



DES VAGUES À L'ÉLECTRICITÉ : DE L'ÉNERGIE DANS NOS VIES GRÂCE À L'OcéAN

Nicolás Faedo*, Bruno Paduano et Maria Luisa Celesti

Laboratoire d'énergie renouvelable en mer offshore, Département de génie mécanique et aérospatial, Politecnico di Torino, Turin, Italie

VAGUE. Ondulation qui naît à la surface de la mer sous l'action du vent. Les vagues se propageant sur une longue distance forment la houle (pour en savoir plus : [ici](#))

ÉNERGIE PROPRE. Énergie qui provient de sources qui ne créent pas de pollution ou ne nuisent pas à l'environnement, telles que la lumière du soleil, le vent et l'eau.

Nous vivons quotidiennement dans un monde où circule une quantité incroyable d'énergie ! L'énergie alimente nos téléphones, nos jeux vidéo et nos voitures. Mais d'où vient-elle ? Savais-tu qu'elle peut être fournie par les vagues ? Les vagues que tu vois depuis la plage transportent une énorme quantité d'énergie propre, et nous pouvons transformer cette énergie en électricité pour nos besoins. Ceci est réalisé en utilisant des dispositifs appelés convertisseurs d'énergie des vagues. Tout comme une éolienne produit de l'énergie grâce au vent, les convertisseurs d'énergie des vagues produisent de l'électricité en exploitant l'énergie des vagues. Curieux de savoir comment cela fonctionne ? Alors plonge dans cet article et découvre le monde de l'énergie des vagues et de la houle, l'énergie houlomotrice !

DES VAGUES POUR DYNAMISER TA JOURNÉE

Nous croirais-tu si nous te disions que tu peux charger ton téléphone, alimenter ton ordinateur ou faire fonctionner ta voiture (si elle est électrique) en utilisant les mêmes ondes que celles que tu vois lorsque tu vas à la plage ? Les **vagues** de l'océan peuvent transporter beaucoup d'**énergie propre**, et tu as probablement toi-même

expérimenté cette énergie. Si tu as déjà utilisé un bodyboard pour attraper une vague (ou même une planche de surf, si tu es plus expérimenté), tu as directement utilisé l'énergie disponible dans les vagues pour te faire tourbillonner à travers l'océan. Même lorsque tu es simplement debout dans la mer et qu'une vague approche, tu peux sentir une force te pousser... parfois si fort qu'elle te fait tomber ! Comme tu le découvriras en lisant cet article, l'énergie des vagues peut être exploitée pour alimenter notre vie quotidienne. C'est l'idée qui sous-tend le domaine de la conversion de l'énergie des vagues océaniques [1].

QUELLE QUANTITÉ D'ÉNERGIE TROUVE-T-ON DANS LES VAGUES ?

On trouve beaucoup d'énergie dans les vagues [2]. Faisons ensemble une estimation rapide : une seule vague, comme celles que tu surfes avec ton bodyboard, peut être utilisée pour alimenter ton téléphone plus de 4 500* fois en une journée !

Si on considère toutes les vagues dans l'océan, c'est beaucoup de puissance ! Mais d'où vient réellement toute cette énergie ?

* estimation basée sur l'énergie disponible dans des vagues de 1 mètre de haut, pour une largeur de 1 m et ayant une période (temps moyen entre deux vagues successives) de 6 s et sur la capacité de la batterie d'un téléphone cellulaire standard

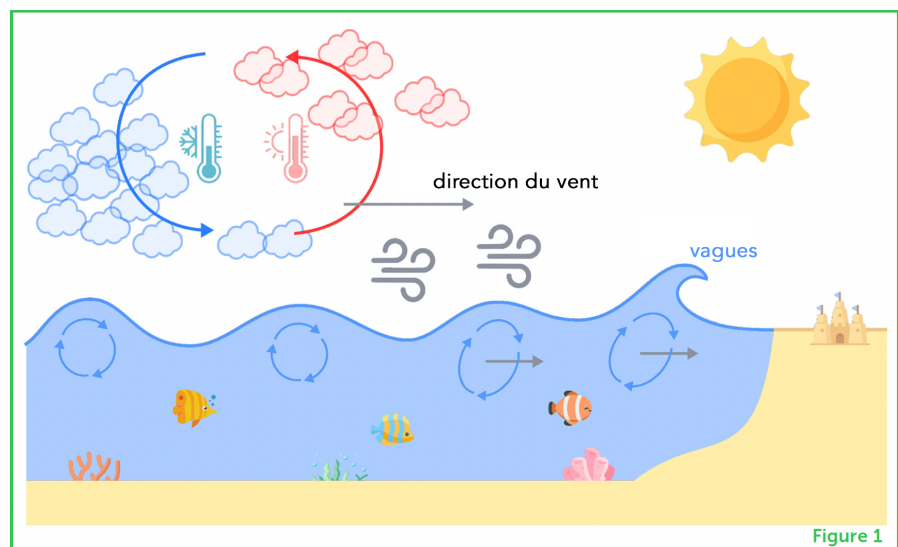


Figure 1. Processus de formation des vagues. L'air chauffé par le soleil monte et l'air frais descend ; ce mouvement d'air forme le vent. Le vent forme les vagues en poussant l'eau à la surface de l'océan.

Les vagues résultent d'une combinaison de deux sources d'énergie que tu connais très bien et dont tu fais l'expérience presque tous les jours : le soleil et le vent (Figure 1). Le soleil est responsable du vent. Sa lumière réchauffe la Terre de manière inégale, ce qui fait monter l'air chaud et retomber l'air froid, créant du vent. Le vent souffle à la surface de l'océan, comme une main invisible qui pousse l'eau vers l'avant. Au début, l'eau bouge un peu, faisant de minuscules ondulations, comme de très petites vagues. Mais si le vent continue de souffler, ces ondulations commencent à se mélanger, devenant de plus en plus grandes, créant les vagues que tu vois rouler sur le rivage, et s'écraser contre les rochers !

Imagine que tu souffles sur un verre d'eau : tu vois des ondulations et des bulles se former à la surface de l'eau. Lorsque tu souffles, ton souffle apporte l'énergie qui fait bouger l'eau, tout comme le vent à la surface de l'océan (Figure 1).

TRANSFORMER L'ÉNERGIE DES VAGUES EN ÉLECTRICITÉ

Jusqu'à présent, nous avons établi que les vagues peuvent être très puissantes... Mais peut-on transformer cette énergie en électricité ? Et pouvons-nous le faire efficacement ? Les appareils qui effectuent cette conversion sont appelés **convertisseurs d'énergie des vagues (CEV)** [3]. Les CEV sont généralement composés de deux parties principales : un corps capable de se déplacer avec les vagues, et un **générateur** (Figure 2).

Nous aborderons ces deux éléments clés dans les paragraphes suivants. Mais si un CEV flottant est frappé par de grosses vagues, comment reste-t-il en place sans s'éloigner ? Le secret, c'est le **système d'amarrage** ! Ce système utilise des chaînes et des cordes solides, similaires à celles utilisées pour maintenir les navires attachés aux quais. Ces chaînes et ces cordes permettent au CEV de ne pas s'éloigner, même lorsque les vagues sont très fortes !

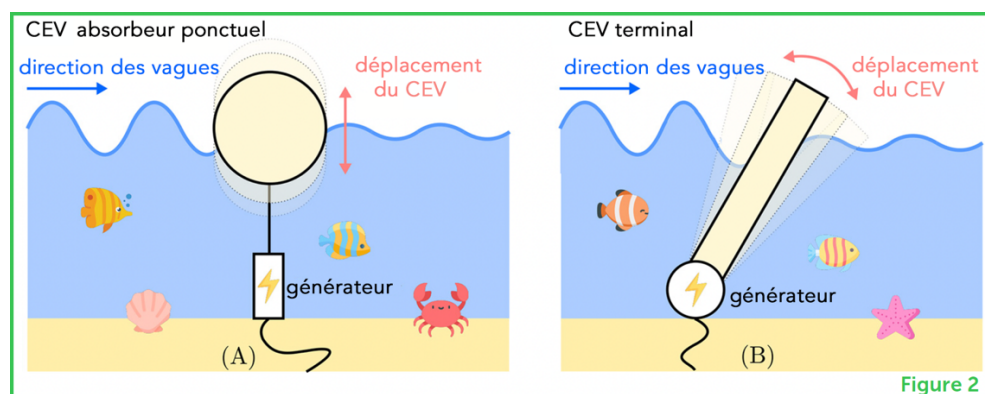


Figure 2. Deux concepts principaux de conversion de l'énergie des vagues. (A) Le CEV absorbant ponctuel (sphérique, dans ce cas) se déplace de haut en bas en raison de l'action des vagues. (B) Le CEV terminal, en particulier une structure en forme de volet, se déplace d'un côté à l'autre en raison du mouvement des vagues. Les deux types sont connectés à des générateurs, qui peuvent transformer leur mouvement en électricité utilisable. La différence entre la grande vague qui s'approche du CEV et la plus petite qui le quitte est une mesure de l'énergie que le CEV a réussi à convertir. Les chercheurs s'efforcent constamment de concevoir des CEV de manière à ce qu'ils soient inoffensifs pour les poissons et autres animaux marins.

Le corps du CEV se déplace par l'action des vagues de haut en bas (Figure 2A) ou d'un côté à l'autre (Figure 2B). Ce mouvement entraîne un générateur, qui transforme le mouvement en électricité. Cette électricité est ensuite acheminée jusqu'à ta maison par un long câble électrique. Bien que les CEV ne soient pas encore largement disponibles, certains **prototypes** sont déjà utilisés à travers le monde, par exemple le long des côtes de l'Italie et de l'Écosse.

CONVERSION D'ÉNERGIE.

Processus de transformation d'énergie d'une forme à une autre.

CONVERTISSEUR D'ÉNERGIE DES VAGUES. (CEV).

Appareil qui capte le mouvement des vagues.

GÉNÉRATEUR. Appareil qui convertit l'énergie d'une forme à une autre. Dans notre cas, l'énergie du mouvement du CEV en énergie électrique.

SYSTÈME D'AMARRAGE.

Dispositif qui maintient un bateau ou des structures flottantes en place (comme le font une ancre, une bouée ou un câble).

PROTOTYPE. Premier

modèle d'appareil créé pour tester son fonctionnement et apporter des améliorations avant de créer la version finale.

Dans le futur, on pourrait installer de grands parcs composés de plusieurs unités de systèmes CEV proches les unes des autres pour mieux capter l'énergie des vagues.

COMMENT POUVONS-NOUS STIMULER LA CONVERSION DE L'ÉNERGIE DES VAGUES ?

Comme le montre la figure 2, les CEV peuvent être basés sur différents principes. Mais lequel absorbe le plus d'énergie ? La réponse n'est pas aussi simple qu'on pourrait s'y attendre. Le « meilleur » CEV dépend de la nature des vagues elles-mêmes : bien que les vagues puissent se ressembler lorsque nous les admirons depuis la plage, la formation des vagues présente des caractéristiques différentes selon l'endroit sur Terre où elle a lieu. Les vagues peuvent être plus ou moins hautes ou plus ou moins longues, nécessitant une technologie différente pour la conversion efficace de leur énergie. Cependant, il existe un outil universel que nous pouvons utiliser pour améliorer l'efficacité de n'importe quel CEV, indépendamment de sa méthode de conversion d'énergie. Ce mécanisme s'appelle un **régulateur**. Si tu observes attentivement la figure 2, tu verras que les ondes qui s'approchent des CEV sont plus hautes que les vagues qui les quittent. Cette différence montre à quel point le CEV est capable de transformer l'énergie des vagues en type d'énergie que nous pouvons utiliser, et améliorer ce processus est précisément ce que le régulateur vise à faire !

RÉGULATEUR. Logiciel qui dirige les actions d'autres machines ou systèmes pour poursuivre un objectif. Dans notre cas, le régulateur vise à maximiser l'énergie convertie par le CEV.

Le régulateur est comme un programme informatique intelligent (penses-y comme l'une des applications sur ton téléphone) qui peut dire au générateur quoi faire pour améliorer la conversion d'énergie des ondes [4]. Il aide le CEV au bon moment. Nous avons expliqué comment le générateur transforme le mouvement CEV, causé par les ondes, en énergie utilisable sous forme d'électricité. Plus de mouvement signifie plus d'électricité. En gardant cela à l'esprit, le régulateur CEV fait quelque chose de très similaire à ce qui se passe lorsque tu es sur une balançoire et que tu veux aller plus haut : il agit comme quelqu'un qui te pousse exactement au bon moment, pour t'aider à te balancer le plus haut possible ! Le régulateur indique au générateur quand donner une poussée au CEV, pour augmenter son mouvement et donc augmenter l'énergie convertie (Figure 3).

QU'AVONS-NOUS APPRIS ?

Tu sais maintenant que l'énergie contenue dans les vagues de l'océan est presque illimitée et peut être utilisée pour alimenter notre vie quotidienne ! L'énergie des vagues peut être transformée en électricité utilisable à l'aide de machines appelées CEV, qui sont conçues pour convertir en électricité, grâce à un générateur, le mouvement de haut en bas (ou d'un côté à l'autre) d'un corps déplacé par l'action des vagues. Étant donné que les vagues peuvent être très

différentes à travers le monde, et que nous aimerions convertir l'énergie océanique partout, différents types de CEV ont été développés. Pour rendre la conversion d'énergie aussi efficace que possible, les régulateurs entrent en jeu, optimisant la quantité d'énergie que les CEV peuvent transformer en électricité à partir des vagues de l'océan. Alors, garde les yeux bien ouverts pour repérer ces appareils étonnants – tu pourrais en voir un flotter près de ta plage préférée très bientôt !

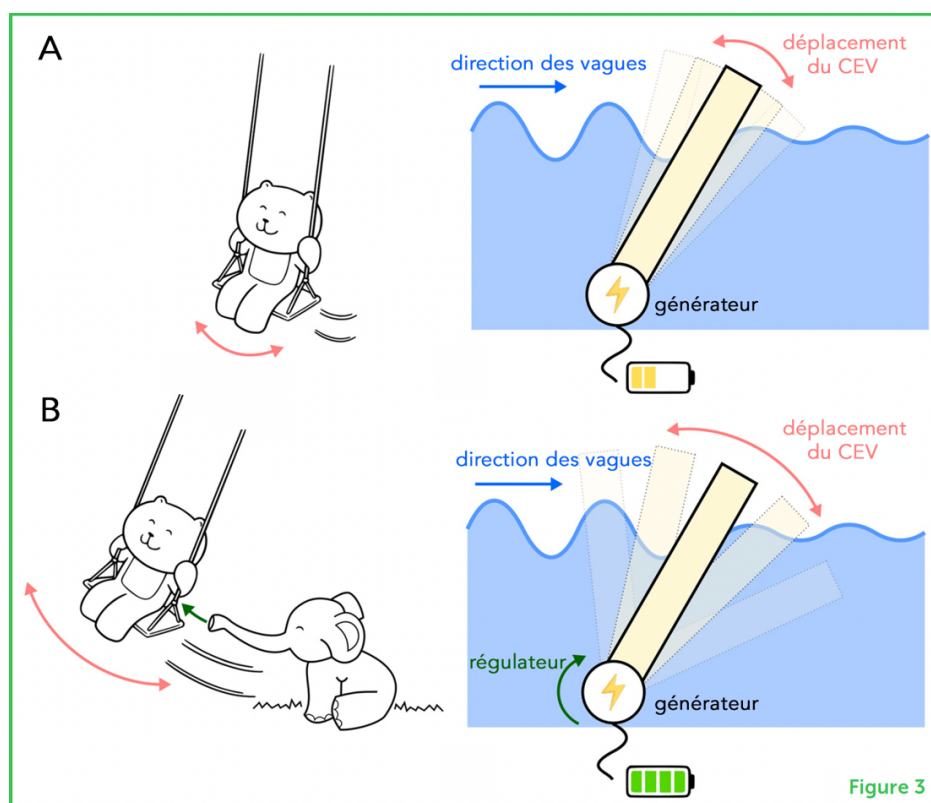


Figure 3. Le régulateur aide le CEV à transformer l'énergie plus efficacement, en lui donnant une force au bon moment. Tu peux le considérer comme quelqu'un qui te pousse lorsque tu es sur une balançoire et que tu veux aller plus haut. (A) Si tu te balances seul, ton mouvement sera toujours inférieur à celui qu'il serait si (B) quelqu'un te pousse au bon moment, t'aidant à aller aussi haut que possible. Le régulateur du CEV fait essentiellement la même chose, en donnant un petit coup de pouce au corps CEV au bon moment pour maximiser son mouvement.

RÉFÉRENCES

1. Falnes, J., and Kurniawan, A. 2020. *Ocean Waves and Oscillating Systems*, Vol. 8. Cambridge: Cambridge University Press.
2. Reguero, B., Losada, I., and Méndez, F. 2015. A global wave power resource and its seasonal, interannual and long-term variability. *Appl. Energy* 148:366–80. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.03.114
3. Guo, B., and Ringwood, J. V. 2021. A review of wave energy technology from a research and commercial perspective. *IET Renew. Power Gener.* 15:3065–90. doi: 10.1049/rpg2.12302
4. Ringwood, J. V., Zhan, S., and Faedo, N. 2023. Empowering wave energy with control technology: possibilities and pitfalls. *Annu. Rev. Control.* 55:18–44. doi: 10.1016/j.arcontrol.2023.04.004

VERSION FRANÇAISE

Cet article d'accès libre est une traduction avec modifications d'un article publié par Frontiers for Young Minds (doi: 10.3389/frym.2025.1403564 ; Faedo N, Paduano B and Celesti ML (2025) Powering Our Lives With the Ocean: From Waves to Electricity. Front. Young Minds 13:1403564).

TRADUCTION : Catherine Braun-Breton, Association Jeunes Francophones et la Science.

ÉDITION : Frédéric Lemoigno, ICGM, Montpellier

MENTORS SCIENTIFIQUES : [Georges Lutfalla](#), [Catherine Braun-Breton](#)

REMERCIEMENTS : Merci à Fanny Chandéris pour son accueil et son implication dans l'édition de cet article par ses élèves.

JEUNES ÉDITEURS

OLIVIA, NEYLA, SOLINE, DIANE, 11-12 ANS

Nous sommes au collège, en classe de sixième. Olivia est passionnée d'astrophysique ; elle adore les activités manuelles et les chatons. Diane aime voyager. Soline aime les animaux et dessiner pendant son temps libre. Neyla aime aussi dessiner et pratiquer la danse ; elle est taquine avec sa sœur !

TONY, MATHIEU, SERENA, LANA, SOHEÏL, 11 ANS

Nous sommes des collégiens sportifs et qui aiment beaucoup la nature. Soheïl et Tony aiment jouer à des jeux vidéo. Serena, Lana et Mathieu aiment lire.

VERSION ORIGINALE (VERSION ANGLAISE)

SOU MIS le 19 mars 2024 ; **ACCEPTÉ** le 7 février 2025 ;

PUBLIÉ EN LIGNE le 3 mars 2025.

ÉDITEUR : Idan Segev, Université hébraïque de Jérusalem, Israël

MENTORS SCIENTIFIQUES : Muthukrishna Vellaisamy Kumarasamy et Jing Li

CITATION : Faedo N, Paduano B and Celesti ML (2025) Powering Our Lives With the Ocean: From Waves to Electricity. Front. Young Minds 13:1403564. doi: 10.3389/frym.2025.1403564

DÉCLARATION DE CONFLIT D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent que les travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un conflit d'intérêt potentiel.

DROITS D'AUTEURS

Copyright © 2025 Faedo, Paduano and Celesti

Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions

de la licence Creative Commons Attribution (CC BY). Son utilisation, distribution ou reproduction sont autorisées, à condition que les auteurs d'origine et les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans cette revue soit citée conformément aux pratiques académiques courantes. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

JEUNES ÉVALUATEURS

LEON, 13 ANS

Leon est un garçon curieux passionné par les sciences, en particulier l'astronomie, la biologie et la physique. Il aime la science-fiction, en particulier la trilogie *The Remembrance of Earth's Past*. Leon aime essayer de nouveaux aliments du monde entier, notamment des cuisines thaïlandaise, chinoise, italienne et japonaise.

NIKHIL, 13 ANS

Nikhil est fasciné par le monde de la science, en particulier par l'astrophysique et la microbiologie. C'est un gamin drôle qui aime faire des bêtises et faire l'idiot, autant que prendre du plaisir à découvrir de nouvelles choses sur les trous noirs et la propulsion par distorsion.

STEPHANIE, 13 ANS

Je m'appelle Stéphanie et j'ai 13 ans. Je suis en huitième année au collège et mes passe-temps sont le chant, le tennis et la clarinette. Ma matière préférée à l'école est ELA et j'aime lire et écrire des histoires policières et des romans dystopiques. J'ai déjà joué pour le cirque UniverSoul et j'ai été critique pour quelques articles scientifiques de *Frontiers for Young Minds*.

AUTEURS

NICOLÁS FAEDO

Nicolás Faedo est originaire de Buenos Aires, en Argentine (lieu de naissance du grand et unique Leo Messi !). Il est titulaire d'un diplôme en ingénierie de l'automatisation et du contrôle de l'Université nationale de Quilmes, à Buenos Aires, et d'un doctorat en génie électronique du groupe du Center for Ocean Energy Research de l'Université de Maynooth, en Irlande. Nicolás est chercheur au Politecnico di Torino, en Italie, travaillant dans le domaine des systèmes d'énergie marine renouvelable, abordant l'efficacité et l'optimisation de la conversion d'énergie à l'aide de la théorie du contrôle. *nicolas.faedo@polito.it

BRUNO PADUANO

Bruno Paduano est originaire de Pompéi, en Italie (1992). Il a obtenu son diplôme d'ingénieur en mécanique au Politecnico di Torino, en Italie. Actuellement, dans le cadre d'un post-doctorat au Marine

Offshore Renewable Energy Lab, il se penche sur l'énergie des vagues. En 2022, il a été chercheur invité à WaveEC Otang, à Lisbonne. Ses intérêts couvrent la modélisation, la conception et le contrôle des appareils à terre. Au-delà de la recherche, la passion de Bruno réside dans la préparation de dîners délicieux et copieux pour les partager avec ses amis.

MARIA LUISA CELESTI

Maria Luisa Celesti a obtenu sa licence en génie mécanique à l'Università degli Studi di Perugia, en Italie, et un Master dans le même domaine au Politecnico di Torino. Son parcours de recherche a commencé au Center for Ocean Energy Research en Irlande, où elle a développé les recherches de sa thèse de maîtrise, se plongeant dans l'étude des technologies d'énergie renouvelable. Actuellement, elle poursuit un doctorat au Marine Offshore Renewable Energy Lab du Politecnico di Torino, en se concentrant sur la conversion de l'énergie des vagues et du vent et sur son contrôle. Au-delà de ses activités académiques, elle aime essayer de nouveaux sports, voyager et gratter des airs à la guitare.