



GARDER UN ŒIL SUR L'OCÉAN AVEC LES ROBOTS ARGO

Blair J. Greenan^{1*}, Annie P. Wong², Tammy Morris³, Emily A. Smith⁴ and Marine Bollard⁵

¹Bedford Institute of Oceanography, Fisheries and Oceans Canada, Halifax, NS, Canada

²School of Oceanography, University of Washington, Seattle, WA, United States

³South African Weather Service, Cape Town, South Africa

⁴National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Washington, DC, United States

⁵Euro-Argo European Research Infrastructure Consortium (ERIC), Brest, France

Vous êtes-vous déjà demandé comment les scientifiques parviennent à comprendre ce qui se passe en profondeur sous la surface de l'océan ? Ils utilisent divers types de robots capables de plonger et de rapporter des données sous-marines. L'un de ces robots, appelé flotteur Argo, se déplace dans les profondeurs de l'océan en suivant les courants et remonte à la surface tous les dix jours pour transmettre aux scientifiques les informations collectées. Actuellement, environ 4 000 flotteurs Argo surveillent quotidiennement l'océan mondial. Ces robots mesurent la température et la salinité de l'eau, et certains sont même capables de surveiller des paramètres chimiques et biologiques plus complexes. Les flotteurs Argo constituent un outil précieux pour les océanographes, les aidant à comprendre le fonctionnement de l'océan et son impact sur la vie marine ainsi que sur l'ensemble de la planète.

POURQUOI LES SCIENTIFIQUES SURVEILLENT-ILS L'OCÉAN ?

L'océan est essentiel au bien-être humain car il nous fournit de la nourriture, des médicaments, des moyens de transport et des loisirs. Il abrite également de nombreuses espèces marines essentielles à l'équilibre du vivant sur la planète. Par exemple, le **phytoplancton** océanique produit plus de 50% de l'oxygène que nous respirons. Couvrant plus de 70 % de la surface de la Terre, l'océan joue un rôle majeur dans l'environnement de notre planète.

PHYTOPLANCTON

Plantes dérivant avec les courants, algues et certaines bactéries capables de photosynthèse.

CLIMAT

La description à long terme des conditions météorologiques dans une région particulière. Cela est généralement estimé comme une moyenne des données collectées (par exemple, la température) sur au moins deux décennies.

GAZ À EFFET DE SERRE

Des gaz qui retiennent la chaleur dans l'atmosphère, y compris le dioxyde de carbone, le méthane, le protoxyde d'azote et les gaz fluorés.

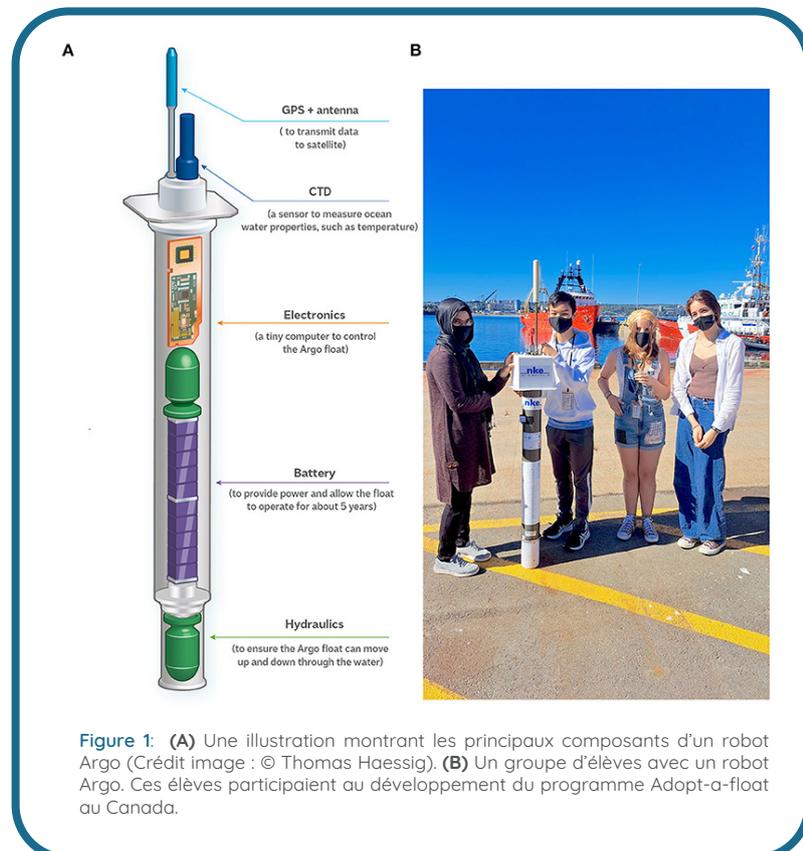
Pour toutes ces raisons, les scientifiques savent depuis longtemps qu'il est crucial d'observer l'océan afin de mieux le comprendre et de prédire les changements à venir.

Les scientifiques qui étudient l'atmosphère s'intéressent également à l'océan, car la météo quotidienne est influencée par l'océan. Par exemple, avez-vous déjà observé de l'eau s'évaporer d'une route chaude ? Un phénomène similaire se produit dans l'océan lorsque des températures élevées à la surface de la mer provoquent l'évaporation, transférant ainsi de l'eau de l'océan vers l'atmosphère. Une fois dans l'atmosphère, cette eau contribue à la formation des nuages, de la neige et de la pluie. Ainsi, une meilleure surveillance des conditions océaniques permet d'améliorer les prévisions météorologiques.

Certains scientifiques sont spécialisés dans l'étude du **climat** de la Terre. Les régions au « climat tropical » reçoivent beaucoup d'énergie solaire chaque année. Cela réchauffe la surface de la mer et produit des nuages et de la pluie, rendant le climat de ces régions généralement chaud et humide. Cependant, le climat peut changer au fil du temps. Par exemple, certaines activités humaines, comme se déplacer en voiture ou chauffer nos maisons, peuvent ajouter des **gaz à effet de serre** dans l'atmosphère. Les gaz à effet de serre agissent comme une couverture, retenant la chaleur et réchauffant la surface de la Terre. Les observations océaniques sont importantes pour comprendre comment les gaz à effet de serre contribuent au changement climatique car l'océan peut absorber le dioxyde de carbone et la chaleur de l'atmosphère, et les déplacer grâce aux courants océaniques.

LES ROBOTS ARGO : AVENTURIERS LIBRES DANS L'OCÉAN !

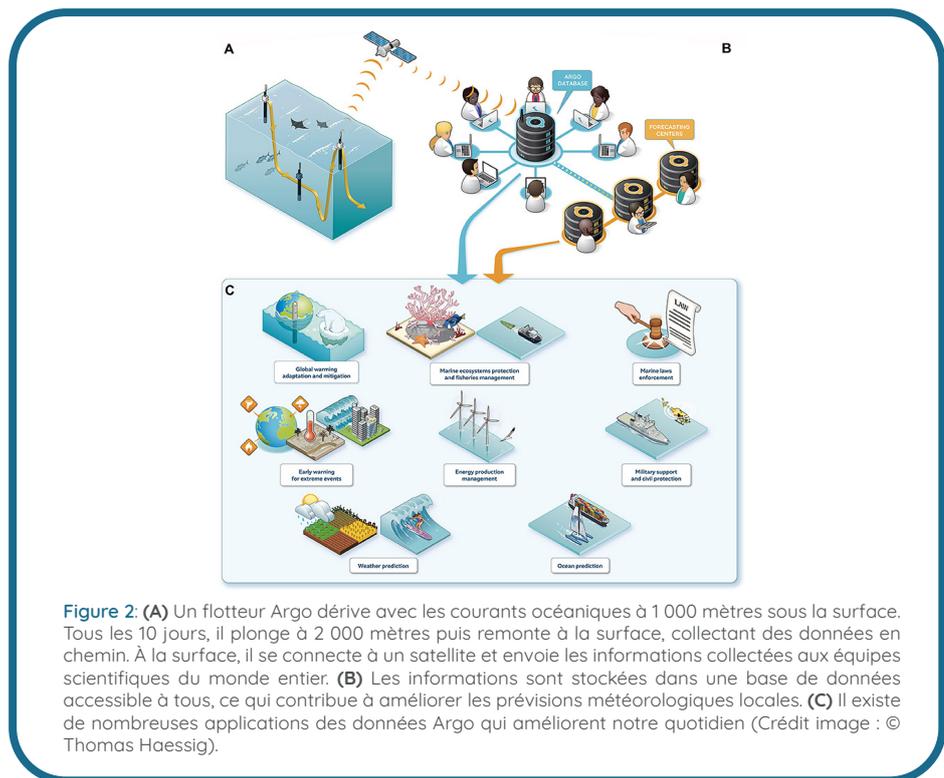
Pour étudier l'océan, les scientifiques doivent recueillir des données de manière continue pendant de nombreuses années. Aller sur des navires de recherche est un des moyens importants pour obtenir ces informations (*voir aussi cet article de Frontiers for Young Minds*). Cependant, il y a des endroits difficiles d'accès pour les bateaux, comme l'Arctique et l'Antarctique. En hiver, l'océan peut être déchaîné et il y est difficile de naviguer. Pour collecter des mesures de l'océan en toutes saisons, les scientifiques ont inventé les robots Argo (*Figure 1*).



CAPTEUR

Un dispositif qui détecte et réagit à une caractéristique de l'environnement physique.

Ces robots Argo sont appelés «flotteurs». Ils sont équipés de **capteurs** pour collecter des données dans l'Océan. Même si nous appelons ces robots des «flotteurs», ils plongent et remontent le long de la colonne d'eau de l'océan. Les scientifiques déploient les robots Argo dans l'océan à partir de navires. Une fois dans l'eau, ils plongent à 1 000 mètres de profondeur et s'y déplacent librement avec les courants océaniques pendant 9 jours. Le dixième jour, ils plongent à 2 000 mètres, puis remontent à la surface en prenant des mesures grâce aux capteurs. Lorsqu'ils atteignent la surface, ils envoient les données collectées ainsi que leur emplacement aux scientifiques grâce à des satellites. Cela permet aux scientifiques de constituer une base d'informations sur la région de l'océan étudiée par les flotteurs. Ensuite, ils replongent à 1 000 mètres et recommencent le même cycle (*Figure 2A*). Les scientifiques utilisent des programmes informatiques pour vérifier la qualité des mesures et transférer les informations dans une base de données (*Figure 2B*). Les mesures des robots sont disponibles gratuitement pour tous dans les 24 heures suivant leur remontée à la surface de l'océan (*Figure 2C*).



SALINITÉ

Une mesure de la concentration de sel dans l'océan.

DENSITÉ

La quantité de matière dans une substance (sa masse) divisée par l'espace occupé par la substance (son volume).

Les robots Argo mesurent en général la pression, la température et la **salinité**. La salinité est une mesure de la concentration de sel dans l'océan. Avec la température, elles déterminent ensemble la **densité** de l'eau de mer. La pression indique aux scientifiques la profondeur à laquelle les mesures de température et de salinité sont prises. Dans l'océan, un mètre (m) de profondeur correspond à environ un décibar (dbar) de pression. Dans l'atmosphère, les hautes et basses pressions créent nos systèmes météorologiques. Dans l'océan, les zones de haute et basse densité créent des courants, qui déplacent de grandes quantités d'eau autour du globe. Comprendre comment l'eau se déplace dans l'océan est important pour la recherche sur le climat, ainsi que pour protéger les plantes et les animaux qui vivent dans l'océan.

Lorsque les scientifiques ont conçu le réseau de robots Argo à la fin des années 1990, ils souhaitaient que les données complètent les mesures du niveau de la mer collectées par un satellite nommé Jason. Dans la mythologie grecque, Jason a navigué sur un navire nommé Argo à la recherche de la Toison d'Or. C'est pour cela que les océanographes ont appelé ces robots des «flotteurs Argo». Les données du niveau de la mer mesurées par les satellites peuvent être combinées avec les données Argo pour informer les scientifiques sur les changements des courants océaniques. Les robots Argo parcourent l'océan depuis plus de 20 ans et ont collecté plus de 2 millions de mesures dans le monde entier¹. Aujourd'hui, il y a près de 4 000 robots Argo qui sillonnent l'océan pour collecter des mesures.

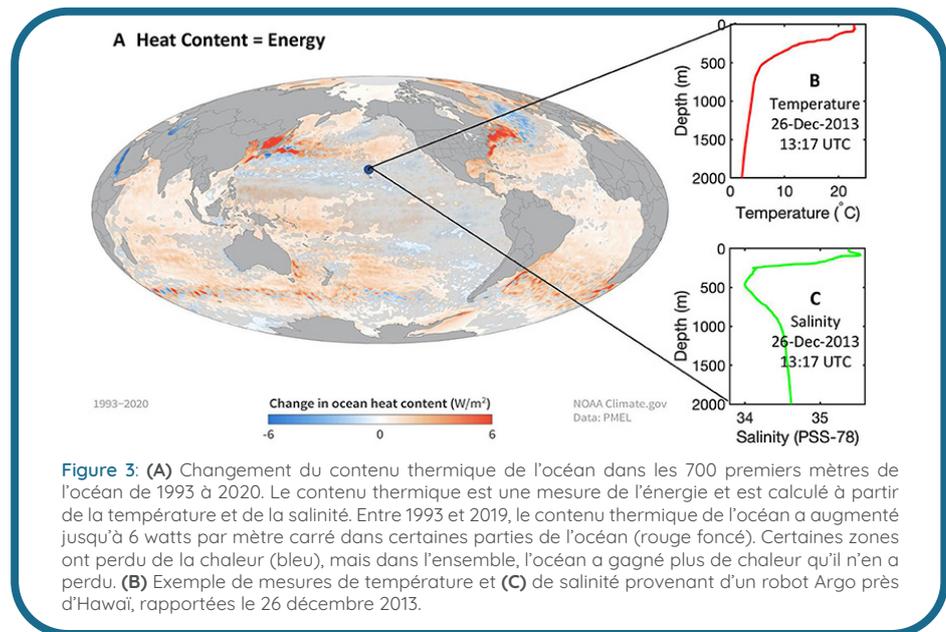
Les robots Argo sont alimentés par des batteries et fonctionnent 24 heures sur 24, 7 jours sur 7, tout au long de l'année. Grâce à ces robots, les scientifiques peuvent maintenant surveiller l'océan comme jamais auparavant. Les batteries des robots Argo durent généralement plus de cinq ans. Lorsque les batteries sont épuisées, ces robots deviennent inactifs et coulent au fond de l'océan. Bien que cela puisse sembler polluer, l'impact environnemental sur l'océan est extrêmement faible par rapport à d'autres polluants, et les données océaniques collectées sont extrêmement précieuses pour comprendre notre planète.

QUE PEUVENT NOUS DIRE LES ROBOTS ARGO SUR L'OCÉAN ?

Depuis 1970, l'océan a absorbé plus de 90 % de la chaleur créée par les gaz à effet de serre issus des activités humaines. La température a augmenté dans de nombreuses zones de l'océan mondial. Les océanographes surveillent ce phénomène en utilisant des mesures de température et de salinité pour calculer la quantité de chaleur capturée par une couche de l'océan, appelée **contenu thermique de l'océan** (Figure 3). En utilisant les données collectées par les robots Argo, les scientifiques ont découvert que des événements extrêmes comme les vagues de chaleur se produisent de plus en plus souvent dans l'océan et dans l'atmosphère. Ces vagues de chaleur marine poussent les animaux marins à migrer vers d'autres zones pour trouver de l'eau plus fraîche. Cependant, les plantes et les animaux qui ne peuvent pas se déplacer souffriront de ces vagues de chaleur marine.

CONTENU THERMIQUE DE L'OCÉAN

La quantité d'énergie sous forme de chaleur stockée dans l'océan.



L'élévation du niveau de la mer est une autre grande conséquence du changement climatique. Au fur et à mesure que l'eau de l'océan se réchauffe, elle se dilate. C'est l'une des principales causes de l'élévation du niveau de la mer. Cela peut avoir des impacts dramatiques dans notre vie quotidienne comme par exemple provoquer des inondations, de l'érosion et rendre l'eau douce non potable en raison du mélange avec l'eau de mer salée (*voir cet article de Frontiers for Young Minds pour plus d'informations sur l'élévation du niveau de la mer*). Les robots Argo sont un outil clé pour surveiller l'élévation du niveau de la mer au niveau mondial car ils surveillent les changements de l'océan.

Le suivi de l'océan a également permis des améliorations dans les prévisions météorologiques. En utilisant les données de température et de salinité envoyées par les robots Argo, les scientifiques ont intégré un **modèle informatique** de l'océan à leurs calculs de prévision météorologique. Avoir des données océaniques dans ces modèles améliore la compréhension des scientifiques sur la manière dont l'atmosphère et l'océan interagissent entre eux. Cela est très important pour prédire des tempêtes intenses comme les ouragans, les cyclones et les typhons qui tirent leur force de la surface chaude de l'océan.

MODÈLE INFORMATIQUE

Un programme qui s'exécute sur un ordinateur pour simuler un système du monde réel tel que l'atmosphère ou l'océan.

ALLEZ PLUS EN PROFONDEUR ET DANS DE NOUVELLES DIRECTIONS

Dans le passé, les robots Argo étaient limités aux premiers 2 000 mètres de l'océan, ce qui représente moins de 50% du volume océanique mondial. Il est très difficile de concevoir des robots capables de descendre au fond de l'océan, mais les scientifiques et les ingénieurs ont récemment réussi à fabriquer certains robots capables de plonger jusqu'à 6 000 mètres². L'échantillonnage de l'océan de la surface jusqu'au fond permettra aux océanographes de mieux comprendre les changements du contenu en chaleur et en eau douce de l'océan, et fournira de meilleures informations sur l'élévation du niveau de la mer mondial.

Nous sommes maintenant à l'aube d'une nouvelle ère, dans laquelle les robots Argo peuvent effectuer des mesures liées à la chimie et à la biologie³ de l'océan. Cela fournira, par exemple, des informations sur les changements de quantités d'oxygène et de dioxyde de carbone dans l'océan. L'océan mondial perd actuellement de l'oxygène et absorbe de plus en plus de dioxyde de carbone de l'atmosphère. Ces changements ont des impacts sur les écosystèmes marins, y compris les pêcheries qui nourrissent beaucoup d'entre nous.

Les flotteurs Argo font partie du Système mondial d'observation de l'océan (GOOS). Avec d'autres partenaires du GOOS, les avancées dans la technologie des robots Argo nous aideront à construire une image globale de la santé de l'océan et de son évolution au fil du temps. Vous aussi, vous pouvez vous joindre à ces observateurs de l'océan. Comment ? En adoptant un flotteur. Vous pouvez choisir un robot Argo, lui donner un nom et suivre son périple autour du monde. Vous pouvez également en apprendre davantage sur Argo à l'école en ligne Argo et auprès des Ocean Observers. Une aventure océanique vous attend !

RÉFÉRENCES

1. Wong, A. P. S., Wijffels, S. E., Riser, S. C., Pouliquen, S., Hosoda, S., Roemmich, D. et al. 2020. Argo data 1999–2019: two million temperature-salinity profiles and subsurface velocity observations from a global array of profiling floats. *Front. Mar. Sci.* 7:700. doi: 10.3389/fmars.2020.00700
2. Roemmich, D., Alford, M. H., Claustre, H., Johnson, K., King, B., Moum, J. et al. 2019. On the future of argo: a global, full-depth, multi-disciplinary array. *Front. Mar. Sci.* 6:439. doi: 10.3389/fmars.2019.00439
3. Bittig, H. C., Maurer, T. L., Plant, J. N., Schmechtig, C., Wong, A. P. S., Claustre, H., et al. 2019. A BGC-argo guide: planning, deployment, data handling and usage. *Front. Mar. Sci.* 6:502. doi: 10.3389/fmars.2019.00502

SOUVIS : 13 mai 2022

ACCEPTÉ : 21 septembre 2023

PUBLIÉ EN LIGNE : 06 octobre 2023

EDITEUR : Pedro Morais, Florida International University, United States

ENCADRANTS SCIENTIFIQUES : Laura Lorenzoni and Sagi Dalyot

CONFLIT D'INTÉRÊTS : Les auteurs déclarent que la recherche a été menée en l'absence de tout lien commercial ou financier pouvant être interprété comme un conflit d'intérêts potentiel.

LES JEUNES RELECTEURS

DENIZ, ÂGE : 12

Salut, je m'appelle Deniz et j'aime regarder les étoiles et jouer aux jeux vidéo avec mes amis. Mon amas d'étoiles préféré est Messier 45 et ma constellation préférée est la ceinture d'Orion. Mon jeu vidéo préféré est Call of Duty 2.

LÉO, ÂGE : 12

Je suis né en Floride et j'aime la plage ; j'apprécie particulièrement la plongée sous-marine avec masque et tuba. J'aime l'histoire et la mythologie, surtout si elles sont liées au monde sous-marin. Je joue du violoncelle et j'ai deux chiens, et j'aime jouer aux jeux vidéo pendant mon temps libre.





OMER, ÂGE : 14

Je m'intéresse à la politique internationale et j'aime lire sur la politique, la philosophie et l'histoire. J'aime jouer aux jeux vidéo sur ma Nintendo Switch et mon PC, et j'adore écouter de la musique et jouer à des jeux de rôle comme D&D et Warhammer 40K.

AUTEURS

BLAIR J. GREENAN



Blair J. Greenan est chercheur à l'Institut océanographique de Bedford, basé à Halifax, Nouvelle-Écosse, Canada. Il supervise la contribution canadienne au programme international Argo. Ses recherches se concentrent sur l'aide aux communautés côtières pour s'adapter au changement climatique. Cela comprend la résolution des problèmes d'infrastructure en fournissant des outils scientifiques basés sur des données avec des informations sur les changements locaux du niveau de la mer résultant du changement climatique.

ANNIE P. WONG



Annie P. Wong est une chercheuse à l'Université de Washington à Seattle, WA, aux États-Unis. Elle est océanographe et a commencé dans les sciences marines en collectant des données océaniques à partir de navires. Elle utilise maintenant les données Argo pour étudier la salinité de l'océan et s'intéresse à l'océan AUstral. Elle fait partie de l'équipe de gestion des données Argo qui aide à distribuer les données Argo au public.

TAMMY MORRIS



Tammy Morris est chercheuse au sein de l'unité marine du Service météorologique sud-africain basé à Cape Town, en Afrique du Sud. Elle est océanographe d'observation et a passé de nombreux mois en mer sur des navires de recherche travaillant avec des instruments d'observation de l'océan tels que les flotteurs Argo, les bouées dérivantes et les mouillages. Ses recherches se sont concentrées autour du système du Grand Courant Agulhas et, plus récemment, sur les interactions avec l'océan Austral.

EMILY A. SMITH



Emily A. Smith est la responsable de plusieurs programmes, notamment le programme Argo des États-Unis, le Système mondial d'observation du niveau de la mer (GLOSS), les planeurs sous-marins dans les courants frontaliers et les produits de contenu thermique de l'océan. Emily est responsable de la gestion des budgets et de la planification stratégique des systèmes d'observation. Elle coordonne également le programme Adopt a Drifter, qui facilite les partenariats avec des écoles aux États-Unis et à l'étranger, afin qu'elles puissent suivre les bouées dérivantes et utiliser les données en temps réel dans leurs salles de classe. Avant de venir à la NOAA, Emily a passé plusieurs années à enseigner aux élèves du collège, et ce programme l'aide à rester en contact avec le monde de l'éducation.

MARINE BOLLARD



Marine Bollard est responsable des activités de sensibilisation du Consortium européen de recherche Euro-Argo (ERIC). ERIC est dédié au développement d'une contribution européenne à long terme au système mondial de surveillance océanique Argo, dans le but de soutenir une meilleure compréhension et prédiction de l'océan, de son rôle dans le système climatique et de la santé de l'océan. Elle détient deux diplômes de master en ingénierie hydrogéologique et en journalisme scientifique. Avant de rejoindre Euro-Argo, Marine a passé plusieurs années à publier des livres et des articles de vulgarisation scientifique à des fins éducatives et pour le grand public.

CITATION : Greenan BJ, Wong AP, Morris T, Smith EA and Bollard M (2023) Keeping an Eye on Earth's Oceans With Argo Robots Front. Young Minds 11:943491. doi: 10.3389/frym.2023.943491

TRADUCTION : Manon Audax & Thomas Boniface

COPYRIGHT © 2023 Greenan, Wong, Morris, Smith et Bollard. Cet article est distribué en libre accès sous les termes de la licence Creative Commons Attribution (CC BY). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que les auteurs originaux et les détenteurs des droits d'auteur soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Aucune utilisation, distribution ou reproduction n'est autorisée sans se conformer à ces termes.