

Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation

Composante de recherche et de développement

Rapport public

Projet : Réduction des coûts de production d'énergie marémotrice grâce à l'évaluation hydrodynamique détaillée des sites.



Une bouée GPS dérivante à profil bas mesure la vitesse du débit alors qu'elle dérive près de la plateforme d'essai d'énergie marémotrice ecoSpray dans le Grand Passage, en Nouvelle-Écosse.

Table des matières :

1	Sommaire	3
2	Introduction et contexte	3
3	Activités du projet	5
3.1	Mesurer et modéliser les conditions de courant naturelles	5
3.1.1	Mesures sur le terrain.....	5
3.1.2	Modélisation numérique	7
3.2	Modélisation des convertisseurs d'énergie marémotrice.....	9
3.2.1	Modélisation des structures de soutien.....	9
3.2.2	Modélisation DNF.....	11
3.3	Déploiement de l'ecoSpray : une plateforme flottante de turbine marémotrice	13
4	Conclusion et suivi	17
4.1	Résultats	17
4.1.1	Résultats pour l'industrie de l'énergie marémotrice :	17
4.1.2	Améliorations aux technologies, aux méthodes et aux logiciels :	18
4.1.3	Résultats à long terme :	18
4.2	Prochaines étapes.....	18
4.2.1	Prochaines étapes en matière de développement technologique :	18
4.2.2	Prochaines étapes en matière d'améliorations à la réglementation :	19
4.2.3	Prochaines étapes en matière de pénétration du marché :	19
4.2.4	Derniers commentaires :	20
4.3	Publications du projet.....	20
4.4	Renseignements sur les personnes-ressources.....	21

1 Sommaire

Notre projet avait pour objectif de réduire les coûts, et par conséquent les risques, liés à la mise en valeur de l'énergie marémotrice au moyen d'une évaluation complète du site. Le projet établissait un partenariat entre trois universités — Acadia, Dalhousie et l'Université du Nouveau-Brunswick (UNB) — et trois compagnies — Fundy Tidal Inc. (FTI), Dynamic System Analysis (DSA) et Clean Current. Le projet mettait l'accent sur les projets marémoteurs communautaires prévus dans la région de la péninsule de Digby, en Nouvelle-Écosse. Les emplacements du comté de Digby offrent des sites faciles d'accès et un éventail de conditions environnementales. Remarquez que l'accent communautaire du projet a permis la croissance de plusieurs petites compagnies canadiennes.

Le projet a permis de caractériser les sites des trois passages de la péninsule de Digby et de formuler des recommandations touchant le déploiement de turbines dans chacun des sites. Les mesures sur le terrain et les modélisations numériques ont illustré que les courants de marée présentent d'importantes variations sur un site, présentent un niveau de turbulence élevé et peuvent se combiner avec les vagues pour produire des conditions extrêmes. Le projet a permis de déterminer les spécifications des turbines pour chacun des sites.

On a réussi, dans le cadre du projet, à mettre au point, à démontrer et à valider des technologies rentables d'évaluation des sites. Cela comprend de nouvelles technologies de mesure sur le terrain capables de caractériser le débit de marée, comme des bouées dérivantes peu coûteuses pour mesurer le débit de surface et des profileurs de courant à effet Doppler (*acoustic Doppler current profilers* – ADCP) à usages multiples pour mesurer la turbulence et le mouvement des vagues de même que les variations de débit à long terme. En outre, le projet a permis de mettre au point des modèles numériques innovateurs capables d'analyser des échelles spatiales variant des pales de turbine à des passages entiers, et des échelles temporelles variant de quelques secondes à 50 ans. Ces modèles numériques ont été conçus pour être rentables et accessibles aux promoteurs de projets.

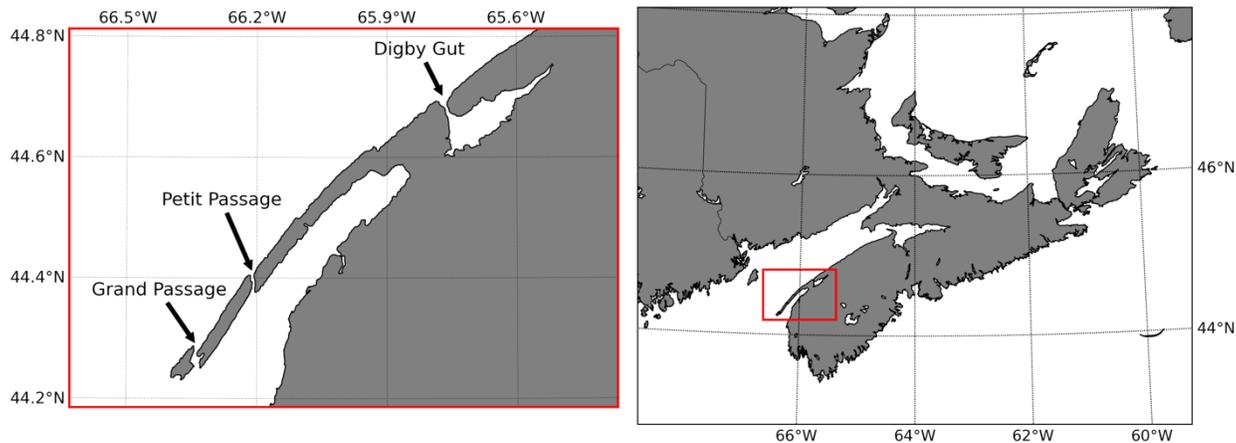
Le projet a été confronté à un défi de taille lorsqu'une turbine n'a pas été déployée dans les passages de la péninsule de Digby comme prévu. Pour relever ce défi, on a déployé l'[ecoSpray](#), une plateforme conçue pour reproduire une turbine flottante. Le déploiement de l'ecoSpray a non seulement permis de prendre d'importantes mesures sur le terrain des forces exercées sur une plateforme de surface et du débit autour de cette plateforme, mais a démontré qu'il était possible de construire et de déployer une plateforme à coût raisonnable et en utilisant les ressources locales.

Enfin, on a réussi grâce au projet à mettre au point de nouvelles technologies de mesure sur le terrain, de nouveaux logiciels de modélisation numérique et des techniques d'analyse des données. Les partenaires du projet ont utilisé ces technologies pour devenir des chefs de file dans la mise en valeur de l'énergie marémotrice dans la baie de Fundy. Le projet a favorisé d'autres recherches universitaires, a créé des partenariats entre les universités et l'industrie et a permis à des compagnies canadiennes d'entrer dans la concurrence dans l'industrie mondiale de l'énergie marémotrice.

2 Introduction et contexte

En 2012, la [Feuille de route technologique sur l'énergie marine renouvelable](#) (en anglais seulement) du Canada fixait des objectifs ambitieux pour l'industrie canadienne de l'énergie marémotrice exigeant des chercheurs et développeurs canadiens qu'ils fassent la démonstration de projets à l'échelle commerciale, d'approches et d'expertise au cours de la décennie suivant la publication du rapport. Au même moment, la province de la Nouvelle-Écosse présentait un [programme communautaire de tarif de rachat garanti](#) (COMFIT, en anglais

seulement) qui appuyait le développement de projets communautaires d'énergie marémotrice. Les deux initiatives reconnaissaient que pour accélérer la commercialisation de l'énergie marémotrice, le coût par kilowattheure d'énergie marémotrice produite devait être réduit grâce à des apprentissages par l'expérience et à des progrès technologiques. Ce projet a été conçu pour réaliser cet objectif en réalisant une évaluation hydrodynamique complète des sites du COMFIT accordés à la compagnie FTI.



(gauche) L'emplacement des trois passages de la péninsule de Digby étudiés dans le cadre de ce projet. (droite) L'emplacement de la péninsule de Digby par rapport à la baie de Fundy et à la Nouvelle-Écosse.

Les trois sites, soit Digby Gut, Grand Passage et Petit Passage (montrés ci-avant), ont été sélectionnés par l'entreprise FTI parce qu'ils conviennent particulièrement au déploiement et à la mise à l'essai de convertisseurs d'énergie marémotrice (*tidal energy converters* – TEC) individuels et en petits réseaux commerciaux. Ces sites présentent un éventail de régimes de courants de marée variant d'énergique à très énergique, ce qui constitue un excellent banc d'essai pour mettre au point les techniques d'évaluation des sites requises.

On a entrepris, dans le cadre du projet, de combler les principales lacunes en matière d'évaluation des sites. Les travaux antérieurs n'avaient mis l'accent que sur l'identification des passages présentant de forts courants de marée et, par conséquent, le potentiel de créer une quantité importante d'énergie. Ce projet reconnaissait que les sites devaient être évalués de façon plus détaillée afin de déterminer comment les caractéristiques des sites influent sur la conception, la construction et les coûts d'exploitation de chaque technologie TEC. En tenant compte des caractéristiques hydrodynamiques de chaque site, de même que des enjeux opérationnels et techniques, ce projet avait pour objectif de mettre au point des stratégies et des techniques permettant de déterminer l'emplacement et la disposition des réseaux de TEC qui assurent le plus faible coût par kilowattheure. Toutefois, les méthodes et les technologies utilisées permettant de réaliser une évaluation aussi détaillée des sites n'existaient pas ou étaient extrêmement coûteuses. Ainsi, une composante essentielle du projet était de mettre au point et de valider des techniques de mesure sur le terrain et de modélisation numérique capables de produire une évaluation économique et complète des sites.

Le projet a été réalisé entre janvier 2012 et mars 2016, principalement en Nouvelle-Écosse et au Nouveau-Brunswick. Les partenaires du projet étaient trois universités et trois compagnies :

- [Université Acadia](#) (en anglais seulement) : Sous la direction de Richard Karsten, Ph. D., de l'[Acadia Tidal Energy Institute \(ATEI\)](#) (en anglais seulement), qui se spécialise en océanographie côtière numérique.
- [Université Dalhousie](#) (en anglais seulement) : Sous la direction d'Alex Hay, Ph. D., du [Department of Oceanography](#) (en anglais seulement), qui se spécialise en océanographie physique et en mesures sur le terrain.

- [Université du Nouveau-Brunswick](#) (UNB, en anglais seulement) : Sous la direction d’Andrew Gerber, Ph. D., et Tiger Jeans, Ph. D., du [Department of Mechanical Engineering](#) (en anglais seulement), qui se spécialisent en modélisation dynamique numérique des fluides (DNF) des courants et des structures.
- [Fundy Tidal Inc. \(FTI\)](#) (en anglais seulement) : Le promoteur du COMFIT.
- [Dynamic System Analysis](#) (DSA, en anglais seulement) : Un cabinet d’experts-conseils et de conception de logiciels en génie océanique.
- Clean Current : Un fabricant de turbines marémotrices.

3 Activités du projet

Le projet a été divisé en trois activités générales : déterminer les conditions de courant naturelles, modéliser le rendement d’une TEC dans ces conditions et déployer la plateforme d’essai.

3.1 Mesurer et modéliser les conditions de courant naturelles

Le premier objectif du projet consistait à établir les conditions de courant naturelles dans chacun des trois passages par une combinaison de mesures sur le terrain et de modélisation numérique.

3.1.1 Mesures sur le terrain

Le projet a permis de réaliser un nombre inédit de mesures océanographiques et environnementales sur un site de production d’énergie marémotrice. On a utilisé un vaste éventail d’appareils pour mesurer les niveaux d’eau, la vitesse du courant, le courant de surface, la structure verticale du courant de marée, la variabilité du courant, la dynamique de la couche limite du fond et les caractéristiques des ondes de gravité de surface. Beaucoup de ces mesures ont été réalisées au moyen de technologies mises au point expressément pour ce projet. Nous résumons les mesures sur le terrain dans le tableau suivant :

Principale mesure du courant réalisée par l’Université Dalhousie et FTI	Images montrant la technologie de R-D
<p>Déploiements d’ADCP dans les trois passages pendant des périodes courtes et longues, en particulier un déploiement à long terme (août 2014 à septembre 2015) d’un ADCP relié par câble à une station côtière de Grand Passage connectée à Internet et configurée pour recueillir des données sur les vagues et le courant afin de calculer la turbulence.</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Déploiement d’un ADCP à Grand Passage (gauche) et l’ADCP relié par câble plusieurs mois après son déploiement dans Grand Passage (droite).</p>

Principale mesure du courant réalisée par l'Université Dalhousie et FTI

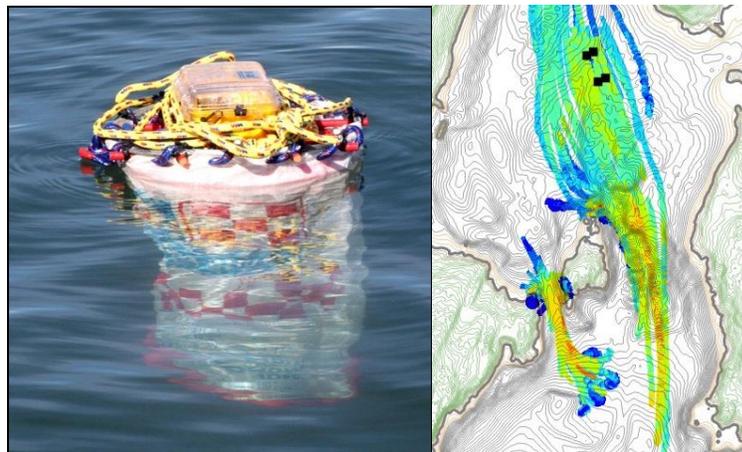
Images montrant la technologie de R-D

Mesures de la turbulence au moyen d'un ensemble d'instruments de calcul de la turbulence à la fine pointe de la technologie, y compris le Microrider de [Rockland Scientific](#) (en anglais seulement), des ADCP nouvellement mis au point, des vélocimètres point par point Nortek Vector Acoustic Doppler, de même que le profileur à microstructure verticale de Rockland Scientific (non montré).



La bouée Stablemooor et l'ensemble de capteurs dont elle est munie, avant son déploiement dans le Grand Passage pour l'expérience de 2013 sur la turbulence. Les capteurs, dans le sens horaire à partir du coin supérieur gauche, sont un vélocimètre Nortek Acoustic Doppler, un débitmètre électromagnétique JTec, un profileur de courant à effet Doppler Nortek et le Microrider de Rockland Scientific avec les sondes de cisaillement (à pointe blanche) protégées par les quatre tubes d'acier externes (à pointe noire).

On a effectué des centaines de dérives en surface au moyen d'une bouée dérivante de surface peu coûteuse à profil bas, ce qui a fourni une carte de la variabilité spatiale des courants de marée près de la surface, et a ainsi corrigé une lacune des instruments fixés au fond.

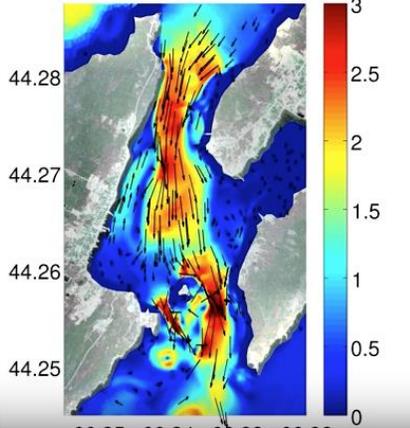


Une bouée dérivante (gauche) et une carte de la vitesse de jusant dans le Grand Passage tirée des données de la bouée dérivante (droite).

Principale mesure du courant réalisée par l'Université Dalhousie et FTI	Images montrant la technologie de R-D
<p>Une analyse détaillée du plancher océanique, y compris de l'imagerie vidéo, des échantillons instantanés, l'utilisation d'un pénétromètre dynamique, d'un sonar à balayage latéral d'un profileur de sédiments dans les trois passages. Les données bathymétriques ont été combinées en un seul ensemble complet de données bathymétriques à haute résolution pour les trois passages.</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p style="text-align: center;">Une image du plancher océanique (gauche) et un pénétromètre qui touche le fond de l'océan après avoir été lâché d'un bateau (droite).</p>

3.1.2 Modélisation numérique

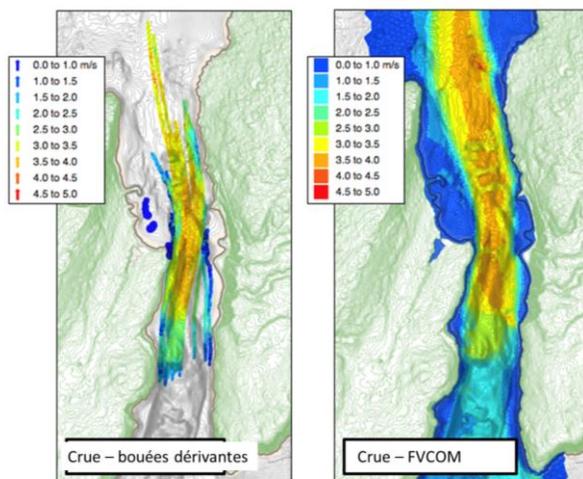
Les observations ont été utilisées pour valider et raffiner le modèle océanographique de la région de l'Université Acadia. Le modèle numérique a été utilisé pour produire des simulations 3D à long terme à haute résolution du courant à chaque site. En outre, le projet a permis de mettre au point un progiciel ouvert novateur d'analyse de données, PySeidon, afin d'analyser et de comparer la grande quantité de données de terrain et numériques produites par le projet.

Modèle principal de l'Université Acadia	Image du résultat de la simulation
<p>Le modèle comprend la bathymétrie à haute résolution des trois passages. Le modèle présente une résolution atteignant 20 m dans les trois passages, qui permet de calculer le courant à l'échelle des sites des turbines, y compris les fluctuations à haute fréquence associées aux grands remous et aux grands sillages.</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Animation des courants de marée simulés dans le Grand Passage. (cliquez ici pour l'animation complète)</p>

Modèle principal de l'Université Acadia

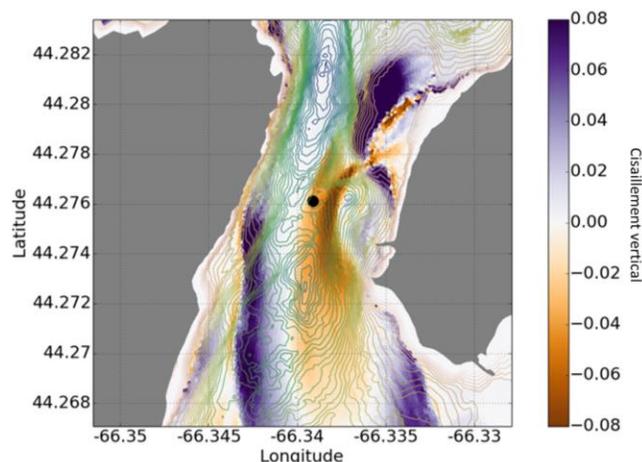
Image du résultat de la simulation

Les observations sur le terrain ont été utilisées pour valider et raffiner le modèle océanographique de la région élaboré par l'Université Acadia.

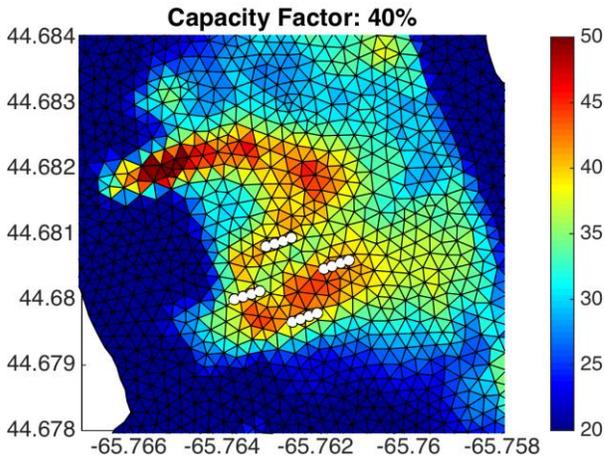


Comparaison des vitesses des bouées dérivantes (gauche) aux vitesses simulées (droite) dans le Petit Passage.

Le modèle produit des profils de courant vertical précis et peut indiquer les régions de fort cisaillement qui ne conviennent pas au déploiement de turbines.



Carte du cisaillement dans la partie nord du Grand Passage. La région de fort cisaillement négatif (de couleur orange) indique que cet emplacement ne convient pas au déploiement de turbines et aide à expliquer les niveaux de turbulence élevés dans la région.

Modèle principal de l'Université Acadia	Image du résultat de la simulation
<p>Les courants de marée simulés à partir du modèle numérique de l'Université Acadia ont été utilisés pour calculer la production d'énergie et les facteurs de capacité pour différentes turbines à tous les emplacements et à différentes profondeurs dans les passages. Cette analyse a servi à déterminer la viabilité financière des projets et à déterminer les sites qui exigent une évaluation plus poussée.</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Les résultats du modèle numérique ont été utilisés pour prévoir le facteur de capacité d'une turbine à tous les emplacements de Digby Gut. Les points blancs représentent un réseau de turbines qui présenterait un facteur de capacité général de 40 %.</p>

En réalisant les évaluations détaillées des sites, le projet a permis de mettre au point de nouvelles technologies et d'établir des protocoles de collecte de données sur le terrain et de validation des modèles numériques. Les données produites ont servi à établir que les régimes d'écoulement de Grand Passage et de Digby Gut convenaient moins aux turbines que ce que les évaluations initiales avaient indiqué, alors que Petit Passage présentait les courants convenant le mieux au déploiement de turbines au moyen de technologies commercialement viables existantes. Les débits moins élevés près du plancher océanique ont déplacé l'analyse vers le rendement et la rentabilité des plateformes de surface. Cette analyse a exigé une analyse plus détaillée de l'incertitude dans les prévisions énergétiques à long terme, des niveaux élevés de turbulence dans le courant et des conditions extrêmes de houle et de tempête. Les résultats du projet ont rappelé à l'industrie de l'énergie marémotrice qu'une évaluation complète du site est nécessaire avant de pouvoir déterminer la faisabilité d'un projet d'énergie marémotrice.

3.2 Modélisation des convertisseurs d'énergie marémotrice

La deuxième activité du projet consistait à modéliser des modèles particuliers de TEC afin d'estimer leur potentiel de production d'énergie et leur appropriation au déploiement sur les sites choisis. Afin d'atteindre cet objectif, les ingénieurs de DSA, de l'UNB et de Clean Current ont travaillé en étroite collaboration pour modéliser tous les aspects du rendement d'une turbine (d'autres technologies de turbine ont été évaluées, mais pas de manière aussi approfondie).

3.2.1 Modélisation des structures de soutien

Les recherches de DSA mettaient l'accent sur l'évaluation de la manière dont les turbines, leurs structures de soutien, leurs plateformes et leurs systèmes d'amarrage se comportaient dans les environnements de marée que l'on retrouve dans l'avant-baie de Fundy. La phase initiale de la recherche mettait l'accent sur l'amélioration du logiciel ProteusDS afin de pouvoir prévoir les charges et les mouvements des plateformes marémotrices. La réduction de la taille et du poids des plateformes réduira directement les coûts d'investissement (installation) et d'entretien. La taille des structures dépend directement des renseignements tirés de l'évaluation d'un site particulier (plancher océanique, vent, houle et courant).

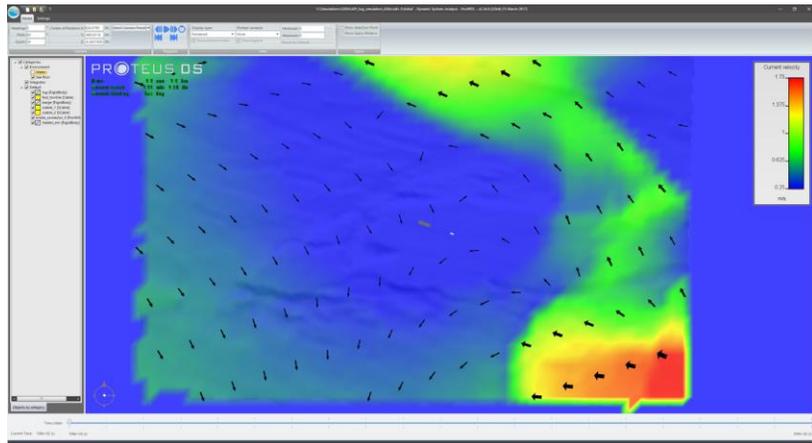
Principales activités de R-D de DSA

Les calculs relatifs à l'ancrage et aux fondations ont été effectués et les ancrages ont été mis à l'essai.

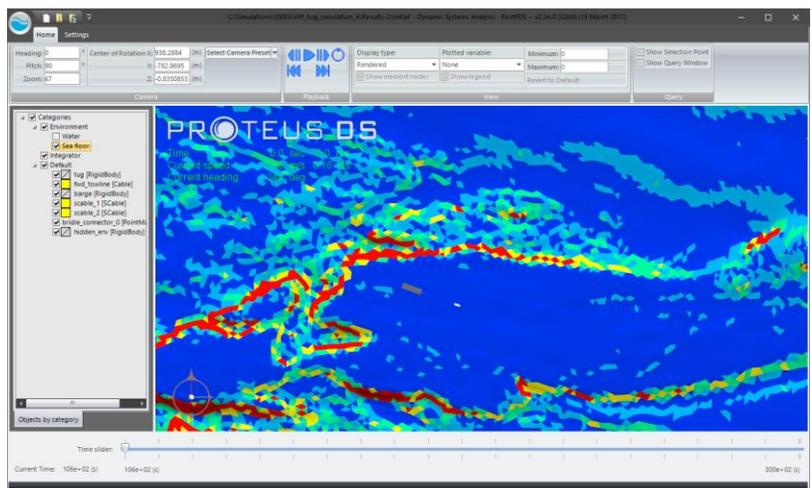
Image montrant la technologie de R-D

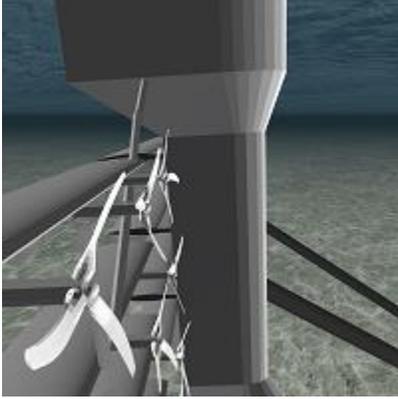
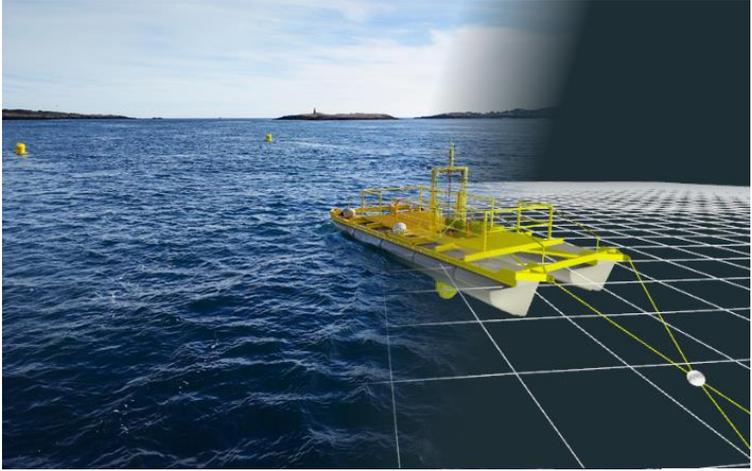


Utilisation de modélisations 3D du courant, variables dans l'espace et le temps, dans le logiciel ProteusDS, y compris la capacité de visualiser ces courants.



Capacité d'analyse de la bathymétrie ajoutée au logiciel ProteusDS, ce qui permet de choisir l'emplacement des ancrages en fonction de la pente du plancher océanique et des zones d'exclusion. Les critères de sélection des emplacements des ancrages ont fait l'objet de recherches.

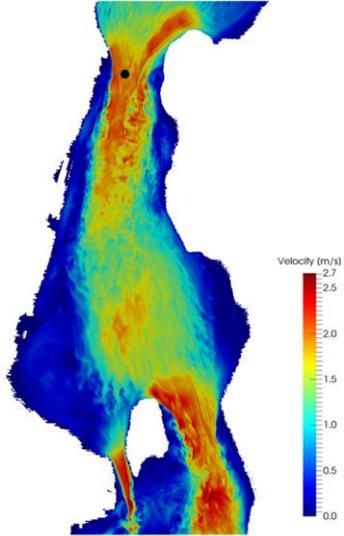
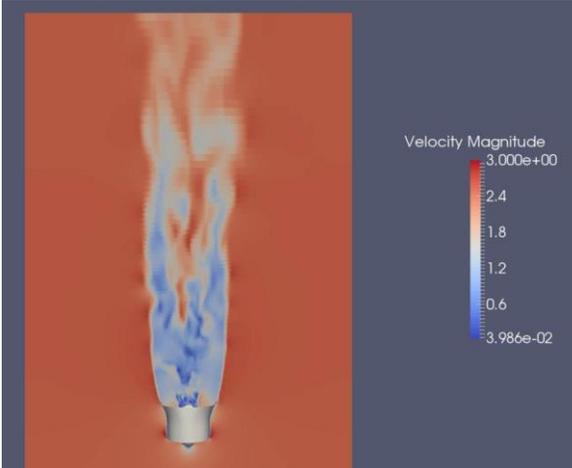
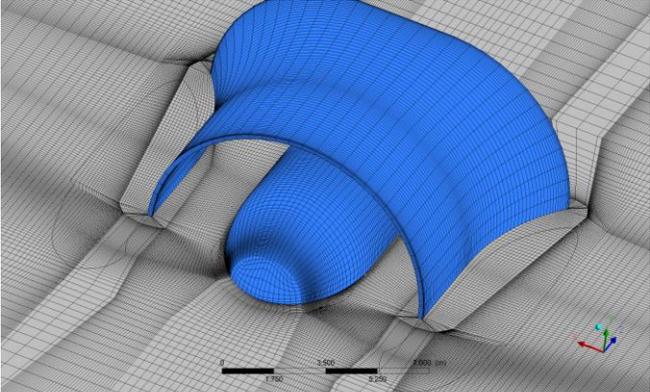


Principales activités de R-D de DSA	Image montrant la technologie de R-D
<p>On a ajouté et raffiné une capacité de modélisation de turbine au moyen d'un modèle numérique « turbine » dans ProteusDS.</p>	
<p>Des modèles de systèmes d'amarrage et de câbles d'alimentation ont été réalisés dans le logiciel ProteusDS, avec pour résultat le déploiement d'une plateforme et d'un système d'amarrage décentralisé dans le Grand passage. On a recueilli des données qui valideront le modèle numérique.</p>	

3.2.2 Modélisation DNF

L'UNB a amélioré son logiciel [EXN/Aero](#) (en anglais seulement) afin de modéliser un dispositif de TEC intégré dans le champ d'écoulement turbulent entièrement instable produit par son modèle à haute résolution du Grand Passage. Les chercheurs de l'UNB ont ensuite raffiné leur logiciel EXN/Aero afin de modéliser le courant de marée turbulent et le rendement de la turbine de Clean Current. Les principaux résultats sont abordés dans le tableau suivant :

Images des simulations DNF	Principales activités de R-D de l'UNB
	<p>Les courants de marée sont très turbulents, ce qui rend difficile le déploiement fiable des turbines. Les calculs par superordinateur (dont une partie est montrée juste sous la surface de l'eau à une profondeur pertinente pour une turbine) permettent aux</p>

Images des simulations DNF	Principales activités de R-D de l'UNB
	<p>concepteurs de comprendre ce comportement de manière très détaillée. Les programmes de simulation de la circulation des fluides à calcul de haute performance (comme EXN/Aero) permettent des prévisions tridimensionnelles du champ d'écoulement. On montre les résultats pour le Grand Passage au jusant.</p>
	<p>Le courant turbulent qui passe dans une turbine est montré pendant que la turbine extrait de l'énergie du courant. On élabore des modèles approximatifs à inclure dans des modèles plus gros, comme on le montre ci-devant. La turbine serait placée à l'endroit du point noir dans l'image précédente.</p>
	<p>Les modèles informatisés de la géométrie de la turbine, utilisés dans les modèles qui précèdent, sont très réalistes et permettent aux concepteurs de tester le rendement de diverses configurations.</p>

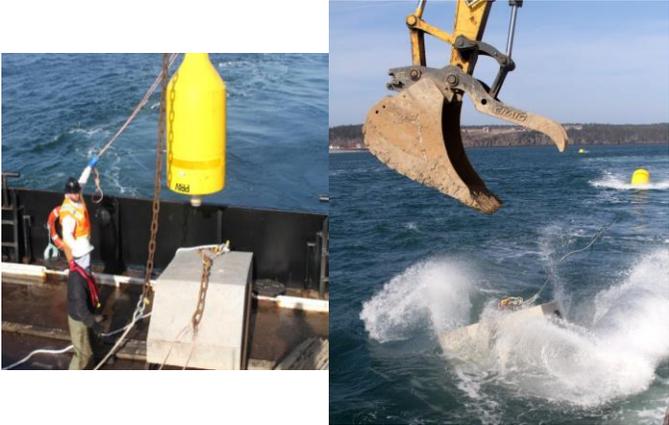
Le projet a permis de réaliser une analyse complète des déploiements possibles des turbines de Clean Current sur les sites de Grand Passage et de Digby Gut. Les améliorations aux modèles numériques ont été utilisées pendant tout le reste du projet, de même que dans d'autres analyses de l'énergie marémotrice. Toutefois, les résultats n'ont pas été positifs pour la technologie de Clean Current. On a déterminé qu'il n'était pas économiquement faisable de déployer les turbines aux sites proposés. Encore une fois, cela a réitéré la mise en garde pour l'industrie de l'énergie marémotrice disant que la technologie doit être conçue pour les conditions particulières du site.

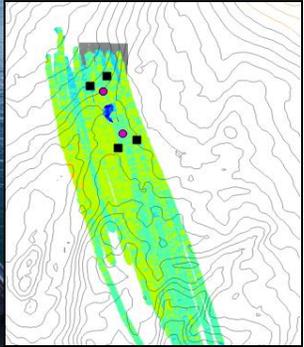
L'atteinte de cet objectif a eu une incidence importante pour le projet et l'industrie de l'énergie marémotrice. Elle a établi qu'il est possible de réduire l'incertitude dans le rendement énergétique et l'analyse des coûts d'un projet d'énergie marémotrice par une évaluation minutieuse du site. En termes de projets futurs d'énergie marémotrice dans la région de Digby, les résultats ont montré que le Petit Passage est le site de mise en valeur le plus prometteur en raison de son courant plus énergétique. Les données ont été combinées à une modélisation numérique améliorée du courant pour aborder la question de la faisabilité économique des projets, et en particulier la faisabilité des turbines déployées au moyen de plateformes de surface. DSA a amélioré la modélisation des plateformes amarrées par son logiciel ProteusDS et a utilisé le modèle pour déterminer comment réduire les coûts des plateformes et de l'amarrage.

3.3 Déploiement de l'ecoSpray : une plateforme flottante de turbine marémotrice

Lors de la phase finale du projet, les partenaires, sous la direction de DSA, ont mis l'accent sur l'utilisation des leçons apprises concernant les amarrages et les plateformes pour concevoir, déployer, surveiller et récupérer une plateforme flottante de recherche sur l'énergie marémotrice appelée ecoSpray.

Activités de déploiement d'ecoSpray	Images montrant les activités
<p>L'ecoSpray était un projet communautaire. Les transformateurs locaux Bear River Plastics et Clare Machine Works ont construit la plateforme. Les pêcheurs locaux ont été consultés pour aider à choisir le lieu de déploiement, déterminer les marqueurs de navigation et aider au déploiement.</p>	 <p><i>Rencontre avec les pêcheurs locaux pour discuter de la façon de relier la plateforme aux ancrages.</i></p>
<p>L'ecoSpray a été mise à l'eau le 29 février 2016 par Clare Machine Works près de Meteghan, en Nouvelle-Écosse. Un navire local de Freeport l'a remorquée jusqu'à Grand Passage aux fins de déploiement.</p>	 <p><i>Déploiement de la plateforme ecoSpray.</i></p>

Activités de déploiement d'ecoSpray	Images montrant les activités
<p>Le « Spray », un traversier local assurant l'accès à l'île Brier Island depuis 1978, a été utilisé conjointement avec une excavatrice pour déployer les blocs d'ancrage de 6 tonnes. Cela a obligé l'équipe du projet à collaborer avec le ministère des Transports de la Nouvelle-Écosse pour assurer le déploiement. DSA et FTI ont installé un système de positionnement précis sur le traversier pour aider à déployer les blocs d'ancrage dans un rayon de quelques mètres des positions cibles.</p>	 <p><i>Excavatrice chargée sur le traversier « Spray » pour le déploiement des ancrages.</i></p>
<p>Des bouées de marquage avec lumières clignotantes ont été utilisées pour marquer l'emplacement du site et ont été déployées avec les ancrages.</p>	 <p>Lancement d'un ancrage de 6 tonnes, avec la bouée de marquage qui y est attachée.</p>
<p>Des langoustiers et des bateaux de pêche locaux ont été utilisés pour déployer les chaînes d'amarrage et la plateforme. Le plongeur Mike Huntley et les pêcheurs ont attaché les chaînes d'amarrage aux ancrages. Les bateaux locaux ont alors positionné la plateforme et l'ont attachée aux chaînes d'amarrage.</p>	 <p>Photo du bateau « Island Rebel » pendant l'amarrage de la plateforme aux ancrages.</p>

Activités de déploiement d'ecoSpray	Images montrant les activités
<p>Une fois la plateforme en place, des ADCP ont été déployés en amont et en aval de la plateforme pour saisir les conditions de courant et de houle. Un anémomètre fixé à la plateforme mesurait la vitesse du vent. Une unité de mesure inertielle avec antennes GPS a été utilisée pour mesurer la position et le mouvement de la plateforme ecoSpray. Des bouées dérivantes ont été libérées en amont de l'ecoSpray pour cartographier le courant de surface autour de la plateforme.</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p>(gauche) Châssis d'ADCP prêts à être déployés en amont et en aval de la plateforme. (droite) Une bouée dérivante passe près de l'ecoSpray.</p>

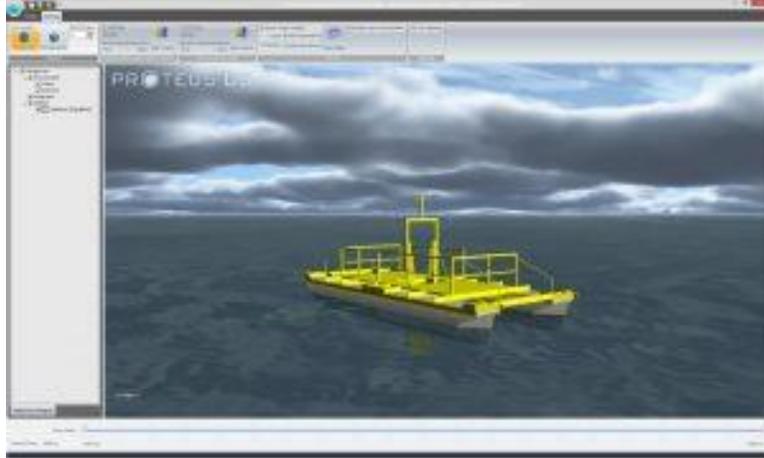


Vidéo de la plateforme ecoSpray ([cliquez ici pour la vidéo complète](#)).

Principaux progrès dans la modélisation d'ecoSpray

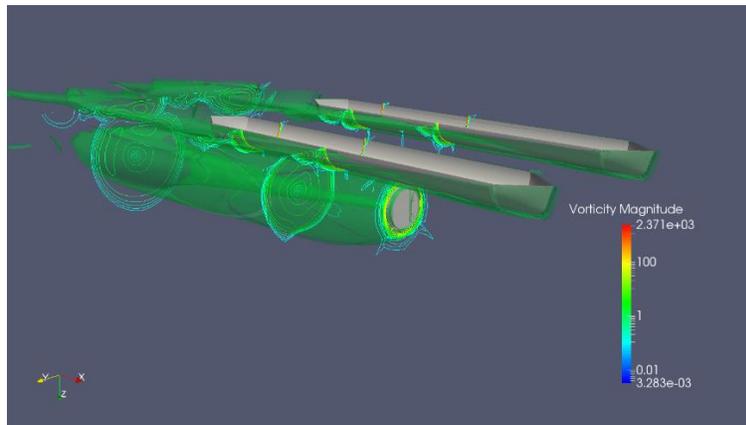
Les instruments de mesure sur l'ecoSpray ont quantifié les forces environnementales agissant sur la plateforme et la réaction de la plateforme et des amarres aux forces exercées. La plateforme a été déployée deux fois pour mettre à l'essai deux configurations d'amarrage différentes. En plus des travaux sur le terrain, les mouvements de la plateforme et les charges sur les lignes d'amarrage ont été modélisés au moyen du logiciel ProteusDS de DSA.

Image du résultat de la simulation



Modèle numérique d'ecoSpray dans ProteusDS.

L'UNB a effectué des simulations DNF de la plateforme pour prévoir l'interaction des vagues de l'océan et des courants de marée avec la structure flottante, et l'impact de ces interactions sur les charges résultantes sur les lignes d'amarrage.



Simulation DNF des flotteurs de l'ecoSpray.

Principaux progrès dans la modélisation d'ecoSpray	Image du résultat de la simulation
<p>Un aspect important du déploiement de l'ecoSpray était la mesure du sillage de la plateforme. Des mesures prises par ADCP, par bouée dérivante et par drone ont été utilisées pour déterminer la longueur et les caractéristiques du sillage.</p>	<div data-bbox="740 268 1300 709" data-label="Image"> <p>The image shows an aerial view of the ecoSpray platform and several buoys. The platform is a large, rectangular structure with a yellow and orange top. The buoys are smaller, cylindrical structures. The wakes are visible as white, turbulent trails in the water behind each structure, extending in the direction of the current.</p> </div> <p data-bbox="651 737 1390 793"><i>Sillages de la plateforme ecoSpray et des bouées, captés à partir d'un drone.</i> (cliquez ici pour la vidéo du vol du drone)</p>

Par la construction, le déploiement et la surveillance de l'ecoSpray, le projet a permis de produire plusieurs résultats importants pour l'industrie de l'énergie marémotrice. Il a établi qu'une plateforme de surface peut être construite et déployée en utilisant les ressources locales pour un coût relativement faible. Il a également établi que les coûts associés à l'amarrage d'une telle plateforme peuvent être réduits si on prend soin de concevoir l'amarrage en fonction des caractéristiques du site. Ces conclusions sont extrêmement pertinentes pour la conception et l'optimisation des systèmes de production d'énergie marémotrice sur des sites semblables à l'échelle mondiale.

4 Conclusion et suivi

4.1 Résultats

Le projet a engendré de nombreux résultats importants, que l'on peut diviser en deux grandes catégories : les résultats pour l'industrie de l'énergie marémotrice et les améliorations aux technologies, aux méthodes et aux logiciels.

4.1.1 Résultats pour l'industrie de l'énergie marémotrice :

Pour l'industrie de l'énergie marémotrice de la Nouvelle-Écosse et du Canada, le principal résultat du projet a été la mise au point d'un processus d'évaluation détaillée des sites pour les turbines marémotrices. Le projet a mis en évidence que l'évaluation du site est plus importante pour les turbines marémotrices que pour toute autre énergie renouvelable, en raison des défis posés par le fait de travailler dans un environnement marin extrême. Ce projet a produit plusieurs résultats essentiels en matière d'évaluation des sites, qui seront utilisés pour de nombreux autres sites que les passages de la péninsule de Digby :

- Les caractéristiques du courant varient considérablement à l'intérieur d'un site, à des échelles spatiales semblables à la taille des turbines. La combinaison d'un modèle numérique validé et de mesures sur le terrain est nécessaire pour formuler des prévisions exactes du rendement de la turbine.
- Un courant de marée puissant est très turbulent, la turbulence peut ne pas être générée localement et les caractéristiques de turbulence sont différentes d'un site à l'autre. Encore une fois, la combinaison d'un

modèle DNF à haute résolution et de mesures de la turbulence prises sur place est nécessaire pour caractériser pleinement la turbulence sur un site donné.

- Les turbines marémotrices et leurs structures de soutien doivent être conçues en fonction des caractéristiques du courant et des conditions extrêmes propres au site du déploiement. Ce projet a démontré qu'une combinaison de modèles numériques, l'un conçu pour l'interaction entre le courant et la structure et l'autre comme un modèle DNF complet de la turbine, peut être utilisée pour modéliser de manière rentable le déploiement d'une turbine et pour réduire considérablement les coûts et les risques associés au déploiement.
- Il est possible de construire, de déployer et d'exploiter, à coût raisonnable et en utilisant les ressources locales, un prototype de plateforme de surface pour turbine.

4.1.2 Améliorations aux technologies, aux méthodes et aux logiciels :

Comme on en a discuté dans les sections précédentes, le projet a permis la mise au point de méthodes innovatrices :

- pour mesurer les courants de marée;
- pour mesurer la turbulence dans un courant énergétique;
- pour élaborer un modèle numérique des passages de marée;
- pour achever la modélisation DNF d'un dispositif d'extraction d'énergie dans des conditions environnementales réalistes;
- pour modéliser les interactions entre les fluides et les structures et les charges dans des conditions marines extrêmes.

4.1.3 Résultats à long terme :

Les résultats à long terme de ce projet dépendent de la poursuite de la mise en valeur de l'énergie marémotrice dans la baie de Fundy et ailleurs. Les partenaires du projet demeurent engagés dans des projets marémoteurs dans les passages de la péninsule de Digby et participent à des projets marémoteurs dans le passage Minas. Si les déploiements de turbines dans ces passages sont couronnés de succès, l'industrie de l'énergie marémotrice pourrait connaître une expansion rapide et les techniques et l'expertise acquises dans le cadre de ce projet pourraient être très utilisées.

Au-delà de l'énergie marémotrice, les progrès réalisés dans la technologie et la compréhension de l'environnement marin énergétique seront appliqués à des projets environnementaux et industriels dans la baie de Fundy et ailleurs.

4.2 Prochaines étapes

4.2.1 Prochaines étapes en matière de développement technologique :

1. Les méthodes de mesure et de modélisation de la turbulence seront appliquées à des sites dans le passage Minas dans le cadre d'un projet auquel participent plusieurs partenaires. Le projet, dirigé par l'Université Dalhousie et intitulé « Mesures acoustiques à distance de la turbulence dans des courants rapides, appliquées au développement de turbines marémotrices : le projet Vectron » (« *Remote acoustic measurements of turbulence in high-speed flows with application to in-stream tidal turbine development: The Vectron project* »), est financé au moyen d'une Subvention de recherche et développement coopérative du CRSNG octroyée en mars 2017.
2. Les méthodes et technologies d'évaluation des sites sont élargies pour être utilisées dans des sites d'échelle commerciale dans le passage Minas, y compris en ce qui concerne l'interaction de la vie marine

avec les turbines. Afin d'appuyer ces recherches, une demande de financement de deux millions de dollars a été présentée au Programme d'infrastructure de la FCI en octobre 2016. La FCI prendra une décision finale concernant le financement en juin 2017.

3. L'application et l'amélioration des technologies et des méthodes du projet se poursuivent dans le cadre de l'évaluation des sites et des projets dans les passages de la péninsule de Digby, dans les mouillages du Fundy Ocean Research Center for Energy (FORCE) dans le passage Minas et dans d'autres sites de la baie de Fundy.
4. D'autres raffinements sont apportés aux modèles numériques de l'Université Acadia par l'application à des projets particuliers d'évaluation des ressources et des sites, y compris les projets suivants, qui ont été lancés en 2016 et seront achevés en 2017 : le projet *Marine Renewable Electricity Areas* (zones marines de production d'électricité renouvelable), qui analysait les ressources marémotrices du passage Minas et d'autres sites du fond de la baie de Fundy; un projet de recherche appuyé par le FORCE, Open Hydro et une subvention d'engagement partenarial du CRSNG; et des projets d'évaluation des sites dans le passage Minas et le Petit Passage réalisées en partenariat avec Luna Oceans.

4.2.2 Prochaines étapes en matière d'améliorations à la réglementation :

1. Tous les partenaires du projet poursuivent leur collaboration avec le gouvernement de la Nouvelle-Écosse dans le cadre de projets touchant la réglementation relative à l'énergie marémotrice.
2. L'Acadia Tidal Energy Institute (ATEI) achèvera la composante de modélisation des ressources du projet *Marine Renewable Electricity Areas* pour le ministère de l'Énergie de la Nouvelle-Écosse, qui sera utilisée pour établir les zones de mise en valeur à l'échelle commerciale de l'énergie marémotrice dans le passage Minas.
3. Dès avril 2017, les résultats du projet seront utilisés pour mettre à jour les normes de la Commission électrotechnique internationale (CEI) relatives à l'évaluation des ressources en énergie marémotrice.

4.2.3 Prochaines étapes en matière de pénétration du marché :

La commercialisation des résultats du projet se poursuivra dans quatre domaines :

- DSA a utilisé l'amélioration apportée à son logiciel Proteus pour travailler sur plusieurs contrats de modélisation structurelle liés à la mise en valeur de l'énergie marémotrice. DSA pousse ses travaux sur la lecture et la visualisation des données sur les variations spatiales du courant dans son logiciel, détermine comment la turbulence et ses effets sur la charge de la turbine peuvent être modélisés sous forme numérique, valide les modèles d'interaction houle-courant et valide les applications aux plateformes marémotrices flottantes par un post-traitement supplémentaire des données recueillies lors du déploiement de l'ecoSpray. DSA a poursuivi ses travaux dans des champs connexes (aquaculture, énergie houlomotrice, énergie extracôtère) et a déployé d'importants efforts pour participer à l'industrie mondiale de l'énergie marémotrice. La plus grande pénétration de l'énergie marémotrice dans le marché dépendra fortement du développement continu de l'industrie marémotrice en Nouvelle-Écosse et dans le monde.
- L'UNB a commercialisé son développement du logiciel EXN/Aero par l'entremise de l'entreprise dérivée [Envenio](#) (en anglais seulement). Envenio continuera de commercialiser son logiciel novateur et son expertise en modélisation informatisée à haute résolution dans un vaste éventail d'applications, y compris la mise en valeur des ressources marémotrices, les plateformes navales canadiennes et l'exploration de l'Arctique. Une plus grande pénétration du marché est appuyée par le partenariat continu universités-industries et par le soutien d'[ACENET](#) (en anglais seulement).
- La mise au point par l'Université Dalhousie de mesures de la turbulence a été commercialisée grâce à des partenariats avec [NortekUSA](#) ([site offert en version française ici](#)) et [Rockland Scientific](#). Ce projet a constitué un important soutien pour le développement de ces partenariats – par exemple, le projet a appuyé la mise au point et la mise à l'essai du système d'amarrage [Nemo Turbulence Mooring](#) (en anglais

seulement) du partenariat Rockland-Dalhousie. La mise au point de la technologie s'est poursuivie dans le cadre de projets dans le passage Minas. Une étape essentielle de la pénétration du marché est l'exposition continue au marché mondial.

- Luna Ocean a été fondé après l'achèvement du projet, et met l'accent sur l'approfondissement de la R-D sur l'évaluation des sites et l'application commerciale de l'expertise et des technologies en matière d'évaluation des sites. Luna, en partenariat avec l'Université Acadia, a réussi à mener à terme plusieurs contrats d'évaluation de sites et de technologies pour des sites dans le passage Minas et le Petit Passage. Luna a également poussé le développement de sa technologie en combinant des bouées dérivantes et des drones (consultez cette [vidéo](#) des premières expériences sur le terrain). Au départ, Luna met l'accent sur la mise en œuvre dans les projets commerciaux d'énergie marémotrice en Nouvelle-Écosse et dans tout le Canada atlantique. Toutefois, il existe un important potentiel d'application sur les trois côtes du Canada. Luna a pour objectif de fournir les renseignements de caractérisation de site de haute qualité dont on a besoin pour faire progresser les projets d'énergie marémotrice (et fluviale) tout en aidant à réduire les coûts par kilowattheure de production d'énergie marémotrice. Il faut entre autres continuer d'aider à mettre au point un processus normalisé et simplifié d'évaluation des sites. Les besoins en matière d'information comblés par Luna comprennent : a) les prévisions des ressources à utiliser pour le financement du projet (principalement la production annuelle d'énergie); b) les données sur le courant, la houle, le niveau d'eau et le plancher océanique aux fins de conception technique; c) les conditions de la vie marine pour appuyer la surveillance environnementale; et d) les utilisations existantes comme la pêche, la navigation et le tourisme, afin d'appuyer les activités d'engagement communautaire et d'évaluer les emplacements potentiels de déploiement des turbines (tout en minimisant les conflits avec les utilisations existantes). En 2017, Luna demande du financement pour appuyer des essais sur le terrain afin de faire progresser l'équipement du stade de prototype à un niveau de maturité technologique (NMT) de 7 à 9, et pour poursuivre le développement du logiciel d'analyse de données de Luna Ocean (*Luna Ocean Data Analysis Software* – LODAS). La croissance continue de Luna repose sur de solides liens avec l'industrie de l'énergie marémotrice, les universités locales et les collectivités locales.

4.2.4 Derniers commentaires :

L'industrie de l'énergie marémotrice a dû relever de nombreux défis au cours de la dernière décennie, mais elle commence à remporter d'importants succès avec le déploiement d'une turbine dans le passage Minas par [Cape Sharp Tidal](#) (en anglais seulement) et les premiers déploiements de turbines du projet [MeyGen](#) (en anglais seulement) en Écosse. Les prochaines années seront critiques pour établir que ces projets peuvent produire de l'énergie renouvelable de manière fiable et être financièrement viables. Même si ce projet a établi que l'environnement marémoteur marin est très difficile, il a également établi que cet environnement peut être caractérisé de manière rentable et donc permettre la mise en valeur d'une industrie de l'énergie marémotrice à l'échelle commerciale aussi bien que communautaire. L'appui de Ressources naturelles Canada a été essentiel à ces réussites.

4.3 Publications du projet

- P. Jeffcoate, F. Fiore, E. O'Farrell, D. Steinke, A. Baron, R. Starzmann, S. Bischof, "Comparison of Simulations of Taut-Moored Platform PLAT-O using ProteusDS with Experiments," Proceeding of the 3rd Asian Wave and Tidal Energy Conference (AWTEC), Singapore, Oct 24-28, 2016
- D. Steinke, A. Baron, R. Nicoll, A. Roy, "Dynamic Analysis of a Floating Tidal Energy Platform in Grand Passage," Proceedings of the 11th European Wave and Tidal Energy Conference (EWTEC), 6-11 Sept 2015, Nantes, France
- A. Roy, S. Beatty, V. Mishra, D. Steinke, R. Nicoll, Bradley J Buckham, "Efficient Time-Domain Hydrodynamic Simulation of A Rigid Body," Proceedings of the ASME 2015 34th.

- McMillan, J.M., A.E. Hay, R. Lueck et F. Wolk, 2016. “Rates of dissipation of turbulent kinetic energy in a high Reynolds number tidal channel,” J. Atmos. Ocean. Tech., 33(4), 817-837.
- McMillan, J. M., A. E. Hay, R. G. Lueck et F. Wolk, “An assessment of the dissipation rates at a tidal energy site using a VMP and an ADCP,” in Proc. of European Wave and Tidal Energy Conference 2015, p. 8 pp., Nantes, France, 2015.
- McMillan, J. M., et A. E. Hay, “Spectral and structure function estimates of turbulence dissipation rates in a high-flow tidal channel using broadband ADCPs,” J. Atmos. Oceanic Technol., 34, 5–20, 2017.
- K.W. Wilcox, I.M. McLeod, A.G. Gerber, T.L. Jeans, J. Culina (2015) “Validation of High-Fidelity CFD Simulation of the Unsteady Turbulent Tidal Flow in Minas Passage,” 11th European Wave and Tidal Energy Conference (EWTEC2015), September 2015.
- K.W. Wilcox, A.G. Gerber, J.T. Ahang, T.L. Jeans (2016) “Validation of LES Turbulence Modelling of a Tidal Site on an Industrial Timeframe,” International Conference on Ocean Energy (ICOE) 2016, Poster, February 2016.
- F. Baratchi, T.L. Jeans, A. Gerber (2016) “A Comparison Between Blade Element Actuator Disk and Actuator Line Methods for a Tidal Turbine,” 24th International Congress of Theoretical and Applied Mechanics (ICTAM 2016), August 21 -26, Montreal.
- Hay, A. E., J. M. McMillan, R. Cheel et D. J. Schillinger, Turbulence and drag in a high Reynolds number tidal passage targetted for in-stream tidal power, in Proc. Oceans 2013, p. 10 pp., Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), San Diego, CA, 2013.

4.4 Renseignements sur les personnes-ressources

Richard Karsten, Ph. D.
 Acadia Tidal Energy Institute
 Département des mathématiques et de la statistique
 Université Acadia
Richard.Karsten@acadiu.ca

Alex Hay, Ph. D.
 Dalhousie Ocean Acoustics Lab
 Département d’océanographie
 Université Dalhousie
Alex.Hay@Dal.Ca

Tiger Jeans, Ph. D.
 Département du génie mécanique
 Université du Nouveau-Brunswick
tjeans@unb.ca

Andrew Gerber, Ph. D.
 Département du génie mécanique
 Université du Nouveau-Brunswick
agerber@unb.ca

Dean Steinke

Directeur des opérations
Dynamic Systems Analysis Ltd.
dean@dsa-ltd.ca

Greg Trowse,
Expert-conseils principal
Luna Ocean Consulting Ltd
greg.trowse@lunaocean.ca