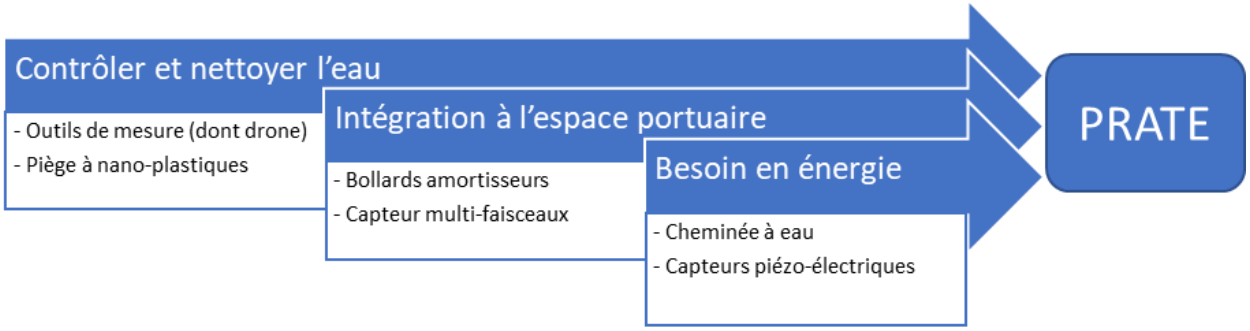
Dossier Syntec : Projet PRATE

Contexte

La gestion de l'eau est un enjeu majeur dans les systèmes urbains, où la demande en eau est croissante tandis que les ressources sont limitées. Avec l'augmentation de la pollution environnementale et industrielle, la présence de contaminants dans les sources d'eau représente un défi majeur pour la qualité de l'eau et la santé publique.



Dans ce contexte, le « Projet de Résistance des Amarres et de Traitement des Eaux » (PRATE) vise à offrir une solution complète de contrôle et de nettoyage de l'eau adaptée aux zones urbaines portuaires en y intégrant les problématiques de réchauffement climatique et de transition énergétique.

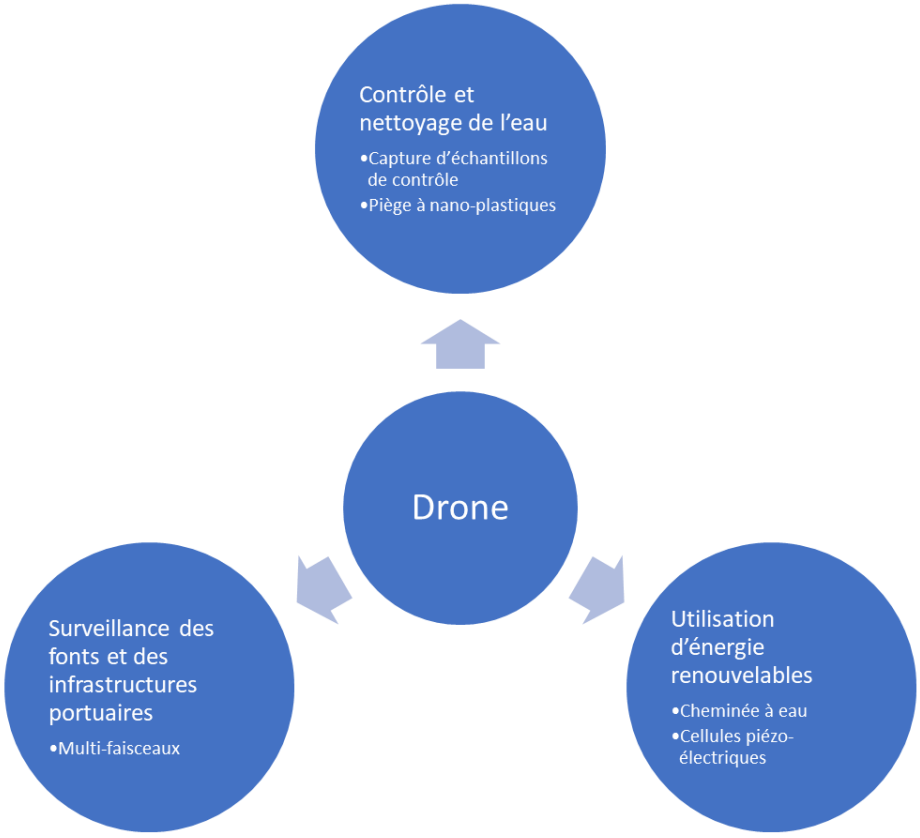
Description de la solution

Pour assurer une mesure et un contrôle de la qualité de l'eau dans les ports, il est possible d'installer des stations de mesure localisées. La limitation principale de ce type de solutions est l'inhomogénéité des résultats dans l'espace portuaire. Avoir une image représentative du port, il serait nécessaire d'installer plusieurs stations, ce qui peut engendrer des coûts importants. L'utilisation d'un drone nautique mobile est donc une solution idéale pour prélever des échantillons à divers endroits du port et les amener à une unique station de contrôle. Elle permet également de mutualiser le contrôle et le nettoyage de l'eau. En effet, le drone pourra également embarquer des systèmes de captation des microplastiques et nettoyer le port lors son passage. Là encore, la mobilité du drone offre une efficacité supérieure à un système de captation stationnaire.

Ce projet, est toutefois soumis à un certain nombre de contraintes liés à l'environnement portuaire. Pour limiter l'impact de la station de contrôle, celle-ci devrait pouvoir permettre un amarrage sécurisé des navires. Pour répondre à cette problématique, l'équipe de PRATE à étudier la solution de bollards amortisseurs en caoutchouc. De nombreux ports sont soumis soit à des houles importantes soit à des effets du mascaret (onde de marée qui peut remonter le courant sur des dizaines de kilomètres. Rouen, par exemple, à 110 km des côtes, en subit les effets). Ces contraintes peuvent avoir comme impact la rupture des amarres des navires qui y mouillent. Ceux-ci posent de graves problèmes de sécurité et

engendre des coûts importants (peut coûter plusieurs millions d'euros pour chaque rupture). Au cours de cette étude, l'équipe de PRATE s'est donc intéressée à une solution de bollard amortissant permettant d'éviter la rupture des amarres des navires qui voudraient s'amarrer proche de la station de contrôle.

Avec le changement climatique et la montée des eaux qui en résulte, les ports subiront des modifications majeures de leur environnement. Les infrastructures pourraient subir des efforts plus importants et les zones de dépôts de sédiments pourraient se trouver fortement modifiées. Pour surveiller l'évolution des fonts et la résistance des structures, le drone pourrait également facilement être équipé de capteurs multi-faisceaux.



Afin de rester cohérent sur ses objectifs de respect et de contrôle de l'environnement, PRATE se devait d'être énergétiquement auto-suffisant. La station d'accueil du drone sert donc à la fois de collecte des échantillons pour analyse et de hub de rechargement. Les outils d'analyse nécessitent une faible quantité d'énergie qui pourra être fournie par la déformation des bollards amortisseurs au travers de cellules piézo-électriques. Ces dernières permettent de transformer une pression ou une déformation et courant électrique susceptible d'être suffisante pour des mesures ponctuelles. La technologie piézo-électrique est renouvelable mais encore assez peu développées. Elle pourrait constituer un moyen passif de collecte de données dans un futur proche.

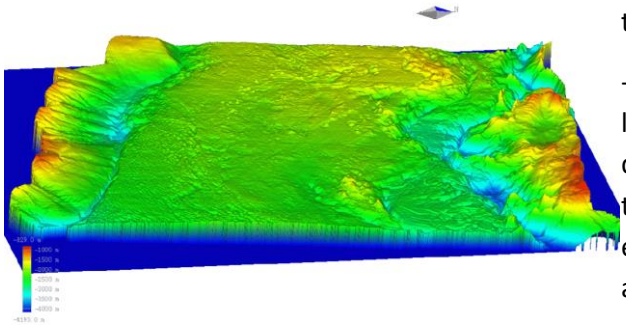
Il faut toutefois plus d'énergie pour recharger le drone lui-même. Les zones portuaires sont soumises à deux effets différents selon leur localisation : la marée pour les ports maritimes et les courants pour les ports fluviaux. L'énergie cinétique (vitesse) contenue dans ces courants (de marée ou fluviaux) est importante car la masse volumique de l'eau est 1000 fois supérieure à celle de l'air. L'installation d'une cheminé à eau semble donc particulièrement adaptée à PRATE. Celle-ci permet en effet de récupérer aussi bien les courants de marée ou fluviaux que l'énergie potentielle des vagues.

En somme, PRATE vise à construire une station autonome de contrôle et nettoyage des espaces portuaires en combinant diverses technologies adaptées à cet environnement. L'étude de faisabilité s'est principalement portée sur les bollards amortisseurs et la cheminée à eau. L'équipe de PRATE a toutefois mis un point d'honneur à vérifier la cohérence du projet en termes d'énergie et a réalisé une veille technologique pour chacun des composants de la station décrit. Les résultats sont détaillés ci-dessous.

Études de faisabilité

Drone

Le choix du drone est central pour le fonctionnement de PRATE. Il devra être capable de fonctionner par temps défavorables, se déplacer de façon autonome dans une large zone et retourner à la station de mesure pour recharger ses batteries. Il doit également pouvoir transporter une charge utile suffisante pour embarquer les échantillons d'eau prélevés pour analyse, le piège à nano-plastiques ainsi que le capteur multi-faisceaux.



Le drone WIBOAT C3 semble répondre à toutes les exigences techniques de PRATE :

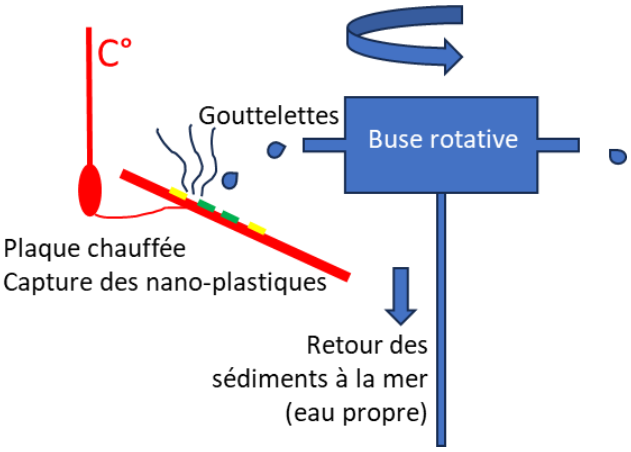
- Avec une autonomie de 8h, il pourra facilement parcourir l'espace portuaire dans sa globalité. Il est également équipé d'un système ultrason pour l'évitement d'obstacles et totalement programmable pour être autonome. Il peut également charger sa batterie grâce à sa technologie « Plug and Play ».

- Il permet de fonctionner parfaitement en SS-2 (état de mer- « belle ») mais est dimensionné pour du SS-4 (état de mer- « agitée ») en mode « survie ». Ces plages de fonctionnement sont parfaitement cohérentes avec son fonctionnement dans un port où la houle dépasse rarement 2,5 m.

- Il a une charge utile de 45 kg, théoriquement suffisant pour tous les modules prévus.

Piège à nano-plastiques

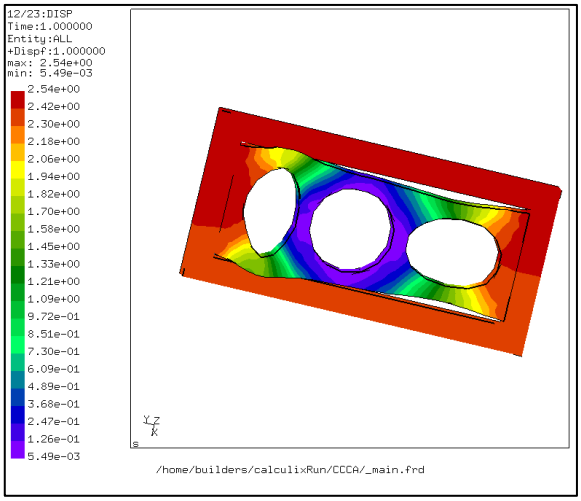
Le Piège à nano-plastiques n'est pas un filtre mais c'est un épurateur. Une buse génère des gouttelettes d'eau à épurer sur 360 degrés. Un anneau cylindrique chauffant reçoit ces gouttelettes. Elles s'évaporent, des sédiments tombent par gravité, du plastique se colmate sur l'anneau chauffant, de la vapeur d'eau épurée est créée. Un racloir tournant en permanence permet de récupérer le plastique colmaté.



A ce système, il peut être rajouté une polarisation pour provoquer le décollement des nano-plastiques.

La température de chauffe de l'anneau et la vitesse de décollement des plastiques sont des paramètres à adapter afin que les plastiques ne se dégradent pas et soient la source de pollution. Au sein du projet « PRATE », le piège à nano-plastiques serait placé directement sur le drone et épurera l'eau au cours de son parcours dans le port. Les microplastiques ainsi collectés seront ramenés à la station d'accueil et récupérés de temps en temps.

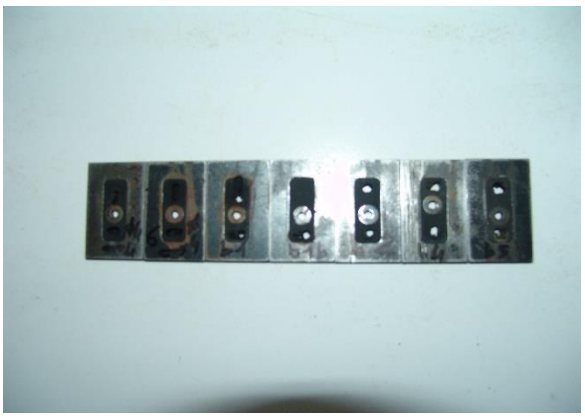
Bollard amortisseur



Le bollard amortisseur est en caoutchouc et de forme cylindrique afin que la pièce puisse résister aux différentes contraintes mécaniques et aux forces de tractions et compressions exercées par les câbles d'amarrage des bateaux. Ce bollard est également encapsulé dans un cerclage en acier par mesure de sécurité en cas de circonstances accidentelles comme la collision avec un autre navire.

Une pré-étude numérique a été réalisée pour déterminer les formes des prototypes physiques à réaliser. Plusieurs modèles ont été comparés à l'aide de Calculix (logiciel de calcul mécanique). Des efforts de compressions et de traction ont été appliqué à chacun des 8 designs initialement choisis en y appliquant les propriétés déformantes du caoutchouc. A la fin de cette pré-étude, deux géométries ont été retenue :

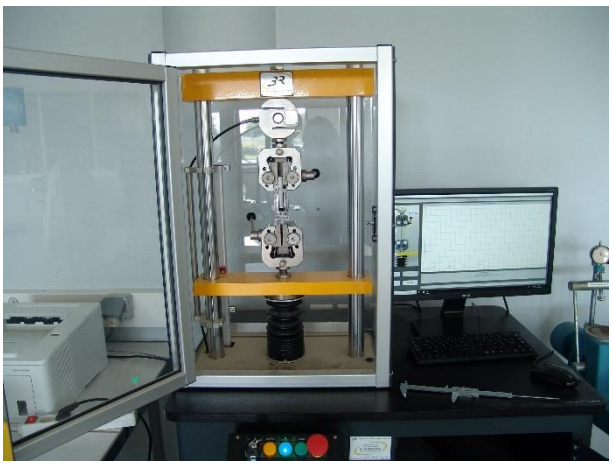
- la première est composée de trois ouvertures circulaires. L'ouverture centrale a un rayon plus grand et servira de point d'attache aux bittes d'amarrages déjà existantes.
- pour la seconde, le cercle central est conservé, mais les ouvertures latérales sont remplacées par des ellipses orientées. La partie soumise à la traction sera orientée verticalement, tandis que l'autre côté subissant une compression sera réalisé horizontalement.



Une fois les designs sélectionnés, les prototype ont été réalisés par la société SNAC. Ils ont ensuite été soumis à des essais mécaniques de traction et compression. Des essais de résistance à la houle ont également été réalisés.

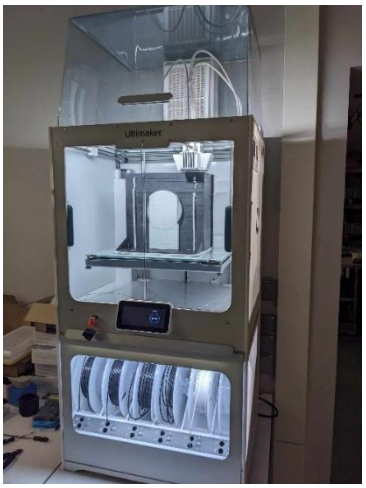
Les courbes des essais de tractions montrent qu'à certains stades de déplacement, il se produits des variations du comportement du caoutchouc. Le calcul numérique considère que le caoutchouc est resté homogène. De façon approximative, au-dessus de 2 MPa, il se passe des transformations dans le caoutchouc.

Dans le dimensionnement du bollard industriel, il faudra imposer que les contraintes restent inférieures à 2MPa. Tout de fois le caoutchouc pourra supporter des contraintes nettement supérieures dans des cas d'anomalie non prévu.



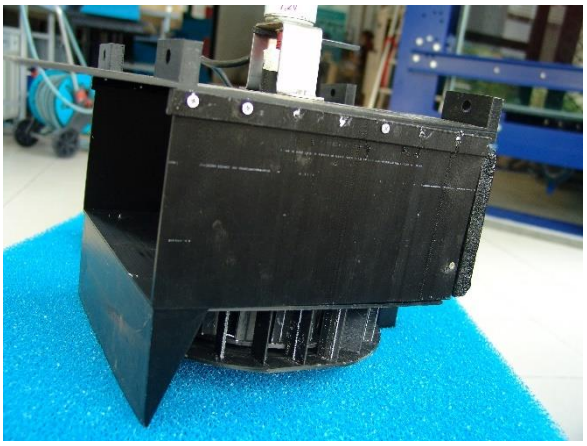
Les déformations mises en avant devraient permettre, en théorie, le fonctionnement passif des mesures réalisées ponctuellement par la station de mesure.

Cheminée à eau



La cheminée à eau servira d'alimentation principale pour le drone. L'avantage de cette technologie est qu'elle est adaptée aussi bien à la récupération d'énergie par les courants (de marées ou fluviaux) que par les vagues. Elle est donc idéale pour les ports.

Le principe est de coupler une turbine à axe vertical (hydrolienne) à un caisson conducteur pour maximiser la récupération des différentes sources d'énergies (cinétique et potentielle) du port. Pour tester ces hypothèses, une maquette de cheminée à eau a été réalisée au sein de l'école à l'aide d'une imprimante 3D. Celle-ci a ensuite été positionnée dans le canal à houle et courant de l'école pour tester les performances de la turbine.



D'après les résultats, pour une turbine à échelle 1 et dans un environnement avec un peu de courant, la production de la turbine devrait être suffisante pour alimenter le drone. Une batterie de stockage (ou une bobine) supplémentaire et localisé à la station pourrait permettre au système de continuer à stocker de l'énergie même en l'absence du drone.

Conclusion

Le projet nous a permis l'étude de nombreux systèmes mécaniques et automatiques. Nous avons dimensionné des prototypes et les avons fait construire par des industriels partenaires. Nous avons utilisé l'impression 3D pour créer nos propres prototypes que nous avons pu tester par la suite. Nous avons appris l'utilisation de nouveaux logiciels d'ingénierie et étudié différentes approches théoriques pour chacun des modules de PRATE. Enfin, nous avons fait de la veille technologique qui a mené à la sélection d'un drone adapté au besoin et auquel pourront se greffer les outils utiles pour les ports (multi-faisceaux, piège à nano-plastiques, récupération d'échantillons pour analyse…).

Contrôler et nettoyer l'eau d'un port pourrait sembler être un objectif facile à atteindre. Toutefois, la prise en compte des contraintes de l'environnement portuaire et écologiques peut mener à la complexification d'un système initialement simple. Dans le projet PRATE, nous avons cherché à répondre à atteindre notre objectif intégrant notre solution dans son environnement avec ses avantages, ses contraintes et ses inconvénients. En proposant le couplage drone-station d'accueil, nous rendons la solution adaptable à de nombreux environnements et offrons donc une possibilité d'utiliser cette solution à échelle industrielle.

Pour faire un démonstrateur complet et améliorer notre solution, un démonstrateur échelle 1 pourrait être construit, mais celui-ci nécessite des moyens que nous n'avons pas à ce jour. Soumettre ce projet à Syntec est aussi la possibilité pour nous de lui donner de la visibilité et lui donner une chance d'évoluer à l'échelle supérieure.