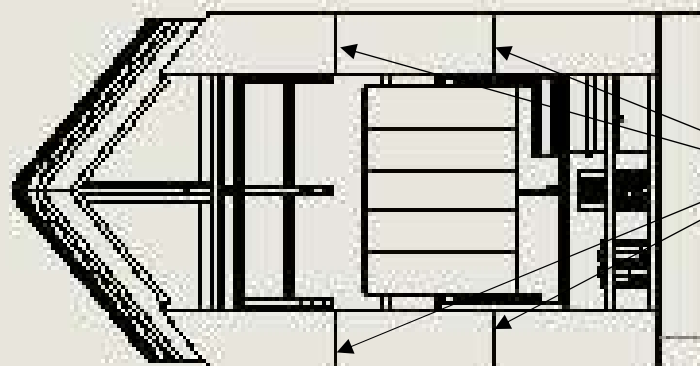


MACHINE EN FONCTIONNEMENT



N°: <input checked="" type="checkbox"/>	Matière: <input checked="" type="checkbox"/>		
		TITRE: Mise en plan 2D de l'hydrolienne	
		Projet: Lyon	
Date: 07/02/2023	Plan pour: Description	Revision: 0	A3
Quantité: 4	Créateur: Ronan Bellier	Echelle: 1:130	Page: 1/1

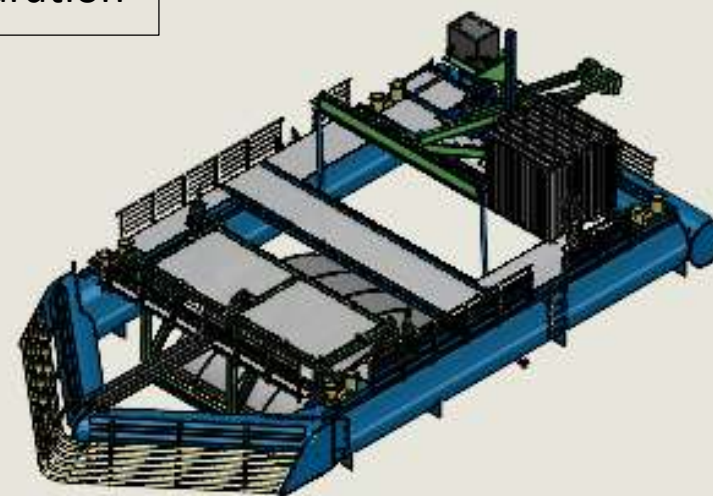
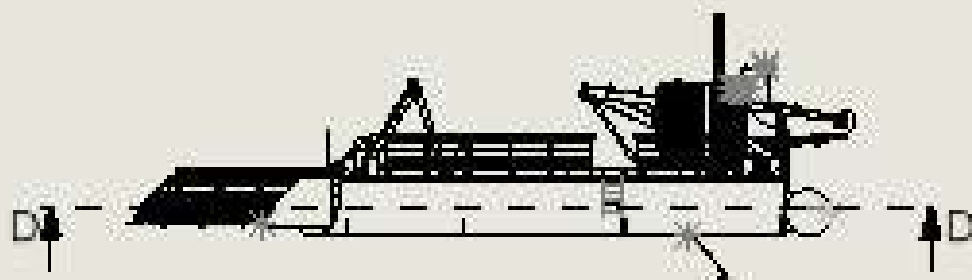
Mise en plan 2D représentant les plaques de séparation au sein des flotteurs



Plaques de séparation

COUPE a-a

ECHELLE 1:130



N°: <input checked="" type="checkbox"/>	Matière: <input checked="" type="checkbox"/>
	TITRE: Mise en plan 2D de l'hydrolienne
	Projet: Lyon
Date: 07/02/2023	Plan pour: Description
Quantité: 4	Créateur: Ronan Bellier
	Echelle 1:130 Page: 1/1

3 Fonctionnement des hydroliennes EEL Energy

Pour ce projet, il est nécessaire de préciser que les 4 hydroliennes ne seront pas installées en même temps. En effet, une première sera installée mi-Juin, les autres seront installées quelques mois plus tard avec le recul pris sur le premier système installé.

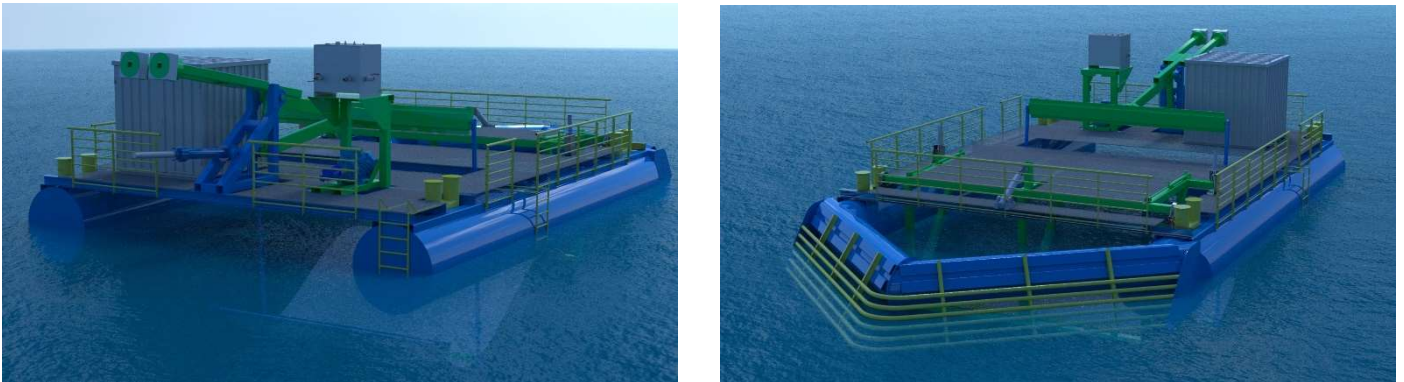


Figure 9 – Représentation de la barge sur le Rhône

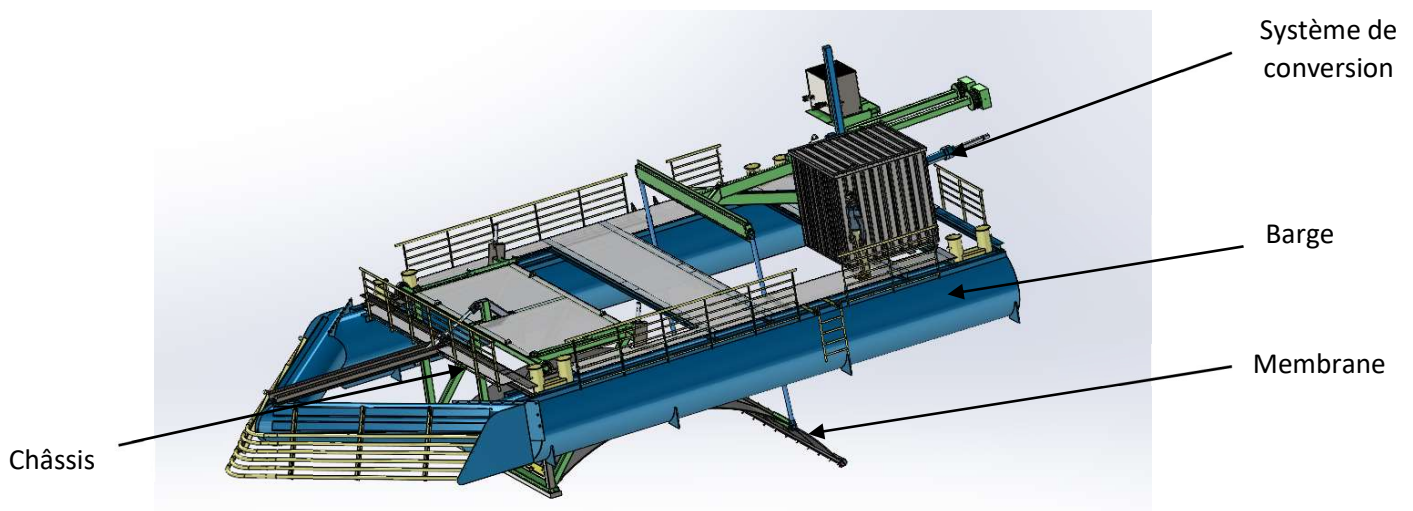


Figure 10 – Description de l'architecture de l'hydrolienne EEL Energy

3.1.1 Membrane

Il s'agit de la première partie du système. Une membrane stationnaire par rapport au courant et précontrainte récupère l'énergie cinétique de celui-ci sous forme ondulatoire.

Concernant les dimensions choisies, nous nous sommes arrêtés sur une membrane rectangulaire de 5x7m. La valeur de 7 m de longueur se justifie par la profondeur minimale du fleuve de 5m (avec une marge de sécurité).

En effet, l'amplitude de la membrane correspond à un peu moins que la moitié de sa longueur. Ainsi, la longueur 7 m est adéquate. De plus, en se basant sur les études effectuées pour déterminer l'influence du rapport d'aspect des membranes sur la production énergétique, nous avons fait le choix de prendre une membrane rectangulaire.

La membrane est par contrainte de fabrication constituée de plusieurs sections de polymère de dimension 1000x7000 mm reliées par des plaques en carbone. Celle-ci est contrainte par des câbles réduisant la longueur de la membrane de 5% à 15%, forçant son ondulation.

Concernant son épaisseur elle nous est dictée par la caractérisation du site et la vitesse de courant de 1.5 à 3.5 m/s. Si on veut que la membrane ait une raideur adéquate afin qu'elle soit fonctionnelle et productive sur une plage de vitesse allant de 1.7 à 2.8 m/s, nous sélectionnons une épaisseur de 20mm.

Le matériau est un polyoxyméthylène copolymère (POM C), qui est un polymère à haute résistance et sa composition hautement cristalline lui confère des caractéristiques mécaniques remarquables. Le choix de ce matériau est fondé d'une part sur les résultats des tests effectués sur des prototypes, et d'autre part sur les propriétés mécaniques :

- Résistance élevée à la traction et aux chocs
- Excellente résistance à la fatigue et à l'usure
- Bonne résistance au fluage
- Résistance en fatigue élevée
- Très bonne résistance à l'abrasion
- Faible absorption de l'eau

Module d'élasticité E (Mpa)	2855
Masse volumique (g/cm3)	1,39
Limite élastique en traction (Mpa)	67

Tableau 1: Caractéristiques mécaniques du Polyoxyméthylène

Le POM C est aussi utilisé comme plastique alimentaire (emballage nourriture). Cette utilisation est rendue possible car les microparticules possiblement ingérées par la faune sont inertes. Ainsi, il n'y a aucun risque pour la faune et flore. L'autre avantage de ce matériau est qu'il est recyclable, réduisant ainsi son empreinte carbone. Il est possible de voir apparaître une couche de micro-organisme sur les membranes au bout d'un certain temps, mais le biofouling est limité grâce au mouvement continu et ample. Celle-ci est renforcée par des plaques de carbone à 80% de la membrane (transmission de l'énergie) et en bout de membrane (résister à la torsion induite par les câbles de retraits). Enfin, des plaques inox, des bielles et des équerres sont placées pour pouvoir la relier au châssis.

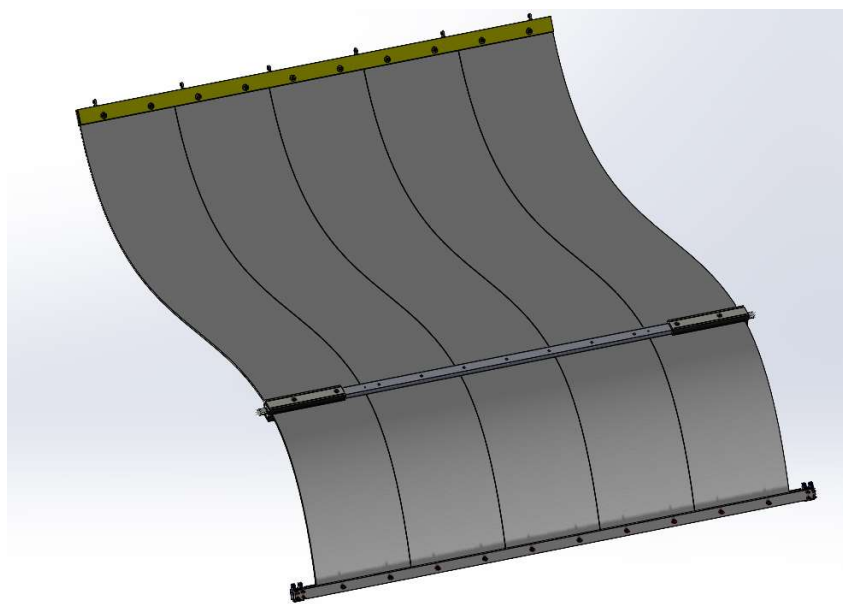


Figure 11 – Représentation de la membrane

Celle-ci est fixée à un châssis qui peut se relever grâce à un système de vérin en cas de nécessité, tel que de la maintenance.

Ce système de membrane ondulante contrainte fait l'objet de plusieurs brevets possédés par EEL Energy, le protégeant dans le monde entier.

3.1.2 Système de conversion

L'ondulation est transformée en oscillations verticales grâce à deux mâts de part et d'autre de la membrane. Ceux-ci sont eux même reliés par un bras de conversion qui vient compresser et étirer un vérin hydraulique double effet.

L'huile stockée dans un réservoir de 400L est envoyée dans un moteur hydraulique qui tournera toujours dans le même sens grâce à une boîte à clapet. La pression sera lissée grâce à un accumulateur placé avant le moteur. Une génératrice sera liée au moteur, qui produira l'électricité envoyée dans un onduleur (convertisseur 4 cadrans) pour redresser le courant avant de l'injecter dans le réseau EDF (tension, fréquence et harmoniques). Il faut préciser que l'huile utilisée est végétale. En cas de fuite, celle-ci ne présenterait aucun risque pour l'environnement.

La taille de la membrane et la caractérisation du site nous permettent d'extrapoler les courbes de puissance. Avec une variation de la vitesse du courant de 1.7m/s à 2.8 m/s, une oscillation de la puissance d'environ 5 kW à 30 kW en est induite. Cette plage de puissance à convertir correspond à notre système hydraulique système dont la fiabilité a déjà été éprouvée. Ce dernier nous offre une simplicité de mise en œuvre et de maintenance. Nous prendrons en compte mécaniquement une vitesse de 2.8m/s maximum pour la production en pic et une mise en sécurité au-delà.

3.1.3 Barge de support des hydroliennes

L'hydrolienne qui est en cours de développement pour le spot de Lyon sera amenée à fonctionner en présence d'un courant dans des milieux de type fleuves. Ces configurations n'impliquent pas des vagues importantes. Afin d'assurer la flottaison de notre support, deux pontons cylindriques en acier avec une capacité de flottaison de 10 tonnes ont été sélectionnés. A l'intérieur de ces flotteurs, 3 plaques de séparations sont ajoutées pour éviter le remplissage complet d'un tube en cas d'avarie importante. Des trous d'hommes ont été par ailleurs installés pour pouvoir pomper l'eau hors du flotteur.

Sur les deux blocs pontons (1,42m de diamètre, 8mm d'épaisseur et 12m de long) sont soudés 2 portions de poutre carrées pour obtenir une surface plane au-dessus de chacun. Ces deux blocs seront reliés entre eux par des poutres en I. La séparation entre chaque bloc sera de 5,7 m pour laisser passer le châssis de la membrane. Ces deux blocs seront par ailleurs lisses afin qu'aucun embâcle ne se bloque.

Un par embâcle sera aussi installé en proue du système. En effet, 2 blocs cylindriques de 0,8m de diamètre formeront un angle de déviation pour d'éventuels embâcles. Sur ces tubes, d'autres petits tubes séparés de 10cm descendant à 50cm sous la surface de l'eau seront assemblés avec des rigidificateurs seront ajoutés pour dévier ceux entre deux eaux. Ces formes tubulaires ont été choisies pour perturber le moins possible le flux. Les flotteurs principaux ne seront donc pas exposés aux chocs avec les embâcles. Des bittes d'amarrage seront aussi installées afin d'accoster en toute sécurité.

La matière utilisée pour tous les composants de la barge est de l'acier 235JR noble (non recyclée). Des traitements spécifiques permettent à la barge de résister à l'eau salée, aux agressions des espèces végétales et animales marines, aux chocs causés par les vagues, aux hydrocarbures, ainsi qu'à la formation de glace statique. Elle est aussi stabilisée avec des agents anti-UV.

La barge complète est construite par la société Di Sante et est homologuée par le constructeur naval H&T. Elle sera donc opérationnelle toute la durée de vie du système.

Cette homologation est accompagnée de contrôles systématiques sur l'épaisseur, l'absorption d'eau et l'étanchéité des flotteurs.

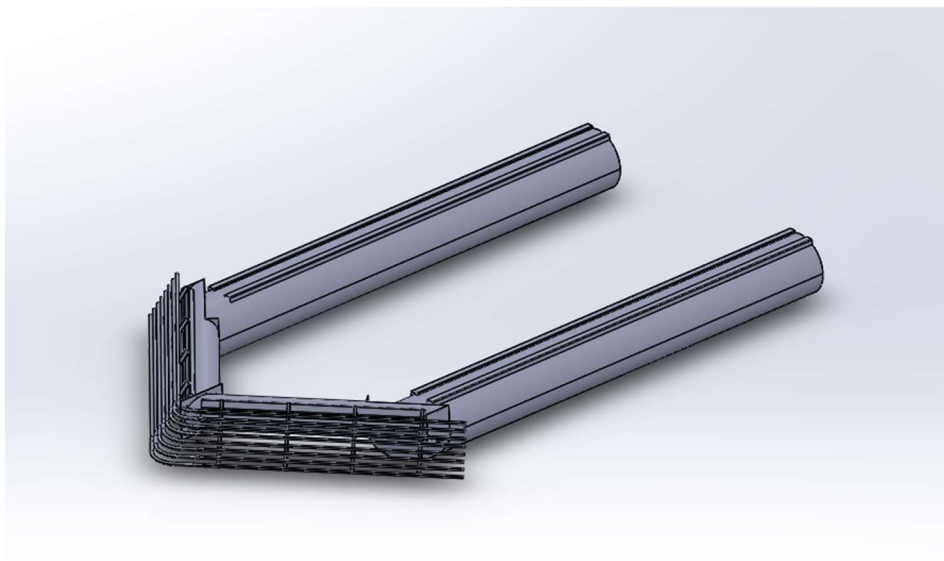


Figure 12 – Représentation de la barge accompagnée de son par embâcle

3.1.4 Système d'ancrage

La barge est reliée au point d'ancrage par deux câbles métalliques disposés en pattes d'oie. Le schéma ci-dessous illustre ce système d'ancrage.

Les efforts de traînées à reprendre de notre système en fonctionnement à la vitesse de courant limite (2,8 m/s) est d'environ 12 tonnes. Il sera nécessaire d'avoir des câbles en acier inoxydable pour qu'ils supportent à la fois cette traînée, et son environnement. De plus, ils ne nécessitent pas d'entretien, ni de graissage. Un coefficient de sécurité d'environ 5 est convenu pour choisir le diamètre de ces câbles.

Le point d'ancrage sélectionné a déjà été installé auparavant par l'entreprise Hydroquest qui nous transmet le site d'essai. Ainsi, 4 pieux ont été fixés au lit du Rhône pour dépasser de quelques centimètres jusqu'à plusieurs mètres la surface de l'eau, en fonction de la hauteur d'eau effective. Les câbles métalliques viendront se fixer à ces poteaux.

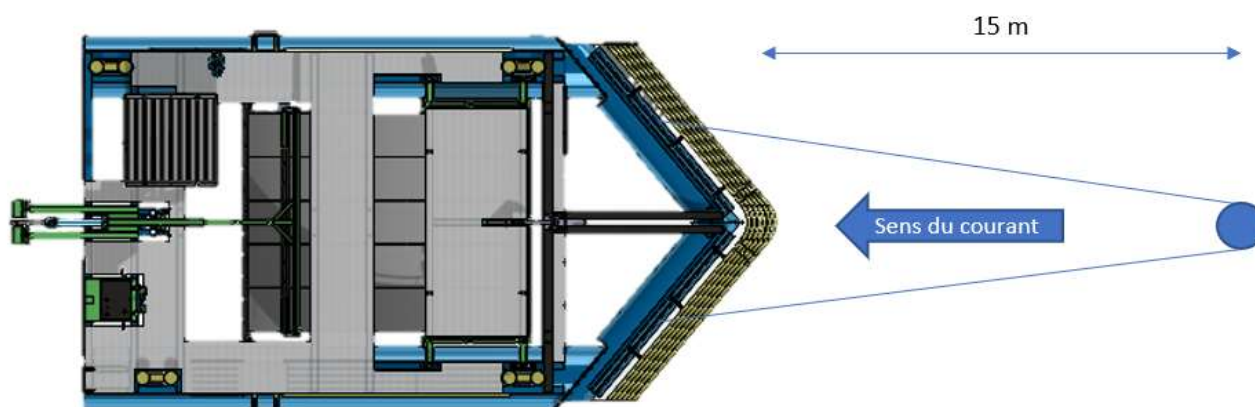


Figure 13 – Schéma descriptif de l'amarrage de la barge sur le site de production

3.2 Exploitation et maintenance

Un rendez-vous avec le SDMIS a été effectué au préalable afin de lister les différents points de sécurité importants et ainsi concevoir des solutions en amont.

3.2.1 Condition de fonctionnement

Comme expliqué auparavant, notre système entier a été dimensionné pour fonctionner sur la plage de courant du site (entre 1,7 et 2,8 m/s). La mécanique pourra notamment résister à des efforts pour un courant maximal de 2,8 m/s. Le retrait pourra être réduit en cas de plus fort courant. Les différents modes de fonctionnement sont directement gérés par un automate. De façon autonome, il pourra, suivant un certain nombre de défauts, faire changer de mode la machine. En parallèle, il aura la capacité de prévenir de l'urgence ou du défaut et faire une demande d'intervention.

Le système est doté de capteurs et d'émetteurs pour suivre la production. Il sera connecté au pc de contrôle via un câble aérien jusqu'à notre centrale d'enregistrement des données. Cette connexion nous permettra d'alimenter les capteurs et d'acheminer l'énergie produite, mais aussi de transférer les données liées aux différents capteurs. Chaque flux d'informations sera visible en ligne et en direct. Un écran d'information pourra être vu 24h sur 24, 7 jours sur 7. Grâce à cet écran, il sera possible d'intervenir sur le prototype et ainsi de le faire changer de mode : mode arrêt, mode production, mode drapeau. En cas de problème de l'automatisation, un principe de commande déportée nous permettra d'inclure des arrêts d'urgence. Ces arrêts seront physiques (bouton rouge) et distanciels (par réseaux 4G). Un ensemble de caméras de surveillance infrarouges, autonomes, et sur IP seront positionnés afin de nous permettre de valider nos choix d'interventions à distance.

- **MODE ARRET**
La membrane est remontée
Le retrait est lâché
L'électronique est en veille
- **MODE FONCTIONNEMENT**
Le châssis est descendu (3 mètres par rapport à la surface)
La membrane passe en retrait tendu variable
Le générateur produit
L'électronique est en fonction
- **MODE DRAPEAU**
Le châssis est descendu
Le retrait est lâché
Le générateur ne produit pas
L'électronique reste en fonction

3.2.2 Mise en place et accessibilité

Le prototype sera monté et mis à l'eau au port fluvial de Lyon puis tracté jusqu'à la zone d'amarrage.



Figure 13 – Moyen envisagé pour remorquer le système jusqu'au site de la Feyssine

Tout comme la mise en place, l'accès à la zone se fera par la remontée du fleuve n partant du port. Un zodiac de 4 personnes maximum pourra s'amarrer à notre prototype.



Figure 14 – Moyen envisagé pour rejoindre la barge à partir du port

3.2.3 Fréquence d'intervention (maintenance curative)

Les embâcles de taille importante vont être déviés par le par embâcle prévu à cet effet. Par ailleurs, les débris plus petits entre 2 eaux pourront passer au-dessus ou en dessous de la membrane sans altérer son fonctionnement. De cette manière, peu de maintenance devrait avoir lieu à cause de débris.

L'ensemble des pannes déjà connues par l'historique de nos prototypes qui pourraient potentiellement survenir ponctuellement au cours des années de fonctionnement font l'objet de la rédaction d'une gamme d'interventions.

3.2.4 Maintenance préventive

La maintenance préventive suivra les gammes de maintenance établies spécifiquement pour ce prototype en prenant en compte l'ensemble des interventions réalisées sur les prototypes précédents. Certaines pièces d'usures sont notamment connues et seront remplacées à des dates fixées au préalable.

Ces opérations seront effectuées tout en respectant les règles de sécurité en vigueur.

3.2.5 Gestion en cas de crues

En cas de crues, le système pourrait se mettre en mode drapeau ou bien en mode arrêt en fonction de l'intensité de celle-ci. Par conséquent, même si le courant venait à augmenter drastiquement, la traînée de la barge serait diminuée tout aussi considérablement lors du changement de mode, respectant la limite fixée pour l'amarrage.

3.2.6 Impact paysager

D'abord, il est important de préciser que ce système ne nécessite aucun changement drastique de son environnement. Par ailleurs, peu importe son mode de fonctionnement, seule la barge et un câble aérien reliant la barge et la berge sera visible sur l'eau. Une guirlande de LED (une LED tous les 2 mètres) sera installée sur ce câble aérien afin de le rendre visible de nuit. En fonctionnement, on pourra aussi discerner l'amplitude du piston ainsi que du bras de conversion.

3.3 L'hydrolienne EEL Energy 30 kW

Les dimensions du système 30kW sont les suivantes :

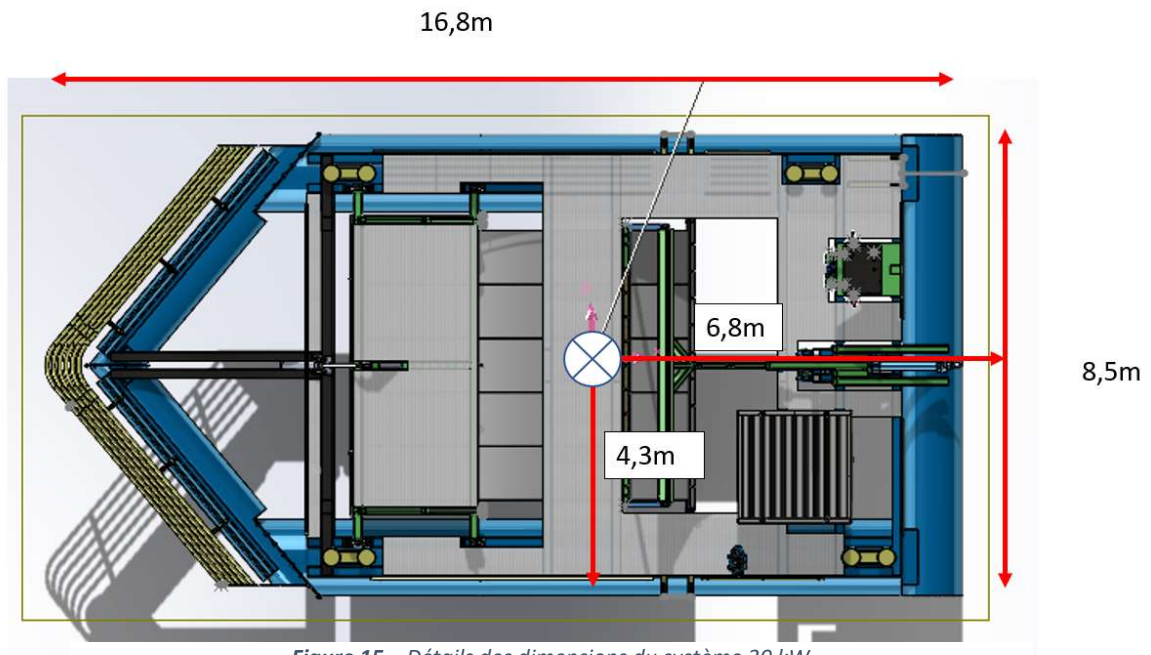


Figure 15 – Détails des dimensions du système 30 kW

On peut par ailleurs remarquer que le centre de gravité est parfaitement centré. Celle-ci ayant une masse totale de 26 tonnes, elle va s'enfoncer sous la surface de l'eau de 0,720 mètres. L'image ci-dessous traduit l'enfoncement de la barge.

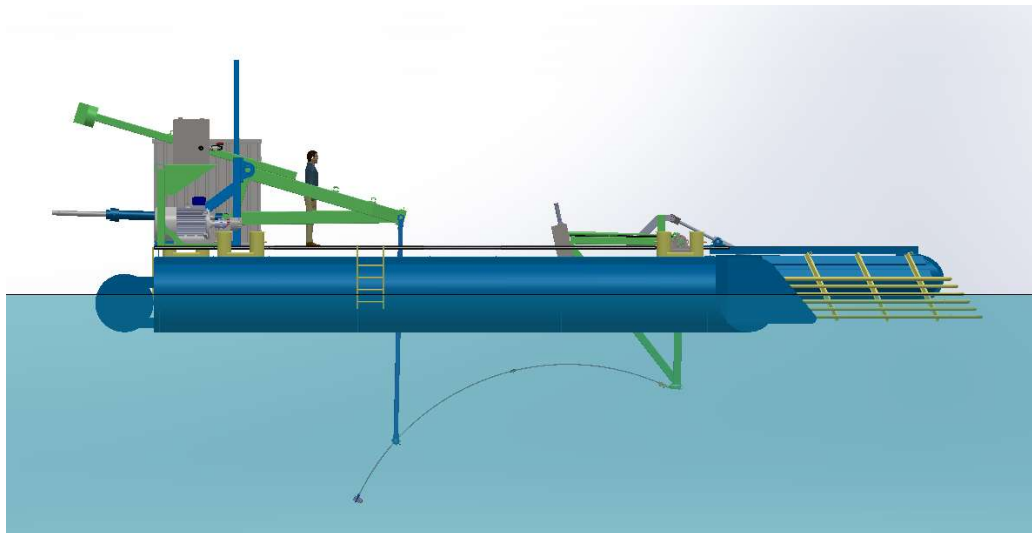


Figure 16 – Illustration de l'enfoncement de la barge sous l'eau

On peut ensuite détailler les dimensions de la membrane.

- Longueur libre de 7m
- Longueur contrainte de 6,3m
- Largeur de 5m
- Epaisseur de 20mm
- Puissance supportée par la mécanique jusqu'à 30kW de production pour une vitesse d'écoulement d'environ 2,8 m/s (coef de sécurité appliqué)

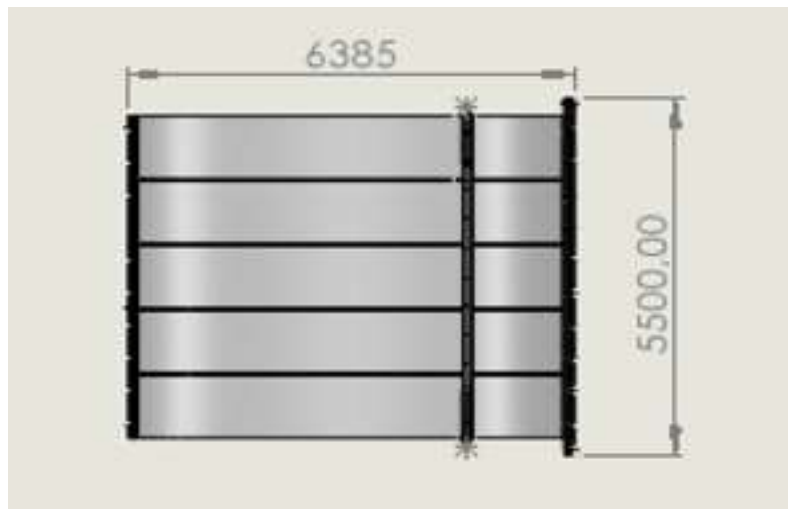


Figure 17 – Dimension de la membrane du système 30kW avec un retrait de 10%

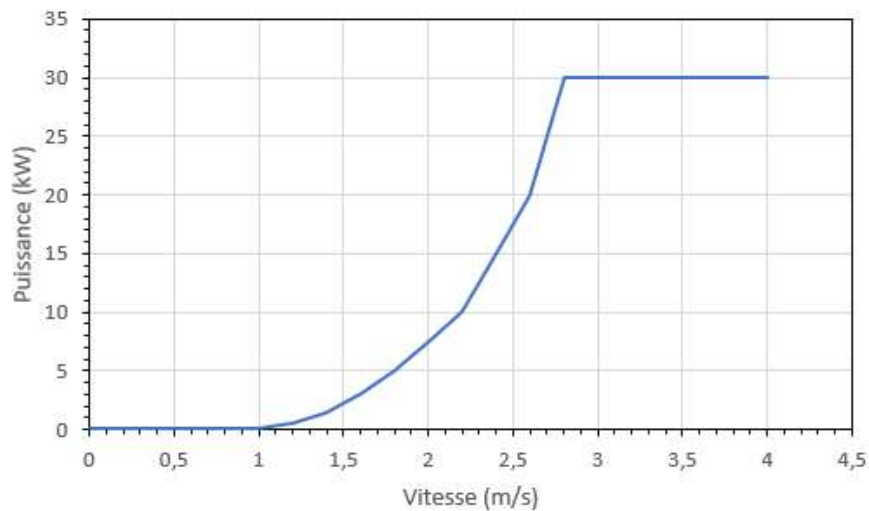


Figure 18 – Graphique présentant la puissance produite par le système en fonction de la vitesse de courant disponible

Remarque : Au-dessus de 2,8 m/s, l'automate décidera de réduire le retrait, mettre la membrane en drapeau, ou retirer la membrane de l'eau en fonction des efforts transmis par les capteurs liés à la mécanique. Par conséquent, il est difficile d'estimer la courbe de puissance au-dessus de 2,8 m/s de courant.



Figure 19 – Membrane du système 30 kW avant installation sur le site de Brest



Figure 20 – Installation de du châssis, de la membrane et des mâts sur la barge sur le site de Brest



Figure 21 – Hydrolienne EEL Energy 30 kW avant son amarrage



Figure 22 – Hydrolienne EEL Energy 30 kW en fonctionnement

4 Impact sur l'environnement

4.1 Impact sur les aspects hydro sédimentaires

L'hydrolienne ne bloque qu'une petite partie de la section du fleuve, et laisse un tirant d'eau au-dessus et en dessous de la membrane. Par conséquent, les risques liés à la circulation des sédiments sont nuls. Cela aurait été différent pour un barrage, qui peut bloquer complètement le courant.

4.2 Impact sur les habitats et espèces qui fréquentent le site de la Feyssine

Actions	Descriptions des impacts
Installation	
Ancrage	L'installation de l'ancrage détruit la flore sur une zone très localisée. Dans notre situation, les poteaux d'ancrage sont déjà installés. Aucun impact n'est donc ajouté.
Assemblage du système	Le système sera assemblé non pas sur le site de production, mais en amont dans une zone prévu à cet effet.
Amener la barge jusqu'au site de production	L'installation du système jusqu'au site de production se fera par remorquage, l'installation ne perturbera que momentanément (une journée) la faune et la flore du site.
Fonctionnement	
Réglage du système	Une fois en fonctionnement, quelques paramétrages seront nécessaires afin d'optimiser le système. Les réglages seront par ailleurs plus récurrents au début de la période de fonctionnement, de 5 jours par semaine, puis 5 jours par mois, et enfin quelques jours par an. Cela occasionnera donc un léger dérangement lors du trajet.
Maintenance	Les maintenances se feront par voie fluviale, le trafic pourra donc occasionner un dérangement de la faune et la flore sur de courtes périodes (maintenances 1 à 2 jours par mois maximum)
Fonctionnement de la machine (acoustique)	L'impact acoustique de la membrane a été testé sur un précédent prototype. Il a été prouvé que le système faisait moins de bruit que l'écoulement de l'eau même. Par conséquent, il est inaudible et ne produit aucune nuisance pour la faune. (Voir doc ci-joint)
Fonctionnement de la machine (physique)	Le mouvement de la membrane est ample et lent (une période de 5 secondes). Les poissons ne risquent donc pas de se blesser avec. La membrane, lors de son ondulation, ne touchera pas la flore, et ne l'impactera pas non plus.

4.3 Mesures permettant de limiter les impacts

1. Les hydroliennes seront implantées le long de la rive droite du Rhône, car il s'agit du secteur ayant la plus grande profondeur. Dès lors, le transit sédimentaire sera moins impacté.
2. Les systèmes ont été dimensionnés et seront installés sur les mêmes poteaux d'ancrage afin de ne pas dégrader davantage le lit du Rhône.
3. Le poste de livraison (injection de l'électricité produite) et le local de conversion déjà existants seront aussi ré-utilisés afin de réduire l'encombrement et la durée du chantier.
4. Le câble de puissance nécessaire à l'acheminement de l'électricité produit des hydroliennes jusqu'au local de conversion sera installé en hauteur. En effet, cela évitera de nombreuses maintenances qui aurait pu être provoqué par l'arrachement de ce câble par de possibles embâcles.
5. Un calendrier de maintenances préventives pourra être rédigé afin de le faire coïncider avec les cycles biologiques des espèces présentes sur le site.
6. Il sera possible de baliser les zones sensibles et primordiales pour les espèces protégées à l'aide de panneaux colorés explicatifs en présence d'un écologue afin de garantir leur préservation.

4.4 Impact sur les usages de l'eau

Malgré l'interdiction d'accès à la barge aux personnes extérieures, le risque de pénétration sur la barge n'est jamais à exclure. Dès lors, elle sera équipée d'un plancher équipé de garde-corps à ses extrémités. Ceux-ci permettent non seulement de signaler à toute personne extérieure que l'accès à la barge est défendu, mais aussi de réduire drastiquement le risque de chute dans l'eau pour les personnes travaillant dessus. Ils seront rigides et mesureront environ 90 cm de haut. De plus, une signalétique de danger HT sera aussi ajoutée sur les coques. Un coffre de 2m x 2m verrouillable et conçu pour résister aux effractions sera aussi installé sur la barge pour stocker le matériel nécessaire à la maintenance du site. Seuls une bouée de sauvetage et un extincteur seront disponibles en cas d'accès non autorisé. Enfin, une signalisation lumineuse sera mise en place pour avertir de la présence de la barge à tout instant.

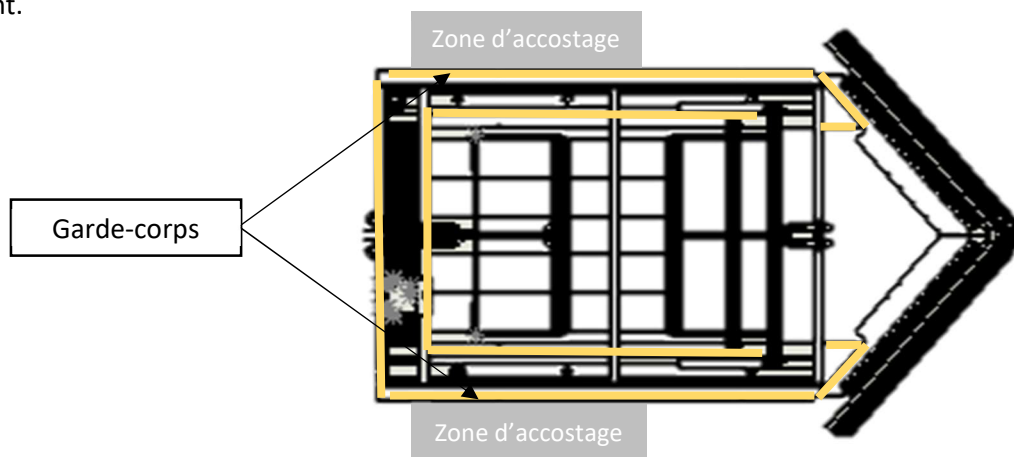


Figure 23 – Description des zones de sécurité sur la barge

4.5 Mesures prises en cas d'intervention des pompiers suite réunion avec SDMIS

Dans le cadre de la réunion effectuée avec les pompiers, leurs différentes remarques ont été prises en considération. Plusieurs modifications ont donc été appliquées sur le système. D'abord, des bittes d'amarrage sont installées sur différentes zones de la barge pour faciliter l'accès de celle-ci. Une fois sur la barge, un bouton rouge est accessible afin d'avoir la possibilité de stopper le système si EEL Energy n'est pas joignable à ce moment précis. La coque du système sera lisse afin d'éviter que les embâcles ne s'y accrochent. Aussi, les différents tubes du pare-embâcle sont séparés de 10cm pour éviter de se coincer un membre. Plusieurs signalétiques ont aussi été ajoutées, notamment une guirlande de LED sur les fils électriques (espacement de 2m entre chaque LED), ou encore des signalétiques sur les coques de danger HT. Des caméras de surveillance seront installées pour veiller à la sécurité. Enfin, les plans du système seront transmis dès qu'ils seront complets et définitifs.