

Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation

Volet recherche et développement

Rapport public

Projet : RENE-082

## Table des matières

1	Aperçu du projet .....	3
2	Résumé.....	4
3	Introduction .....	6
4	Contexte.....	7
5	Objectifs .....	8
5.1	Évaluation des ressources en énergie des vagues .....	9
5.2	Évaluation du rendement du CEV .....	10
5.3	Études sur l'intégration du CEV.....	11
5.4	Programme complémentaire : Simulations améliorées de CEV au moyen du logiciel ProteusDS.....	12
5.5	Programme complémentaire : Analyses techno-économiques approfondies .....	13
6	Résultats du projet.....	13
6.1	Réalisations du projet.....	13
6.1.1	Connaissances à haute résolution du régime des vagues au large de la côte Ouest de l'île de Vancouver .....	14
6.1.2	Outils numériques permettant de prévoir avec exactitude la production d'électricité de CEV .....	14
6.1.3	Études d'intégration pour évaluer l'incidence de l'énergie des vagues sur les réseaux électriques à l'échelle des communautés éloignées et les réseaux à grande échelle	15
6.2	Avantages et objectifs du développement des technologies et des connaissances .....	16
6.2.1	Avantages pour les collaborateurs de l'Initiative WCWI .....	16
6.2.2	Avantages pour les fournisseurs de services à l'Initiative WCWI .....	17
6.2.3	Avantages pour les partenaires universitaires de l'Initiative WCWI .....	17
6.2.4	Avantages pour le Canada .....	17
6.3	Défis et obstacles .....	18
6.3.1	Entretien des bouées de surveillance des vagues .....	18
6.3.2	Données de validation du modèle numérique .....	18
6.3.3	Fausse représentation du logiciel de modélisation .....	19
6.3.4	Bases de données du système électrique : à l'échelle des communautés éloignées et à grande échelle.....	19
6.4	Analyse comparative entre les sexes .....	20
7	Conclusion et suivi .....	20
7.1	Prochaines étapes .....	20

## 1 Aperçu du projet

<b>Titre du projet</b>	Initiative relative à l'énergie des vagues de la côte Ouest (West Coast Wave Initiative - WCWI)
<b>Numéro d'identification du projet</b>	RENE – 082
<b>Promoteur</b>	Université de Victoria
<b>Nombre de partenaires participants</b>	14
<b>Coût total du projet (milliers de \$)</b>	3 771,40 \$
<b>Contribution totale du promoteur et des partenaires (milliers de \$)</b>	1 299,30 \$
<b>Contribution totale de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation (milliers de \$)</b>	1 930,30 \$
<b>Contribution totale du gouvernement (milliers de \$)</b>	2 472,11 \$
<b>Faits saillants du projet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ressources brutes : des prévisions à postériori sur 12 ans et des prévisions sur 48 heures des conditions des vagues au large de l'île de Vancouver à une résolution spatiale de 50 m à proximité du littoral.</li> <li>○ Ressources nettes : des modèles de simulation détaillés et jumelés de simulation de l'hydrodynamique et de la prise de force de cinq (5) technologies de pointe nationales et internationales de conversion de l'énergie de vagues (CEV).</li> <li>○ Ressources utilisables : compréhension simulée et quantifiée des conséquences et de l'importance de l'énergie des vagues pour la production d'électricité à l'échelle des communautés éloignées (Hot Springs Cove, en Colombie-Britannique) et la production à grande échelle (la Colombie-Britannique).</li> </ul>
<b>Date de présentation à RNCan</b>	20/02/23

## 2 Résumé

L'Initiative relative à l'énergie des vagues de la côte ouest (West Coast Wave Initiative— WCWI) réalisée à l'Institute of Integrated Energy Systems de l'Université de Victoria est le programme supérieur du Canada de recherche sur l'énergie des vagues et l'exploitation de cette énergie. Dans le cadre de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation, l'équipe de l'Initiative WCWI a collaboré avec les principaux concepteurs nationaux et internationaux de la technologie des convertisseurs d'énergie des vagues (CEV), des prestataires de services canadiens et des partenaires universitaires afin d'accélérer le développement du secteur de l'énergie marine du Canada, d'améliorer la compétitivité du Canada sur le marché international et d'attirer les acteurs internationaux au pays.

Le développement de l'industrie canadienne de l'énergie des vagues a longtemps été entravé par le manque de renseignements suffisamment confirmés sur les ressources brutes en énergie des vagues, sur la production nette d'électricité (les convertisseurs d'énergie des vagues ou CEV) dans les eaux canadiennes et l'incidence de l'énergie des vagues utilisable sur les réseaux électriques. L'incidence financière et les besoins en personnel pour quantifier de façon adéquate les ressources brutes, nettes et utilisables de l'énergie des vagues dépassent les ressources financières et techniques d'un unique concepteur. L'Initiative WCWI a été conçue afin de fournir à l'industrie de l'énergie des vagues des connaissances, des outils et des bases de données visant à surmonter ces obstacles, ce qui correspond à son mandat.

Les travaux dans le cadre de l'Initiative WCWI comportaient trois volets parallèles de recherche : l'évaluation des ressources brutes en énergie des vagues, la modélisation de la technologie des CEV – énergie nette et des études sur l'intégration de l'énergie utilisable. L'évaluation des ressources en énergie des vagues de l'Initiative WCWI a donné lieu à un changement de pas important dans la compréhension et les connaissances des ressources en énergie des vagues de l'Ouest canadien, fondé sur des modèles numériques SWAN (Simulating Waves Nearshore) de grande fidélité et a créé le plus vaste réseau reconfigurable de bouées de mesure de l'énergie des vagues au monde. Les prévisions à posteriori sur 12 ans et les prévisions continues sur 48 heures des conditions des vagues ainsi obtenues ont permis à l'équipe de l'Initiative WCWI de fournir aux collaborateurs industriels, Resolute Marine Energy (RME), Seawood Designs (SD) et Carnegie Wave Energy, des évaluations techniques définitives des ressources. Les connaissances et les données générées ont contribué à l'élaboration de la spécification technique TS 62600-101 pour la Commission électrotechnique internationale (CEI) et ont profité aux communautés locales en leur diffusant en continu les conditions actuelles des vagues.

En travaillant en étroite collaboration avec Resolute Marine Energy, Seawood Designs, Ocean Energy Ltd, AOE Accumulated Ocean Energy et Dynamic Systems Analysis, l'équipe du volet de la recherche sur la modélisation des technologies de l'Initiative WCWI a mis au point un

ensemble d'outils uniques reconnus à l'échelle internationale de modélisation de la technologie de l'énergie des vagues. Le jumelage unique de logiciels d'hydrodynamique et de prise de force (PDF) au moyen d'algorithmes de la commande de dispositifs a permis d'améliorer les mesures du rendement et la compréhension de la dynamique des dispositifs de chaque technologie collaborative. La modélisation a été validée en exécutant des essais expérimentaux en cuve à houle. Les pratiques exemplaires issues ont informé l'élaboration de la spécification technique CEI/TS 62600-100 et ont été publiées dans des revues spécialisées par les pairs.

Enfin, la possibilité d'intégrer l'électricité générée par les CEV dans les communautés éloignées et les réseaux électriques à grande échelle ainsi que l'incidence d'une telle intégration ont été quantifiées. À l'aide des bases de données de la modélisation des ressources et des technologies, l'équipe du volet recherche en intégration a été en mesure de fournir les données requises et en quantité suffisante pour quantifier la possibilité d'intégrer l'énergie des vagues à diverses échelles ainsi que les contraintes liées à cette intégration. Les efforts d'intégration de BC Hydro, des concepteurs de CEV et des communautés hors réseau ont tiré profit de ces résultats.

### 3 Introduction

Le projet Initiative relative à l'énergie des vagues de la côte ouest (West Coast Wave Initiative) a été divisé en deux sous-projets. Le sous-projet A porte sur le projet original mené de 2011 à 2016 et le sous-projet B traite du projet complémentaire de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation, réalisé au cours de l'exercice 2015-2016.

#### Sous-projet A : Initiative relative à l'énergie des vagues de la côte ouest (West Coast Wave Initiative)

Le sous-projet A comportait quatre (4) phases : le lancement et l'administration du projet, l'évaluation des ressources en énergie des vagues, l'évaluation du rendement des convertisseurs d'énergie des vagues (CEV) et les études sur l'intégration des CEV.

La phase d'évaluation des ressources en énergie des vagues était axée sur le déploiement de trois (3) bouées de mesure des vagues au large de l'île de Vancouver et sur l'élaboration de modèles informatiques des vagues SWAN, REF/DIF et SWASH afin de fournir une représentation précise des ressources houlomotrices au large de l'île de Vancouver. La phase d'évaluation du rendement des CEV a utilisé les données sur les vagues pour effectuer des simulations informatiques de grande fidélité de quatre (4) dispositifs de CEV grandeur nature d'organismes partenaires et ainsi que des méthodes pour commander le CEV. La phase des études sur l'intégration du convertisseur d'énergie des vagues a utilisé les données sur le rendement des CEV afin d'étudier l'intégration de l'énergie des vagues à trois échelles : les communautés éloignées hors réseau (kW), l'île de Vancouver (MW) et l'Ouest canadien (GW).

Les principaux intervenants pour l'exécution du sous-projet A étaient les suivants : quatre (4) concepteurs de dispositifs de production d'énergie des vagues (Resolute Marine Energy, Seawood Designs, Ocean Energy Ltd. et Carnegie Wave Energy), un concepteur de la technologie de réglage des CEV (Triple X Energy), un fabricant de dispositifs de mesures océanographiques (Axys Technologies), des concepteurs de simulation et de modélisation (Dynamic Systems Analysis et Cascadia Coast Research) ainsi que d'autres établissements universitaires et de recherche (Pacific Institute for Climate Solutions).

#### Sous-projet B : Projet complémentaire de l'Initiative relative à l'énergie des vagues de la côte Ouest

Le sous-projet B comportait trois (3) phases : gestion et communications du projet, simulations améliorées des CEV à l'aide du logiciel ProteusDS et analyses techno-économiques approfondies.

La phase de simulations améliorées des CEV à l'aide du logiciel ProteusDS était axée sur l'ajout d'un nouveau concepteur canadien de l'énergie des vagues (AOE Accumulated l'Ocean Energy)

à l'équipe de l'Initiative WCWI, la mise au point de nouveaux modules d'extension pour ProteusDS afin de prendre en compte la conception unique de la prise de force et sur l'amélioration des vitesses d'exécution de ProteusDS. Les analyses techno-économiques approfondies avaient pour but de fournir l'analyse économique la plus à jour que possible des dépenses liées aux câbles sous-marins et l'intégration des vagues à d'autres approvisionnements d'énergie renouvelable pour les communautés éloignées hors réseau.

Les principaux intervenants du sous-projet B étaient les suivants : un concepteur canadien supplémentaire de CEV (AOE Accumulated Ocean Energy), un spécialiste international du câblage sous-marin (MacArtney Underwater Systems) et un spécialiste en engagement des communautés éloignées (Barkley Group).

Le présent rapport fournira des renseignements complémentaires sur le contexte de l'Initiative relative à l'énergie des vagues de la côte ouest, les objectifs du projet, les produits livrés aux partenaires du projet et les avantages pour le Canada. Il présentera une perspective objective sur les défis à surmonter ainsi que les prochaines étapes des travaux de recherche et de développement à cet égard.

## 4 Contexte

Bien que l'ampleur des ressources brutes en énergie des vagues du Canada soit généralement reconnue, il existe peu de renseignements détaillés venant étayer le potentiel que promet l'énergie des vagues au Canada. Afin de soutenir l'exploitation du potentiel de l'énergie des vagues au Canada, l'équipe de l'Initiative relative à l'énergie des vagues de la côte Ouest (West Coast Wave Initiative) a proposé une description précise :

- des ressources en énergie des vagues du Canada – une région d'une importance stratégique pour le développement futur d'une industrie d'énergie marine;
- du rendement des convertisseurs commerciaux d'énergie des vagues (CEV) à grande échelle lorsqu'ils sont déployés dans cette région;
- de la meilleure stratégie techno-économique pour l'intégration de l'alimentation en électricité de CEV à l'échelle des communautés raccordées et non raccordées au réseau.

L'équipe du projet a mis à profit la vaste expertise de l'Integrated Energy Systems Institute (IESVic) du promoteur, situé à la faculté d'ingénierie. Le promoteur, et l'IESVic en particulier, est un chef de file international reconnu en recherche sur les systèmes énergétiques. Selon Science Watch, l'IESVic est le cinquième établissement le plus influent à l'échelle internationale en ce qui a trait à l'incidence de sa recherche dans le domaine de l'énergie et des carburants menée entre 1998 et 2008. Les membres de la faculté de l'IESVic ont participé activement au cours des huit dernières années à la recherche dans le domaine de l'énergie renouvelable et en particulier, le développement des technologies du stockage d'énergie, de l'intégration de l'énergie renouvelable et de la technologie de l'éolien.

Le projet s'est inspiré de l'ancien programme West Coast Wave Collaboration Program (WCWCP). Ce programme a assuré l'entretien d'une bouée de surveillance des vagues WatchMate à Ucluelet et a élaboré un modèle SWAN (Simulating WAVes Nearshore) de la partie inférieure de l'île de Vancouver. L'équipe de l'Initiative WCWI a augmenté considérablement la portée géographique de la modélisation SWAN afin d'inclure les littoraux sud et central de la Colombie-Britannique, accru la résolution spatiale du modèle et déployé deux (2) autres bouées de mesure des vagues. Les recherches à cet égard étaient nécessaires afin de combler les lacunes relatives à l'incertitude des ressources dans l'industrie canadienne de l'énergie des vagues. Les lieux de déploiement en particulier de l'énergie marine et la voie de développement du modèle SWAN sont novateurs et à la fine pointe de l'industrie. Les travaux de modélisation du câblage de M. Buckham et les interactions antérieures entre Dynamic Systems Analysis et l'Université de Victoria sont à l'origine de la modélisation du CEV. Bon nombre de concepteurs de l'énergie des vagues n'ont pas les moyens économiques ni le personnel pour effectuer la modélisation de CEV dans le cadre de l'Initiative WCWI. Par conséquent, l'Initiative WCWI favorisera la fidélité nécessaire de la modélisation de CEV pour atténuer l'incertitude en ce qui a trait à la production d'électricité à grande échelle de CEV.

Enfin, les chercheurs de l'IESVic qui travaillent sur l'Initiative WCWI ont déjà élaboré divers modèles de réseau électrique à l'échelle des communautés, des régions et de la province. Ils ont utilisé ces modèles pour déterminer la manière d'utiliser l'énergie intermittente renouvelable (principalement le vent) à ces échelles. L'Initiative WCWI contribuera à combler le manque de connaissances sur la valeur de l'utilisation des ressources locales en énergie des vagues pour produire de l'électricité.

## 5 Objectifs

Le projet a décrit avec exactitude et précision :

- les ressources brutes en énergie du Canada
- la capacité des convertisseurs d'énergie des vagues (CEV) à exploiter ces ressources
- les moyens pour intégrer l'énergie de ces convertisseurs aux réseaux électriques.

Le projet était axé sur la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV), une région stratégique pour l'énergie des vagues. Il visait l'élaboration d'un banc d'essai numérique à faible coût pour les CEV dans la région de la côte ouest de l'île de Vancouver et à utiliser des données simulées sur le rendement afin d'examiner les moyens d'intégrer l'énergie des vagues à des échelles multiples : à l'échelle du kilowatt (kW) pour l'étude de cas hors réseau dans la communauté des Premières Nations de Hot Springs Cove sur le littoral de « Hesquiaht Sound », en Colombie-Britannique; à l'échelle du mégawatt (MW) sur le réseau électrique de l'île de Vancouver; à l'échelle du gigawatt (GW) sur le réseau électrique provincial de la Colombie-Britannique.

L'équipe de l'Initiative WCWI a ajouté des objectifs plus précis pour le sous-projet B, notamment les suivants : élargir le banc d'essai numérique pour une nouvelle technologie

pneumatique canadienne de CEV; ajouter des couches socio-économiques supplémentaires aux études sur l'intégration aux échelles du kilowatt et du mégawatt; utiliser de nouveaux algorithmes afin d'améliorer la vitesse computationnelle des outils numériques.

Les sections suivantes décrivent en détail les phases du projet, abordent les changements apportés depuis qu'ils ont été initialement proposés et décrivent l'incidence relative sur l'ensemble du projet de l'atteinte de chaque objectif individuel ainsi que sur l'industrie de l'énergie des vagues en général.

### ***5.1 Évaluation des ressources en énergie des vagues***

Trois (3) bouées de mesure des vagues déployées sur le terrain et trois (3) différents modèles numériques de propagation des vagues ont été utilisés dans le cadre du projet afin d'avoir une idée précise des ressources en énergie des vagues au large de l'île de Vancouver.

Les bouées de mesure des vagues ont été utilisées afin d'obtenir des données précises sur les ressources en énergie des vagues dans des lieux situés dans la zone où ont été prises les mesures et de valider le modèle numérique de propagation des vagues. L'équipe de l'Initiative WCWI a travaillé en étroite collaboration avec son partenaire, AXYS Technologies, afin de déployer les trois (3) bouées de mesure des vagues de l'Initiative WCWI, d'assurer l'entretien des bouées et de les récupérer. Il s'agissait de deux bouées WatchMate et d'une bouée TriAXYS.

Le modèle de propagation des vagues nécessitait l'élaboration d'un modèle SWAN de 40 000 km<sup>2</sup> pour la côte ouest de l'île de Vancouver et un plus petit modèle REF/DIF de grande fidélité pour « Hesquiaht Sound ». Initialement, il a été proposé de jumeler le modèle SWAN avec un modèle à proximité du rivage, le SWASH, afin d'obtenir plus de renseignements sur les eaux peu profondes, ce qui a été jugé comme une voie non critique par les concepteurs partenaires de CEV.

Le délai supplémentaire pour la modélisation du SWASH a été utilisé pour augmenter la résolution spatiale du modèle SWAN dans les régions présentant un intérêt particulier. Les données du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT), du Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Centre (FNMOC) des États-Unis et de l'Oregon State University(OSU) ont été utilisées pour le modèle SWAN. Les prévisions à posteriori sur 12 ans (2004 à 2015) et les prévisions à cycle continu sur 48 heures des conditions des vagues ont été exécutées pour toute la région de la côte ouest de l'île de Vancouver.

Les bouées de mesure des vagues jumelées au modèle numérique de la propagation des vagues ont permis d'obtenir l'évaluation du régime des vagues la plus complète et précise qui soit pour la côte ouest de l'île de Vancouver. Les caractéristiques du régime des vagues, son énergie potentielle, ses fluctuations et sa configuration annuelle ont été quantifiées, puis on a procédé à l'évaluation du rendement des CEV.

Les répercussions sur le secteur de l'énergie sont les suivantes :

- Les concepteurs partenaires ont obtenu des données à haute résolution provenant des bouées, à utiliser pour développer davantage et mieux commander les CEV;
- Un aperçu du régime des vagues a été présenté dans des publications savantes et lors de conférences reconnues à l'échelle internationale;
- Un résumé des données sur les vagues est accessible au public sur le site Web de l'Initiative WCWI. Il est utilisé couramment par les concepteurs, les capitaines de navire, les pêcheurs et les surfeurs sur l'île de Vancouver;
- L'affichage des commentaires dans « [Ressources en énergie propre](#) » et « [Atlas des projets](#) » de [Ressources naturelles Canada](#);
- L'Initiative WCWI est reconnue internationalement pour ses programmes de mesure, de modélisation et d'évaluation des ressources des vagues;
- L'équipe de l'Initiative WCWI a fait en sorte que les résultats de la recherche contribuent à éclairer les spécifications techniques 62600-101 et 62600-102 de la Commission électrotechnique internationale (CEI).

## **5.2 Évaluation du rendement du CEV**

Les données sur les ressources brutes en énergie des vagues sont utilisées dans le cadre du projet afin de procéder à des simulations informatiques jumelées de grande fidélité de l'hydrodynamique et de la prise de force (PDF) de quatre (4) convertisseurs d'énergie des vagues (CEV) de partenaires à l'échelle réelle.

Les quatre (4) différents CEV étaient les suivants : l'absorbeur ponctuel auto-réactif international à deux corps (ABAR) de l'Initiative WCWI, l'aileron oscillant de Resolute Marine Energy, le flotteur Surfpower de Seawood Designs et une colonne d'eau oscillante et flottante (CEO) d'Ocean Energy Ltd. L'entreprise Dynamics Systems Analysis a fourni le logiciel de simulation, ProteusDS, qui a servi à modéliser chaque dispositif à l'échelle réelle afin de prévoir la production d'électricité pour les états de mer qui ont été déterminés à partir de l'évaluation des ressources en énergie des vagues. Différents systèmes de contrôle ont été installés sur chaque dispositif afin d'améliorer la production d'électricité.

Le modèle physique 1:20 et 1:55 a été élaboré pour l'ABAR de l'Initiative WCWI et a été mis à l'essai à l'Université Memorial de Terre-Neuve. Les données ainsi obtenues ont été utilisées pour valider les résultats numériques. La modélisation de l'absorbeur ponctuel auto-réactif à deux corps a été effectuée à l'aide d'un système de prise de force optimal en théorie et son système d'amarrage a été examiné pour sa robustesse dans des conditions extrêmes. Un système 1:20 a été créé qui incorporait le système de réglage de l'énergie des vagues de Triple X Energy.

La modélisation de l'aileron oscillant de Resolute Marine Energy a été exécutée avec un système de prise de force entièrement hydraulique, commandé à diverses fins et avec un

système d'amortisseur de coulomb à ressort plus simple et non linéaire. Il a également été modélisé physiquement et numériquement à l'échelle 1:40 dans le canal à houle de l'Université de Victoria. Le CEV à flotteur SurfPower de Seawood Designs a été modélisé à l'échelle réelle et commandé au moyen d'un système de gestion de l'énergie exclusif, avec des pressions de système variables selon l'état de mer. La colonne d'eau oscillante d'Ocean Energy Ltd a été simulée numériquement avec un modèle à plus petite échelle pour validation par comparaison avec les données fournies par la société et en raison du retard pris à communiquer les dimensions réelles. Un modèle à échelle réelle d'un CEV comparable sur une bouée inclinée vers l'arrière, proposé par le National Renewable Energy Laboratory des États-Unis, a été élaboré et simulé.

Les répercussions sur le secteur de l'énergie sont les suivantes :

- Les concepteurs partenaires ont reçu des modèles numériques complets de leurs technologies et des rapports détaillés sur le rendement de ces derniers;
- Des études d'optimisation et la mise en œuvre de méthodes de commande ont permis d'améliorer considérablement la production d'électricité pour des technologies particulières;
- Des méthodes de commande ont été présentées dans des publications savantes et lors de conférences reconnues à l'échelle internationale;
- Des modèles physiques des CEV ont été élaborés et mis à l'essai et les modèles numériques ont été validés;
- L'équipe de l'Initiative WCWI a créé un centre reconnu à l'échelle internationale pour la modélisation numérique et la commande des technologies de CEV;
- L'équipe de l'Initiative WCWI a fait en sorte que les résultats de la recherche contribuent à préciser les spécifications techniques 62600-100 et 62600-102 de la Commission électrotechnique internationale (CEI).

### ***5.3 Études sur l'intégration du CEV***

Les données sur le rendement de CEV ont alimenté les études détaillées sur l'intégration de l'énergie des vagues à trois (3) échelles : les communautés éloignées hors réseau (kW), l'île de Vancouver (MW) et l'Ouest canadien (GW).

À l'échelle des communautés éloignées (kW), la recherche a porté essentiellement sur la communauté des Premières nations de Hot Springs Cove, située à proximité de « Hesquiaht Sound » et a utilisé une base de données unique de demande d'électricité entre 2010 et 2011 a été utilisée à cette fin. Les répercussions sur un système uniquement électrique ou un système jumelé de production de chaleur et d'électricité (SCCE) ont été étudiées.

À l'échelle du mégawatt, l'intégration de dix (10) centrales de 50 MW utilisant l'énergie des vagues au large de l'île de Vancouver a été simulée au moyen de PLEXOS, un logiciel de

modélisation commercial de systèmes d'énergie. L'étude a révélé que la dépendance énergétique de l'île de Vancouver sur le service public de la Colombie-Britannique a été considérablement réduite grâce à l'intégration de l'énergie des vagues, et que la nature saisonnière de l'énergie des vagues indique une corrélation positive avec la demande locale. En ce qui a trait à la recherche sur l'intégration à plus grande échelle, soit le gigawatt, l'équipe de l'Initiative WCWI a fourni au Projet 2060, un programme de recherche du Pacific Institute of Climate Solutions (PICS), les données nécessaires sur les vagues afin d'inclure des **voies** à long terme visant à décarboniser le système électrique de l'Ouest canadien.

Les répercussions sur le secteur de l'énergie sont les suivantes :

- Les communautés éloignées des Premières nations ont fait l'objet d'une enquête, et la possibilité de l'énergie de vagues à fournir de l'énergie électrique a été précisée;
- Les résultats du rapport sur l'intégration des vagues de 500 MW de l'île de Vancouver ont été communiqués à BC Hydro et seront utilisés dans son prochain rapport sur les options en matière de ressources (ROR), un précurseur à son plan intégré des ressources (PIR) à long terme;
- Pacific Institute of Climate Solutions intègre actuellement les résultats de l'Initiative WCWI dans ses travaux à long terme afin de mener à bien la décarbonisation de notre système énergétique;
- L'initiative WCWI est dorénavant reconnue internationalement pour son approche globale *wave-to-wire*; une approche qui porte sur tous les principaux aspects du développement des technologies de l'énergie marine.

#### **5.4 Programme complémentaire : Simulations améliorées de CEV au moyen du logiciel ProteusDS**

La boîte à outils de la simulation numérique de CEV ProteusDS a été modifiée en 2014 et 2015 afin de permettre la modélisation d'une technologie canadienne unique de CEV pneumatique et d'améliorer l'efficacité computationnelle du logiciel.

La conception en cascade de CEV pneumatique d'Accumulated Ocean Energy (AOE) est unique et nécessite la mise à jour du logiciel ProteusDS de DSA. Un modèle numérique à échelle réelle du CEV d'AOE a été élaboré et testé à l'aide d'une stratégie de commande de la prise de force, ce qui comprenait un modèle hydrodynamique, pneumatique et thermodynamique entièrement jumelé. En outre, les calculs de l'architecture numérique de ProteusDS ont été mis à jour afin d'améliorer la vitesse computationnelle et la précision numérique.

Les répercussions sur le secteur de l'énergie sont les suivantes :

- L'entreprise canadienne AOE est pourvue d'un modèle numérique détaillé de son CEV et est en mesure de produire les connaissances requises pour concevoir le dispositif;
- L'entreprise canadienne Dynamic Systems Analysis possède maintenant un outil de simulation numérique amélioré lui permettant d'aider les sociétés du secteur de

l'énergie et les sociétés militaires en ce qui a trait aux procédures relatives à l'extraction des ressources et à l'eau;

- L'Initiative WCWI possède des modèles génériques numériques et pneumatiques de la prise de force afin de compléter les modèles de prise de force existants et est en mesure d'aider rapidement les futurs concepteurs de CEV dans leurs activités de commercialisation.

## **5.5 Programme complémentaire : Analyses techno-économiques approfondies**

La phase Études de l'intégration de CEV a été élargie afin d'inclure une analyse économique détaillée des coûts au niveau du CEV, fournie par les constructeurs internationaux de câble, et a amélioré la représentation du potentiel de l'énergie des vagues dans les modèles existants de l'énergie renouvelable dans le réseau électrique des communautés éloignées et de l'île de Vancouver.

En collaboration avec l'entreprise MacArtney Underwater Technology, l'équipe de l'Initiative WCWI a été en mesure de déterminer le coût optimal du dispositif de déploiement de la centrale du CEV, fondé sur les coûts du câblage et sur les activités de déploiement. De ce fait, elle a pu étendre ses analyses économiques de l'exploitation de l'énergie des vagues au niveau du CEV. L'inclusion de ces couches économiques dans le modèle d'optimisation pour les communautés éloignées (MOCE) a permis à l'équipe de l'Initiative WCWI de mieux quantifier les répercussions de l'intégration de l'énergie des vagues dans les systèmes électriques existants des communautés éloignées. Enfin, à l'aide d'ordinateurs très puissants, l'équipe de l'Initiative WCWI a mis au point de nouvelles méthodes permettant de quantifier facilement la variabilité des stations de CEV grâce aux connaissances approfondies sur un seul CEV.

Les répercussions sur le secteur de l'énergie sont les suivantes :

- Le secteur de l'énergie marine a bénéficié de la meilleure compréhension du câblage par l'équipe de l'Initiative WCWI et des dépenses liées aux infrastructures sous-marines;
- Les communautés éloignées ont tiré profit de la meilleure compréhension des interactions positives entre l'énergie des vagues et leurs systèmes électriques actuels comparativement à d'autres énergies renouvelables variables;
- Les résultats de la recherche de l'Initiative WCWI contribuent à la précision des spécifications techniques de la Commission électrotechnique internationale (CEI).

## **6 Résultats du projet**

### **6.1 Réalisations du projet**

Dans son ensemble, le projet de l'Initiative relative à l'énergie des vagues de la côte Ouest était une réussite. Les objectifs primordiaux suivants ont été atteints : l'évaluation des ressources brutes en l'énergie des vagues en Colombie-Britannique, la possibilité d'exploiter ces ressources

au moyen de convertisseurs d'énergie des vagues (CEV) et l'incidence de l'intégration de l'énergie des vagues dans le réseau électrique.

De nombreux résultats et contributions plus modestes (mais non moins importants) ont été obtenus dans le cadre du projet, mais la liste présentée ci-dessous décrit en détail les réalisations de haut niveau dans le cadre des trois thèmes de l'Initiative WCWI.

### **6.1.1 Connaissances à haute résolution du régime des vagues au large de la côte Ouest de l'île de Vancouver**

L'élaboration du modèle de propagation des vagues côtières à la plus haute résolution dont on dispose pour l'île de Vancouver jumelée au déploiement de trois bouées de mesure des vagues complètement directionnelles au large des côtes de la Colombie-Britannique (les seules bouées directionnelles en Colombie-Britannique) constitue un changement important en ce qui a trait à la compréhension collective des conditions des vagues et de leurs ressources en Colombie-Britannique. Les détails et la fidélité connexes qui ont été saisis au cours des prévisions à posteriori sur 12 ans et des prévisions continues sur 48 heures des caractéristiques temporelles et spatiales des vagues ont garanti la grande fiabilité des résultats et ont atténué la grande incertitude et le risque élevé quand ils sont utilisés pour effectuer la modélisation numérique du CEV.

L'ensemble des données des ressources validées comprend les spectres complets de fréquence et des vagues directionnelles, ce qui permet l'utilisation du post-traitement détaillé pour élaborer les normes sur l'énergie marine CEI TC-114, la modélisation numérique de CEV plus précise et pour son utilisation dans le ROR de BC Hydro. En outre, les données sur les vagues issues de la série de bouées de l'Initiative WCWI sont publiées en ligne et sont fréquemment utilisées par les capitaines de navire, les plaisanciers et les surfeurs.

Les travaux ont donné lieu à une demande de subventions de Recherche et de Développement coopérative (RDC) du CRSNG avec BC Hydro, IBM Canada et le ministère de l'Énergie et des Mines de la Colombie-Britannique.

### **6.1.2 Outils numériques permettant de prévoir avec exactitude la production d'électricité de CEV**

En collaboration avec les concepteurs industriels de CEV et l'entreprise Dynamic Systems Analysis, l'équipe de l'Initiative WCWI a mis au point une série d'outils de modélisation de CEV reconnue internationalement pour son exhaustivité et sa résolution. Le jumelage dynamique des modèles hydrodynamiques, thermodynamiques et de la prise de force détaillée ont permis à l'équipe de l'Initiative WCWI d'offrir aux concepteurs collaborateurs de CEV une meilleure compréhension des mouvements du dispositif et de la production d'électricité associée. Grâce à l'élaboration de nouvelles stratégies de contrôle de la prise de force et aux optimisations de l'architecture, chaque concepteur du CEV possède les outils numériques nécessaires pour

prévoir le rendement de leurs dispositifs pour tout endroit au monde. Les partenaires des concepteurs de CEV ont utilisé ces résultats pour le développement de leurs entreprises et les demandes de financement. Par exemple, AOE a utilisé les résultats de l'Initiative WCWI pour une demande de financement auprès de Technologies du développement durable Canada (TDDC).

En Colombie-Britannique, les données sur l'évaluation détaillée des ressources en énergie des vagues jumelées aux outils de la modélisation numérique mis au point ont permis à l'équipe de l'Initiative WCWI de produire une estimation précise de la production d'électricité des différents CEV s'ils sont déployés au large de la côte Ouest de l'île de Vancouver. Ces travaux ont abouti à l'approbation de subventions de recherche et développement coopérative du CRSNG avec le ministère de l'Énergie de la Colombie-Britannique et AOE.

### **6.1.3 Études d'intégration pour évaluer l'incidence de l'énergie des vagues sur les réseaux électriques à l'échelle des communautés éloignées et les réseaux à grande échelle**

Au cours des quatre dernières années, l'équipe de l'Initiative WCWI a été en mesure de quantifier l'incidence, les possibilités et les obstacles liés à l'intégration de l'énergie marine renouvelable à l'échelle des communautés éloignées et à grande échelle. Les connaissances uniques sur les ressources de l'énergie des vagues de l'équipe de l'Initiative WCWI et le rendement des conceptions de CEV dans les ressources mesurées ont permis d'acquérir les connaissances fondamentales requises pour effectuer les études sur l'intégration de l'énergie des vagues à haute résolution.

En collaboration avec Barkley Group et les Premières nations de Hesquiaht, l'équipe de l'Initiative WCWI a évalué les opportunités et les réductions de la consommation de diesel associées à l'intégration de l'énergie des vagues à Hot Springs Cove. Des travaux supplémentaires, exécutés dans le cadre du programme complémentaire, ont permis d'élargir ces travaux pour inclure les projets de minicentrales hydroélectriques et éoliens actuellement prévus (mais non opérationnels) dans la communauté. Ces travaux ont été élargis afin d'inclure un modèle de cogénération de la communauté et la proposition de valeur associée.

En collaboration avec Project 2060, l'intégration de 500 MW d'énergie des vagues sur l'île de Vancouver a considérablement amélioré l'indépendance énergétique de l'île en réduisant la demande sur le réseau de BC Hydro de 11 % par an et les demandes de pointe jusqu'à 15 %.

Ces travaux se poursuivent dans le cadre de Project 2060 ainsi que plusieurs tâches dans le cadre d'une demande de subventions de recherche et développement coopérative du CRSNG avec BC Hydro, IBM Canada et le Ministère de l'Énergie et des Mines de la Colombie-Britannique.

## **6.2 *Avantages et objectifs du développement des technologies et des connaissances***

La présente section décrit les avantages que retirent les collaborateurs de l'Initiative WCWI, les prestataires de services et les partenaires universitaires du projet. Elle précise la manière dont le projet a contribué aux progrès des technologies individuelles et les connaissances associées et en décrit les effets pour les collaborateurs, les prestataires de services, les universitaires et l'ensemble de l'industrie de l'énergie marine du Canada.

### **6.2.1 Avantages pour les collaborateurs de l'Initiative WCWI**

Dans le cadre du programme de l'Initiative WCWI, les concepteurs collaborateurs de l'Initiative WCWI ont fait avancer de façon importante la connaissance et la compréhension de leurs technologies et des ressources de l'énergie des vagues au large des côtes de l'île de Vancouver.

Resolute Marine Energy, Seawood Designs et Carnegie Wave Energy ont tous reçu un rapport détaillé sur l'évaluation des ressources en énergie des vagues pour des lieux qu'elles ont choisis. Les rapports sur l'évaluation des ressources étaient fondés sur la norme technique 62600-101 de la Commission électrotechnique internationale (CEI). Les rapports portaient sur les premières évaluations des ressources de l'énergie des vagues effectuées en Colombie-Britannique en utilisant les nouvelles normes de la CEI.

Resolute Marine Energy, Ocean Energy Limited et Seawood Designs ont également reçu un modèle numérique validé de leurs dispositifs, une matrice de rendement intégrale de la production d'électricité dans les eaux de la Colombie-Colombie et une série de rapports techniques sur les méthodes, les hypothèses et le rendement des modèles numériques. Ocean Energy Limited, ayant communiqué les informations techniques sur son dispositif en retard, a reçu un modèle numérique approximatif de son dispositif fondé sur la colonne d'eau oscillante de la bouée inclinée vers l'arrière des National Renewable Energy Laboratories. La modélisation numérique fournie aux concepteurs de la technologie de CEV par l'Initiative WCWI dépassait les capacités de modélisation interne de chaque entreprise et a fourni une compréhension plus précise du rendement de leurs dispositifs.

Deux (2) modèles physiques du système de réglage du CEV de Triple X Energy, les modèles SWELS, ont été construits et testés dans la cuve à houle de l'Université Memorial de Terre-Neuve. En outre, la modélisation numérique détaillée a fourni la preuve théorique et numérique du très bon rendement du dispositif du CEV quand le SWELS IP était installé. Ces travaux se poursuivent par l'application de la théorie des graphes afin de mieux comprendre les possibilités et les incidences des modèles SWELS.

AOE s'est jointe à l'équipe de l'Initiative WCWI dans le cadre du projet complémentaire de l'Initiative de l'écoÉNERGIE sur l'innovation. Le code de base du logiciel ProteusDS a été modifié

au cours de l'exercice 2015-2016 afin de modéliser la prise de force pneumatique en cascade d'AOE. Sa collaboration a permis à l'équipe de l'Initiative WCWI de fournir à AOE une première estimation complète du rendement de son dispositif – un facteur important pour la demande auprès de Technologies du développement durable Canada (TDDC) de l'entreprise et pour sa croissance ultérieure. La modélisation numérique d'une plus grande fidélité du système d'AOE se poursuit dans le cadre de Recherche et Développement coopérative (RDC) du CRSNG avec AOC et le ministère de l'Énergie et des Mines de la Colombie-Britannique.

### **6.2.2 Avantages pour les fournisseurs de services à l'Initiative WCWI**

AXYS Technologies, Dynamic Systems Analysis, Cascadia Coastal Research et MacArtney Underwater Technology ont tous fourni des services spécialisés à l'équipe de l'Initiative WCWI dans le cadre du programme de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation. L'équipe de l'Initiative WCWI a donné à chaque entreprise la possibilité d'élargir leur expertise technique et leurs produits de données ainsi que la possibilité de travailler directement avec des leaders internationaux de la communauté de l'énergie des vagues et de nouer des relations pour les futures recherches et consultations.

Par exemple, Cascadia Coastal Research et AOE Accumulated Ocean Energy ont élargi leurs relations commerciales au-delà de l'Initiative WCWI et sont reconnues à l'échelle internationale grâce à la mise au point d'outils et aux connaissances sur la nouvelle conception du CEV d'AOE.

### **6.2.3 Avantages pour les partenaires universitaires de l'Initiative WCWI**

Les partenaires et étudiants universitaires ont pu, dans le cadre du projet de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation, effectuer des recherches de pointe à l'échelle mondiale sur les évaluations des ressources de l'énergie marine, la modélisation des technologies et l'intégration de l'électricité. Les retombées de ces recherches sont les suivantes : près de 15 articles publiés dans des revues évalués par des pairs, 23 articles de conférence, membres de comités internationaux d'élaboration de normes et de nombreuses demandes de discussions de groupe.

Les membres du personnel hautement qualifié (PHQ) ayant terminé le programme ont tous trouvé un emploi ou ont créé de petites sociétés d'experts-conseils dans le secteur maritime, ce qui est révélateur du haut niveau de confiance que les entreprises accordent aux diplômés de l'Initiative WCWI.

### **6.2.4 Avantages pour le Canada**

Le projet a apporté un soutien précieux à l'industrie naissante de l'énergie des vagues du Canada. Le Canada, qui possède un potentiel important d'énergie des vagues et un secteur maritime très bien développé, a grandement bénéficié de l'examen détaillé des ressources de l'énergie des vagues au large des côtes de la Colombie-Britannique, de son potentiel de produire de l'électricité carboneutre et de son incidence sur le réseau. Plus précisément, le projet a permis d'établir une compréhension commune du potentiel des ressources de l'énergie des vagues et de la mesure dans laquelle elles sont utilisables au large de la côte ouest de l'île de Vancouver à divers intervenants du secteur maritime. Ce projet a fourni une base de données de mesures physiques des vagues sur quatre (4) ans dont on avait grandement besoin et une simulation du modèle numérique sur douze (12) ans qui décrit les ressources d'énergie des vagues de la côte ouest de l'île de Vancouver.

Qui plus est, le projet a créé un carrefour pour l'innovation dans l'énergie des vagues au Canada. Les données et outils fournis par le projet ont permis aux concepteurs des technologies de s'attacher principalement à l'accélération de l'innovation au Canada en ce qui a trait à la conversion de l'énergie des vagues. En allégeant le fardeau de l'évaluation des ressources, le projet a rendu la région de la côte ouest de la Colombie-Britannique plus attirante à la population internationale des concepteurs de CEV qui de nos jours s'intéressent davantage aux marchés non canadiens.

### ***6.3 Défis et obstacles***

#### **6.3.1 Entretien des bouées de surveillance des vagues**

Les bouées de surveillance des vagues de l'initiative WCWI ont besoin d'un soutien opérationnel et d'un entretien plus importants que prévu initialement, ce qui a entraîné des dépenses financières légèrement supplémentaires et un plus grand soutien en personnel. En collaboration directe avec AXYS Technologies, une nouvelle évaluation et une modification des bouées de surveillance des vagues et des paquets de technologies auxiliaires ont été effectuées afin d'améliorer la robustesse du déploiement des bouées. De ce fait, un cycle d'entretien de deux ans a été proposé au lieu du cycle de six mois.

#### **6.3.2 Données de validation du modèle numérique**

L'équipe de la modélisation des technologies de l'Initiative WCWI a compté sur les partenaires collaborateurs de CEV pour obtenir des données sur les essais en cuve ou sur le terrain, nécessaires pour valider les modèles numériques. Les données de certains partenaires des technologies ont été transmises trop tard à l'équipe de l'Initiative WCWI pour permettre à cette dernière de valider le rendement du modèle dans les délais prévus du projet. Afin de s'assurer que les résultats escomptés étaient reçus, l'équipe de l'Initiative WCWI a élaboré des modèles numériques pour ces technologies à l'aide des meilleures données publiques.

### **6.3.3 Fausse représentation du logiciel de modélisation**

Au cours de la deuxième année de l'initiative WCWI, le personnel a remarqué que les estimations numériques de la production d'électricité issues des simulations de CEV étaient imprévues et insolites. Après avoir procédé à une analyse minutieuse, il a été déterminé que la représentation du champ des vagues dans le logiciel commercial était erronée et non représentative. Le personnel de l'Initiative WCWI a rédigé un ajout au code de prétraitement à titre de redressement et l'a communiqué au concepteur du logiciel pour l'inclure dans les futures versions. Ce problème numérique a été réglé dans le logiciel commercial durant la quatrième année de l'Initiative WCWI. Grâce à la détermination et à la correction de cette erreur, le logiciel offre maintenant une représentation exacte de l'état de mer, ce qui a amélioré le produit. En outre, ce changement profitera aux futurs concepteurs de la technologie de l'énergie marine qui utiliseront le logiciel.

### **6.3.4 Bases de données du système électrique : à l'échelle des communautés éloignées et à grande échelle**

Des renseignements détaillés sur l'architecture du système (générateurs, demande, transmissions, etc.) étaient requis afin d'examiner l'incidence de l'intégration de l'énergie des vagues dans un réseau ou un système électrique existant. La collecte de toutes les bases de données requises pour représenter avec exactitude les interactions entre le système électrique existant et la production d'énergie des vagues a pris plus de temps que prévu à l'échelle des communautés éloignées et à grande échelle. Après avoir travaillé directement avec les Premières nations de Hesquiaht et BC Hydro, ces renseignements ont été enfin recueillis. Ces bases de données ont été préparées pour les futures études sur l'intégration. En outre, le personnel des Premières nations de Hesquiaht et de BC Hydro est dorénavant prêt à prendre des mesures afin de répondre aux demandes de tels ensembles de données par l'industrie.

## 6.4 Analyse comparative entre les sexes

Phase	Hommes	Femmes	Total
Planification/élaboration/exécution du projet	15	4	19
Activités en cours	2	1	3
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>5</b>	<b>22</b>

## 7 Conclusion et suivi

Ce projet a créé un carrefour pour l'innovation et l'exploitation de l'énergie des vagues au Canada. Les données et les outils préparés dans le cadre de ce projet permettent de s'assurer que le Canada joue un rôle de chef de file en recherche et développement de l'énergie des vagues et des technologies connexes. Il permet aux concepteurs locaux et internationaux de la technologie de l'énergie des vagues de s'attacher l'accélération de l'innovation requise dans le processus de conversion de l'énergie des vagues. En prenant en charge le besoin à l'échelle de l'industrie de données détaillées sur l'évaluation des ressources brutes des vagues et en la déchargeant du fardeau de l'intégration à un réseau, le projet a rendu la région de la côte Ouest de l'île de Vancouver plus attirante pour la population internationale des concepteurs de CEV, axée actuellement sur les marchés non canadiens.

L'évaluation des ressources brutes en énergie des vagues et les méthodes de la modélisation de la technologie de l'énergie nette de l'Initiative WCWI ont été utilisées afin d'éclairer la prochaine génération de normes internationales de la CEI. En élaborant des modèles détaillés de l'intégration à un réseau, l'équipe de l'Initiative WCWI a fourni une première vision détaillée des possibilités qui dotent le Canada d'un avantage concurrentiel sur le plan international en ce qui a trait aux ressources naturelles de l'énergie des vagues.

### 7.1 Prochaines étapes

Les résultats du programme de l'initiative WCWI ont permis aux concepteurs partenaires de la technologie de CEV de faire des demandes de subventions à Technologies du développement durable Canada (TDDC), à **Recherche et développement coopérative** (RDC) du CRSNG, au BC Innovation Council (BCIC) Ignite, à Diversification de l'économie de l'Ouest (DEO) et au Programme d'aide à la recherche industrielle (PARI). Sur le plan international, les résultats des efforts déployés par l'équipe de l'Initiative WCWI ont contribué aux déploiements réussis de la technologie de l'énergie des vagues à Hawaï et en Europe. Dans le milieu universitaire, les outils numériques et les connaissances continuent d'évoluer et de s'améliorer grâce au soutien financier des programmes de subvention mentionnés ci-dessus, pour aider les futurs

concepteurs de CEV à en accroître l'efficacité et à réduire les coûts associés à leurs dispositifs, ce qui leur permettra d'être concurrentiels sur la scène internationale.

L'équipe de l'Initiative WCWI a également établi le cadre permettant au ministère de l'Énergie et des Mines de la Colombie-Britannique d'examiner les possibilités techniques, économiques et gouvernementales associées à la création d'un centre spécialisé en énergie marine en Colombie-Britannique. Ce centre offrirait l'infrastructure et les soutiens financiers requis pour permettre aux concepteurs de CEV d'accélérer les cycles de vie du développement des technologies en effectuant des essais à l'échelle sur le terrain et de procéder aux premiers déploiements commerciaux.