

Croissance propre et effets cumulatifs au Canada et ailleurs

**Steven J. Cooke, Lauren J. Stoot, Benjamin L. Hilna, Joel Zhang, Cole Macleod, Alana C. Tedeschi
et Trina Rytwinski**

Canadian Centre for Evidence-Based Conservation

Rapport préparé pour l'Agence d'évaluation d'impact du Canada

Avril 2024



Agence d'évaluation
d'impact du Canada

Impact Assessment
Agency of Canada

Croissance propre et effets cumulatifs au Canada et ailleurs

Résumé

La croissance propre (également connue sous le nom de capitalisme vert, d'économie verte ou de croissance verte) est une théorie économique selon laquelle l'expansion économique se fait d'une manière durable sur le plan environnemental et écologique. Elle a été préconisée en tant qu'élément important de la transition et de la transformation nécessaires pour que nous luttons contre les changements climatiques. De nombreux pays visent la carboneutralité dans les 30 prochaines années et encouragent donc les projets de croissance propre, notamment les technologies axées sur l'énergie solaire, les petites centrales hydroélectriques, l'énergie éolienne (en milieu terrestre et extracôtier), les minéraux critiques nécessaires au stockage de l'énergie et le transport vert. Bien que nombre de ces projets soient intrinsèquement plus respectueux de l'environnement que les approches traditionnelles à l'égard du développement, les effets cumulatifs des technologies de croissance propre sont inconnus. Les effets cumulatifs, c.-à-d. les répercussions de multiples facteurs de stress mineurs (p. ex., de nombreuses petites éoliennes), peuvent se combiner pour créer des menaces importantes pour l'environnement et sont relativement peu connus dans le domaine des technologies de croissance propre. Le présent examen vise à comprendre les technologies de croissance propre et les effets cumulatifs potentiels associés à ces technologies, ainsi qu'à fournir des exemples de la façon dont ces effets cumulatifs sont quantifiés et atténués au Canada et ailleurs. En général, les effets cumulatifs des technologies de croissance propre sont peu étudiés et l'incidence de l'afflux de ces technologies sur notre environnement et notre société est peu connue. L'énergie éolienne, en particulier en milieu terrestre, fait l'objet de diverses études visant à en comprendre les effets cumulatifs, qui varient dans la littérature grise (p. ex., les rapports gouvernementaux) et la littérature scientifique. En outre, les nouvelles technologies (comme l'énergie hydrocinétique en milieu marin) semblent faire l'objet d'évaluations des effets cumulatifs plus exhaustives que les technologies relativement plus anciennes comme l'énergie solaire. En outre, il est nécessaire de comprendre les répercussions sociétales et culturelles de multiples projets de croissance propre, en plus des répercussions sur l'environnement, en particulier sur les terres et les territoires autochtones traditionnels, avant d'entreprendre des projets.

Nous recommandons d'investir dans le suivi à long terme des activités de croissance propre et de garantir des données de référence adéquates pour mieux comprendre les répercussions potentielles. En outre, nous recommandons que les évaluations d'impact soient à l'épreuve du temps afin de permettre aux gestionnaires de comprendre comment les effets cumulatifs se manifesteront dans un monde en évolution. Pour permettre une compréhension approfondie des répercussions, l'utilisation d'une terminologie cohérente et d'indicateurs et paramètres variés pour la recherche sur les effets cumulatifs et la croissance

propre, ainsi que la prise en compte de l'activité dans un contexte plus large qui n'est pas isolé dans l'espace et dans le temps, permettront d'effectuer des recherches plus rigoureuses. Enfin, il est nécessaire de préparer à l'intention des gestionnaires un manuel de pratiques exemplaires relatif aux effets cumulatifs dans le cadre de la croissance propre, de cerner et de communiquer les exemples de réussite où les effets cumulatifs ont été inclus dans les évaluations d'impact et de financer la recherche pour faire progresser la science et les pratiques en matière d'effets cumulatifs dans le contexte de l'évaluation d'impact pour les projets de croissance propre.

1.0 Introduction

Au cours des derniers siècles, les répercussions des activités humaines sur l'environnement naturel ont augmenté si rapidement que les scientifiques appellent l'époque géologique actuelle (de la fin du XVIII^e siècle à aujourd'hui) l'« Anthropocène » (Crutzen et Stoermer, 2000; Crutzen, 2002). Les répercussions sur l'environnement, comme les changements climatiques, la perte de biodiversité, l'extraction des ressources naturelles et les changements d'utilisation des terres, sont le résultat d'une augmentation rapide de la population et des ressources connexes nécessaires pour soutenir cette population (Crutzen, 2002). De nombreuses activités nécessaires à la croissance économique, comme les activités manufacturières, l'extraction des ressources naturelles et le transport de marchandises, ont une incidence négative sur notre environnement. La croissance propre (également connue sous le nom de capitalisme vert, d'économie verte ou de croissance verte) est une théorie économique selon laquelle l'expansion économique se fait de manière durable sur le plan environnemental et écologique. Depuis la conférence ministérielle sur l'environnement et le développement qui a eu lieu à Séoul, en Corée du Sud, en 2005, les membres de la région de l'Asie et du Pacifique ont adopté l'idée d'une « croissance verte » pour combiner la croissance économique et la durabilité environnementale. Les Nations Unies définissent la croissance propre comme une croissance économique qui est écoénergétique, qui fait appel à des pratiques agricoles durables et qui utilise des technologies d'énergie renouvelable. Le principe de la croissance propre est simple : une application appropriée de l'innovation scientifique et technologique et l'établissement d'incitatifs commerciaux pertinents qui incluent des considérations environnementales peuvent permettre d'atténuer la dégradation de l'environnement, tout en créant de nouvelles possibilités pour l'accumulation de capital et la croissance économique (Dale et coll., 2016; Sapinski, 2015). En outre, la croissance propre devrait avoir des retombées directes sur la santé et le bien-être des personnes et des communautés, en garantissant la résilience de celles-ci face aux répercussions prévues des changements climatiques (Lee, 2021).

Le Cadre pancanadien sur la croissance propre a été publié en 2016 par le gouvernement fédéral du Canada, en partenariat avec plusieurs provinces et territoires, et sert de feuille de route pour parvenir à une croissance propre. Dans ce cadre, les initiatives de croissance propre englobent un large éventail d'activités, notamment l'utilisation accrue des ressources renouvelables, la réduction de la production d'électricité à partir du charbon, la mise à niveau des infrastructures actuelles et la modernisation des systèmes, l'utilisation de carburants plus propres dans les transports ainsi que la promotion de l'utilisation de véhicules écologiques.

1.1 Effets cumulatifs sur l'environnement

Avant la mise en œuvre de projets répondant aux critères précisés par les gouvernements fédéral ou provinciaux, une évaluation de l'impact sur l'environnement (EIE) est réalisée en tant qu'outil de planification et de prise de décisions afin de comprendre les répercussions associées à la mise en œuvre de nouveaux grands projets. Initialement introduite aux États-Unis en 1969, une forme ou une autre d'EIE est aujourd'hui obligatoire dans presque tous les pays du monde (Senate and House of Representatives of the USA, 1969; Morgan, 2012; Pope et coll., 2013). Au Canada, un projet déclenche une évaluation d'impact s'il est inclus dans la Liste des projets en vertu de la *Loi sur l'évaluation d'impact*. Les types de projets compris dans la Liste des projets présentent « le plus grand potentiel d'effets négatifs et complexes dans les domaines de compétence fédérale liés à l'environnement et sont appelés “projets désignés”. » (Agence d'évaluation d'impact du Canada, 2018).

Au cours des deux dernières décennies, une sous-discipline a vu le jour dans le domaine des EIE afin de comprendre les effets cumulatifs associés à ces projets désignés (Seitz et coll., 2011). Les effets cumulatifs sur l'environnement peuvent être définis de différentes façons (Spaling, 1994). Pour l'Agence d'évaluation d'impact du Canada (AEIC), la définition acceptée des effets cumulatifs est la suivante : « les changements à l'environnement causés par une action donnée, associée à d'autres actions humaines passées, présentes et futures » (Agence canadienne d'évaluation environnementale, 2012; Agence canadienne d'évaluation environnementale, 2023). Ce concept reconnaît que de multiples facteurs de stress mineurs (p. ex., de nombreuses petites éoliennes) peuvent se combiner pour créer des menaces importantes pour l'environnement, mais aussi que différentes activités peuvent se combiner de manière complexe pour produire des effets cumulatifs différents des effets cumulatifs propres à chacune des activités (Agence canadienne d'évaluation environnementale, 2012; Master et coll., 2009; Agence canadienne d'évaluation environnementale, 2023). Il reconnaît également que les répercussions complexes des activités humaines (p. ex., les changements climatiques, la foresterie et l'urbanisation) peuvent avoir une incidence sur de multiples caractéristiques des écosystèmes par le biais de processus

interactifs et souvent indirects. Dans le contexte de l'évaluation d'impact, les effets cumulatifs doivent être pris en compte pour veiller à ce que les activités et les projets humains n'aient pas de répercussions néfastes sur l'environnement. Un processus en cinq étapes est actuellement utilisé pour l'évaluation des effets cumulatifs au Canada. Ces étapes sont les suivantes : établissement de la portée, analyse, atténuation, détermination de l'importance et suivi (Agence canadienne d'évaluation environnementale, 2018, 2023).

La prise en compte des effets cumulatifs des projets de croissance propre demeure une activité relativement nouvelle, mais elle est extrêmement importante étant donné le rythme d'intégration de ces projets et le fait que certaines des nouvelles actions et technologies pourraient elles-mêmes avoir un éventail de répercussions imprévues sur l'environnement. Le fait de ne pas prendre en compte ces effets cumulatifs au cours des premières phases de la « révolution » de la croissance propre pourrait nuire à la capacité d'atteindre des cibles et d'obtenir les avantages environnementaux et socio-économiques promis par la croissance propre.

1.2 But du projet

Ce projet visait à comprendre les effets cumulatifs des projets de croissance propre et à en rendre compte. Bien que la « croissance propre » compte plusieurs ramifications, nous nous concentrerons, dans le cadre de cet examen, sur deux groupes de projets de croissance propre. Le premier groupe comprend les technologies d'énergie renouvelable, comme l'hydroélectricité, l'énergie solaire, l'énergie éolienne et les petites centrales nucléaires, que nous classerons comme des initiatives primaires de croissance propre. Le deuxième groupe comprend les initiatives secondaires de croissance propre, soit des activités moins connues comme le transport de l'électricité, le transport vert et les minéraux critiques. Notre but était de comprendre les effets cumulatifs de ces projets de croissance propre au Canada et dans le monde.

2.0 Approche

Nous avons examiné divers documents de la littérature grise et de la littérature scientifique traitant de la croissance propre et des effets cumulatifs, en nous concentrant principalement sur les projets de croissance propre qui comprennent des initiatives primaires, comme les technologies d'énergie renouvelable (p. ex., l'hydroélectricité, l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie hydrocinétique en milieu marin et les petites centrales nucléaires), ou des initiatives secondaires, comme les activités de croissance propre moins connues (p. ex., le transport de l'électricité, le transport vert et les minéraux critiques). Les recherches documentaires primaires ont été effectuées entre le 15 septembre 2023 et le 31 janvier 2024. La littérature scientifique applicable a été trouvée à l'aide de diverses bases de données de revues universitaires (p. ex., Google Scholar, Web of Science, Scopus) et de moteurs de recherche en ligne (p. ex., Google Scholar, Google). Les ressources ont été trouvées à l'aide de termes de recherche pertinents (p. ex., « effets cumulatifs de l'hydroélectricité », « effets cumulatifs de la croissance propre »), ainsi qu'en mettant en évidence des citations trouvées dans des articles.

En raison de la nature de la croissance propre et des projets connexes, les recherches et les renseignements sont principalement disponibles dans la littérature grise, y compris les sites Web et les documents de gouvernements. Les recherches ont été effectuées à l'aide de mots-clés propres à chaque initiative (p. ex., « énergie éolienne en milieu terrestre ») pour obtenir des résultats dans les pages Web de gouvernements.

3.0 Initiatives primaires de croissance propre

3.1 Hydroélectricité

3.1.1 Qu'est-ce que l'hydroélectricité? / Tendances générales en matière de croissance propre dans le domaine de l'hydroélectricité

L'hydroélectricité moderne, qui consiste à produire de l'énergie électrique en exploitant l'énergie provenant du débit d'eau à l'aide de turbines, est une forme d'électricité fiable, durable, concurrentielle sur le plan des coûts et facilement disponible dans la plupart des régions du monde (IEA, 2021).

L'hydroélectricité est connue pour son rendement de conversion élevé (90 % ou plus) et constitue la seule source d'énergie à faible teneur en carbone capable de produire de l'électricité à un coût égal ou inférieur à celui des combustibles fossiles, tout en assurant la stabilité et le stockage à l'échelle du réseau malgré l'intermittence des énergies renouvelables comme l'énergie éolienne et solaire (Ressources naturelles Canada, 2007; Killingtveit, 2019). À l'échelle nationale, le Canada tire 60 % de son électricité de l'hydroélectricité, le Québec étant le plus grand producteur au pays, tandis que la Colombie-Britannique, le Manitoba, Terre-Neuve-et-Labrador et l'Ontario sont également des producteurs importants (Régie de l'énergie du Canada, 2016).

Pourtant, les grandes centrales hydroélectriques (GCH) [>50 MW au Canada] avec des barrages, des réservoirs et des turbines de grande taille ont d'importants effets négatifs, comme des changements dans le régime hydrique, les charges de limon ainsi que la température et la chimie de l'eau (Ressources naturelles Canada, 2007; Breeze, 2018). Ce sont plutôt les petites centrales hydroélectriques (PCH), c.-à-d. les petites centrales (de 1 à 50 MW), les minicentrales (de 100 kW à 1 MW) et les microcentrales (moins de 100 kW), qui font maintenant l'objet de mesures incitatives dans la plupart des régions du Canada, à l'exception du Québec et du Labrador, où se poursuivent la planification et la construction de GCH (Ressources naturelles Canada, 2007). Les PCH ont souvent recours à des technologies au fil de l'eau, qui exploitent le débit naturel pour alimenter une turbine et qui ne nécessitent pas de retenue d'eau ni d'inondation de la zone environnante. Cependant, les PCH dont la production est plus près de la limite supérieure de 50 MW peuvent encore compter de petits barrages et réservoirs. La production d'hydroélectricité au fil de l'eau demeure semblable à la production aux PCH et aux GCH avec barrage et réservoir en ce sens qu'elle nécessite une charge hydraulique (c.-à-d. que l'eau doit passer d'une altitude élevée à une altitude basse) pour convertir l'eau en énergie potentielle. Le site de production doit donc avoir des caractéristiques particulières ou faire l'objet de modifications. Dans les sites convenables, une PCH peut être construite relativement rapidement avec une incidence moindre sur les régimes hydriques,

la connectivité biologique ou le milieu environnant (Ressources naturelles Canada, 2007). Toutefois, les effets cumulatifs de plusieurs de ces petits projets sont susceptibles de causer des dommages à des échelles spatiales, temporelles et écologiques (Bonnell et Storey, 2000; Bracken et Lucas, 2013; Johnson et coll., 2016; Kelly-Richards et coll., 2017). Les PCH constituent « la voie de l'avenir » aux yeux des organismes de réglementation au Canada et dans la plupart des pays développés. Il est donc important que le processus d'approbation de ces projets soit rigoureux, afin que les nouveaux projets puissent être évalués efficacement et entrepris de façon responsable.

3.1.2 Effets cumulatifs potentiels liés aux petites centrales hydroélectriques

Cada et Hunsaker (1990) ont proposé quatre voies générales pour les effets cumulatifs dans le domaine de l'hydroélectricité (figure 1) : les effets additifs à source unique, les effets interactifs à source unique, les effets additifs à sources multiples et les effets interactifs à sources multiples. Le terme « à sources multiples » peut faire référence à plusieurs projets semblables, comme de nombreuses PCH dans le même bassin versant, ou à différents types de projets, comme une PCH et l'infrastructure de transport d'électricité connexe. Les « effets additifs » consistent en l'incidence totale égale à la somme des effets, et les « effets interactifs » consistent en une incidence supérieure à la somme des effets (Cada et Hunsaker, 1990). Étant donné l'empreinte individuelle relativement petite des PCH, leurs effets cumulatifs sont plus susceptibles de découler des voies n° 3 et 4 (Bonnell et Storey, 2000).

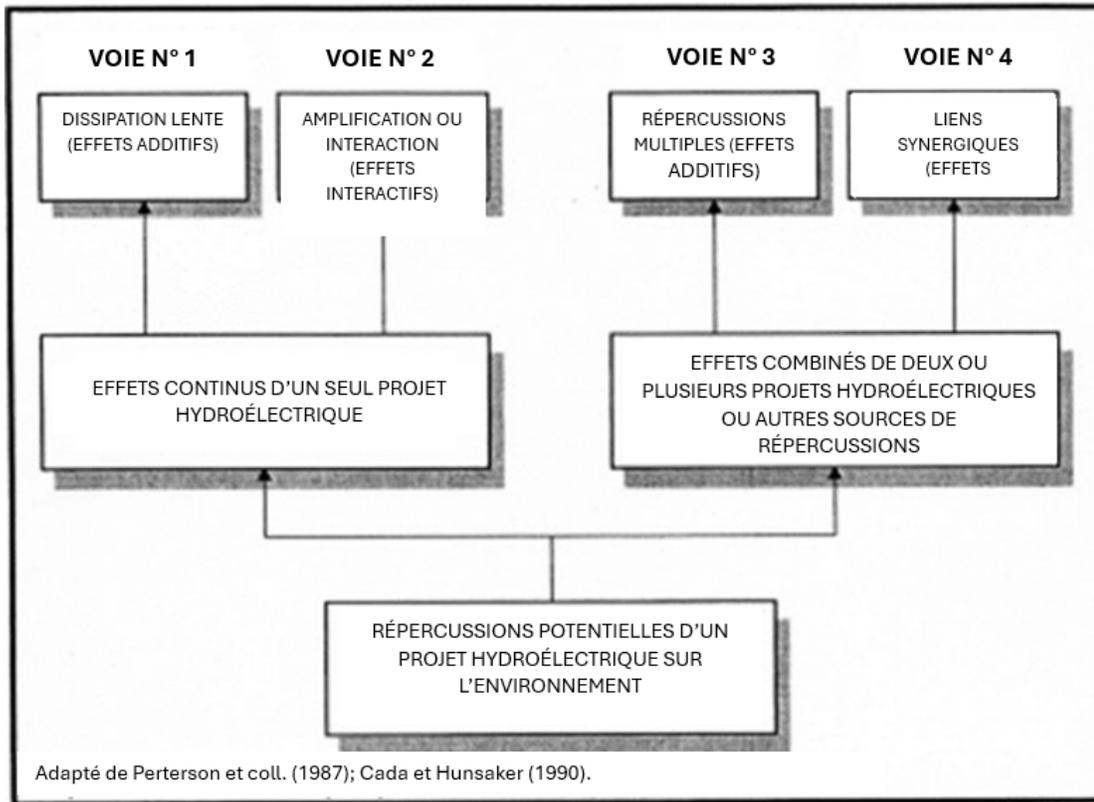


Figure 1. Quatre voies potentielles pour les effets cumulatifs des projets hydroélectriques (Cada et Hunsaker, 1990).

Peu d'études ont porté explicitement sur les types d'effets cumulatifs associés aux PCH au fil de l'eau. Bien que cette section du rapport tente de se concentrer sur cette question, des inférences doivent également être établies à partir d'études pertinentes, comme celles relatives aux répercussions générales des PCH au fil de l'eau ou aux effets cumulatifs des PCH ou des GCH avec barrage et réservoir. Cette expérience concorde avec les préoccupations communes concernant à la fois le domaine des effets cumulatifs et la catégorie des « PCH » : une terminologie incohérente et peu claire ainsi qu'un manque de données contextualisées entravent souvent les études et les pratiques (Ross, 1998; Jones, 2016; Kelly-Richards et coll., 2017; Couto et Olden, 2018).

D'une manière générale, les effets cumulatifs néfastes de l'infrastructure des PCH au fil de l'eau peuvent concerner l'hydrologie, la topographie et la bathymétrie, la chimie de l'eau et du sol, la biodiversité et l'abondance, et l'utilisation des terres par les humains (consultez le tableau 1 de la section Documents complémentaires; Bracken et Lucas, 2013; Anderson et coll., 2015; Bilotta et coll., 2016; Kelly-Richards et coll., 2017; Thorstad et coll., 2017; Gibeau et coll., 2017; Kuriqi et coll., 2021). La

construction et l'exploitation d'une PCH peuvent modifier le débit et les paysages terrestres et sonores appropriés, et ainsi entraîner d'innombrables répercussions, notamment une augmentation de la turbidité et de la sédimentation, de la pollution sonore, des inondations, une diminution de la qualité de l'eau; une perte d'habitat, des changements dans la structure des communautés, et le déclin ou la disparition d'espèces (Anderson et coll., 2015; Zhang et coll., 2015; Kelly-Richards et coll., 2017; Kuriqi et coll., 2021). Les PCH peuvent forcer des humains à se déplacer ou entraîner une perte de sécurité sur le plan des ressources alimentaires et de l'eau, et des dommages aux ressources récréatives, esthétiques et culturelles (Pinho et coll., 2007; Abbasi et Abbasi, 2011; Başkaya et coll., 2011; Hennig et coll., 2013). Dans l'ensemble, les effets cumulatifs de l'hydroélectricité pourraient avoir une incidence plus fréquente sur les espèces des niveaux trophiques supérieurs. Les espèces de niveau trophique moyen et faible pourraient être plus gravement touchées par les répercussions initiales de la construction, mais pourraient présenter une plus grande résilience à long terme (Chen et coll., 2015).

Comme pour tous les projets hydroélectriques, les turbines associées aux PCH au fil de l'eau présentent un risque d'entraînement, de blessure et de mortalité pour les animaux (Bracken et Lucas, 2013; Thorstad et coll., 2017). De plus, les eaux retenues d'une voie d'eau, qui sont nécessaires à la création d'une charge hydraulique pour une installation au fil de l'eau, peuvent constituer un obstacle aux déplacements d'animaux, ce qui peut entraîner des cas de mortalité ou d'autres répercussions comme la fragmentation génétique ou des retards généralisés dans les migrations saisonnières (Lucas et coll., 2009; Gauld et coll., 2013; Anderson et coll., 2015; Lange et coll., 2018). Bracken et Lucas (2013) ont observé un taux de blessure de 1,5 % chez les lamproies passant dans une turbine au fil de l'eau qualifiée comme étant « sans danger pour les poissons ». Thorstad et coll. (2017) ont observé un taux de mortalité combinée (turbine et eaux de retenue) plus important chez les smolts, de 5 à 8 %, dans une centrale au fil de l'eau. Chaque répercussion en soi peut être négligeable, mais les répercussions s'additionneraient rapidement en présence de plusieurs installations dans un même bassin versant.

Les répercussions décrites sont certainement plus graves dans le cas des GCH que dans le cas des PCH, mais rien ne vient étayer l'idée répandue selon laquelle les PCH, comme elles sont définies actuellement, ont une incidence moindre que les GCH au sens cumulatif ou par MW (Gleick, 1992; Kibler et Tullos, 2013; Premalatha et coll., 2014; Kelly-Richards et coll., 2017; Couto et Olden, 2018). En fait, les PCH peuvent être beaucoup plus néfastes pour l'environnement et nécessiter plus de travaux de génie civil par MW que les GCH (Bakken et coll., 2014; Zhang et coll., 2015). Des technologies particulières relevant de la catégorie des PCH pourraient être avantageuses par rapport à d'autres types, mais la terminologie courante ne rend pas compte de cette nuance de manière adéquate. C'est pourquoi les organismes de réglementation devraient mettre l'accent sur les technologies plutôt que sur la capacité

(Kelly-Richards et coll., 2017; Couto et Olden, 2018). La faveur réglementaire induite accordée aux PCH signifie que de la Colombie-Britannique à l'Inde, au Chili et à la Turquie, les projets prolifèrent avec peu de supervision (Jaccard et coll., 2011; Başkaya et coll., 2011; Islar, 2012; Kumar et Katoch, 2014; Susskind et coll., 2014; Shaw et coll., 2015; Konak et Sungu-Eryilmaz, 2016; Kelly-Richards et coll., 2017; Couto et Olden, 2018).

Bien que les répercussions néfastes générales des PCH au fil de l'eau aient été étudiées et qu'il existe dans la littérature certaines études sur les effets cumulatifs d'autres types d'hydroélectricité, les répercussions des PCH au fil de l'eau dans une perspective explicitement cumulative ne sont pas bien articulées (Premalatha et coll., 2014; Couto et Olden, 2018; Lange et coll., 2018). Toutefois, il est clair que la détérioration de l'environnement augmente avec l'ajout de PCH dans un bassin versant et que l'incidence totale est probablement plus importante que la somme des répercussions (Kelly-Richards et coll., 2017). Cela dit, notre dépendance à la généralisation à partir des effets au niveau des projets signifie que presque toutes les répercussions prévues sont dérivées de la voie n° 3 (effets additifs), et notre connaissance des effets pouvant résulter de la voie n° 4 (effets synergiques) est très mauvaise (Cada et Hunsaker, 1990; Johnson et coll., 2016; Kelly-Richards et coll., 2017).

3.1.3 Effets cumulatifs liés aux petites centrales hydroélectriques au Canada et ailleurs

Au Canada, l'évaluation des effets cumulatifs, y compris pour l'hydroélectricité, tend à être menée de deux façons :

(1) Évaluation régionale

Analyses rétrospectives ou prospectives concernant les effets cumulatifs d'un ensemble de projets sur une série de composantes valorisées de l'écosystème (Agence d'évaluation d'impact du Canada, 2021). Idéalement, dans le contexte de l'hydroélectricité et des activités connexes, une évaluation régionale est menée au minimum à l'échelle d'un bassin versant (Kristensen et coll., 2013).

Dans une perspective de douze études d'évaluation des effets cumulatifs sur huit ans à Hydro-Québec, Bérubé (2007) a fourni un résumé des méthodes et des défis. Bien que le terme n'ait pas été utilisé, ces études étaient conformes au concept d'évaluation régionale. Elles ont décrit un processus en sept étapes commun à toutes les formes d'évaluation d'impact : 1) établissement de la portée; 2) détermination des activités pertinentes (passées, présentes, futures); 3) description des répercussions; 4) description d'une base de référence; 5) description des tendances historiques; 6) détermination de l'importance; 7) atténuation. Elles ont mis en évidence les difficultés à trouver des données de référence suffisamment détaillées pour permettre des comparaisons pertinentes, l'absence d'un seuil cohérent pour

les répercussions importantes, les questions relatives à la façon d'atténuer les effets cumulatifs qui ont été cernés, les difficultés à quantifier les effets cumulatifs lorsque les répercussions à l'échelle d'un projet sont minimales, et la difficulté de prendre en compte les projets futurs dans les projections des effets cumulatifs.

La société Manitoba Hydro (2015) a également entrepris une évaluation régionale portant sur ses activités dans le sous-bassin versant du fleuve Nelson sous la forme d'une rétrospective sur 50 ans. Elle a compilé des rapports historiques sur l'environnement, des rapports d'évaluation environnementale contemporains et des rapports de suivi après projet. La société a analysé les données existantes qui ont été recueillies, mais n'avaient pas encore été analysées, et a entrepris de nouvelles analyses des conclusions existantes. Cette approche a été entravée par l'insuffisance des données de référence et des données historiques (et par la combinaison des deux), par l'incohérence méthodologique dans le temps qui a compliqué les comparaisons avant et après les projets, et par la nature conflictuelle des premières évaluations environnementales qui a mené à des conclusions divergentes quant à l'ampleur et à la portée des répercussions. Ce rapport n'a pas pris en compte la façon dont les répercussions des projets hydroélectriques se sont combinées aux répercussions des autres activités menées dans la région, comme l'exploitation minière et la foresterie, et il était entièrement de nature rétrospective, de sorte qu'il offrait peu de renseignements sur les répercussions intersectorielles ou synergiques, ni de valeur pour orienter les projets futurs dans la région (Scrafield et coll., 2018).

(2) Évaluation environnementale stratégique (EES)

Évaluation préventive de la façon dont les politiques, les plans et les programmes (PPP) peuvent avoir une incidence sur les processus d'évaluation d'impact ou les voies de développement; dans le cas présent, les PPP pour de futures PCH dans une région ou un bassin versant (Agence d'évaluation d'impact du Canada, 2022). L'EES repose sur l'idée que la mise en œuvre de PPP sans prévision d'ensemble prédétermine les projets qui seront réalisés, faisant ainsi de l'évaluation au niveau des projets un obstacle réglementaire (Halseth et coll., 2016).

Bonnell et Storey (2000) ont utilisé le cadre de l'EES pour expliquer comment la décision d'encourager les PCH à Terre-Neuve dans les années 1990 aurait pu être évaluée à chaque étape des PPP. Au niveau des politiques, en choisissant d'encourager les projets de PCH du secteur privé, le gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador a en fait prédéterminé la construction de PCH sans se demander si ces dernières constituaient la meilleure option pour répondre aux besoins énergétiques de Terre-Neuve-et-Labrador, en particulier à la lumière des répercussions existantes des centrales hydroélectriques passées et présentes. L'EES au niveau des politiques aurait permis d'évaluer les

répercussions projetées des PCH par rapport à d'autres solutions de rechange avant la prise de mesures incitatives. Au niveau des plans, Newfoundland Hydro a décidé d'acheter jusqu'à 50 MW d'électricité, sans se préoccuper du nombre d'installations ou de l'emplacement de celles-ci. L'EES de ce plan aurait pu estimer le nombre de PCH nécessaires pour atteindre ce maximum, ce qui aurait facilité l'estimation des effets cumulatifs. Elle aurait également permis d'assurer que ces projets évitent tout chevauchement spatial avec des projets passés, présents et potentiels, afin de réduire au minimum les effets synergiques ou cumulatifs. Au niveau des programmes, Newfoundland Hydro a approuvé quatre nouveaux projets. L'EES à ce niveau ressemblerait beaucoup à une évaluation environnementale au niveau d'un projet menée par un promoteur, sauf que Newfoundland Hydro l'entreprendrait avec une vision descendante de toutes les activités approuvées en combinaison avec les activités dans d'autres industries. Cela permettrait une meilleure estimation de la somme de toutes les répercussions de ces nouveaux projets et une analyse plus efficace des répercussions intersectorielles potentielles (Bonnell et Storey, 2000).

La réalisation d'une EES comporte des défis et des phénomènes complexes. De multiples politiques peuvent agir de manière imprévue, ce qui exige que l'EES au niveau des politiques prenne en compte les politiques passées, concurrentes et potentielles de la même manière que l'EES au niveau des projets (Bonnell et Storey, 2000; Kelly-Richards et coll., 2017). Si le gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador envisageait des solutions de rechange aux PCH, les divers risques associés aux différentes méthodes de production d'électricité rendraient les comparaisons difficiles (Bonnell et Storey, 2000), bien que des cadres de comparaison aient été élaborés depuis pour certaines technologies (p. ex., les PCH et l'énergie éolienne; Bakken et coll., 2014). La fragmentation administrative entre Newfoundland Hydro et le gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador continuerait à entraver la planification de PCH à l'échelle de bassins versants ou de régions. Pour que les effets cumulatifs des PCH soient correctement pris en compte, il est essentiel que tous les organismes de réglementation, les promoteurs et les parties prenantes collaborent étroitement dès les premières étapes de l'EES (Bonnell et Storey, 2000).

Les experts ont affirmé que le modèle actuel de gestion des effets cumulatifs est fondamentalement inadéquat et ont commencé à demander des changements généraux et révolutionnaires (plutôt que progressifs ou évolutifs) dans ce domaine (Halseth et coll., 2016; Johnson et coll., 2016; Jones, 2016). Ces changements devraient permettre au domaine de dépasser les seuils fondés sur les projets et le légalisme à petite échelle pour s'orienter vers un cadre de développement planifié dans l'espace et tenant compte des effets cumulatifs (p. ex., Jager et coll., 2015; Winemiller et coll., 2016; Erikstad et coll., 2020) qui est pleinement intégré aux décisions et aux mesures incitatives sur le plan économique et réglementaire (Halseth et coll., 2016; Johnson et coll., 2016; Kelly-Richards et coll., 2017; Lange et coll., 2018). La figure 1 illustre le travail nécessaire pour orienter ces cadres d'un point de vue

écologique, bien que la façon dont les renseignements résultants devraient être intégrés dans la prise de décisions à un haut niveau dépasse la portée de ce rapport. En prenant en compte les processus écologiques et environnementaux dans les outils de planification spatiale, et en reconnaissant la pression que les processus économiques et réglementaires exercent sur les projets, nous pouvons nous concentrer plus efficacement sur la santé globale de l'environnement, des communautés et des personnes (Halseth et coll., 2016; Johnson et coll., 2016; Jones, 2016). Sans de tels changements, le rythme actuel de construction de PCH pourrait mener à une prolifération rapide des répercussions négatives dans le monde entier (Kelly-Richards et coll., 2017).

Transformation de l'évaluation des effets cumulatifs : Déterminer les répercussions des PCH sur la dynamique de la biodiversité à l'échelle d'un bassin

Selon Lange et coll. (2018), les processus actuels d'approbation et d'aménagement des PCH ne prennent pas adéquatement en compte les effets cumulatifs, en particulier ceux découlant de projets multiples, et il convient de se concentrer davantage sur la façon dont les répercussions peuvent se combiner à d'autres facteurs de stress anthropiques pour avoir une incidence sur la biodiversité. En faisant la synthèse de la littérature primaire, Lange et coll. (2018) ont déterminé que les indicateurs suivants pouvaient orienter les analyses spatiales pour les évaluations des PCH et transformer l'évaluation des effets cumulatifs : (1) détermination des milieux uniques avec des populations adaptées aux conditions locales; (2) détermination de la qualité, de la taille, de la diversité et de la connectivité des milieux nécessaires pour les espèces prioritaires; (3) détermination des milieux qui ont une importance disproportionnée pour un grand nombre d'espèces. Les cadres et les modèles de planification spatiale (p. ex., Jager et coll., 2015; Winemiller et coll., 2016; Erikstad et coll., 2020; McManamay et coll., 2014) peuvent prédire les répercussions des activités humaines et des autres facteurs de stress sur les indicateurs susmentionnés, ce qui permet de prendre en compte les effets synergiques. Ils peuvent également intégrer des données historiques et faire des projections pour envisager d'autres sites d'aménagement afin de maximiser la production d'électricité et de réduire au minimum les répercussions négatives. Ces modèles et cadres « vivants » sont très adaptables et offrent un avantage évident par rapport à la nature relativement rigide et cloisonnée des pratiques d'évaluation traditionnelles.

3.2 Énergie éolienne (en milieu terrestre et extracôtière)

3.2.1 *Qu'est-ce que l'énergie éolienne? / Tendances générales en matière de croissance propre dans le domaine de l'énergie éolienne*

À l'échelle mondiale, la majeure partie de la production d'énergie éolienne consiste en l'utilisation d'éoliennes pour convertir en électricité l'énergie cinétique créée par les courants de convection (Gouvernement du Canada, s.d.). L'énergie éolienne est mesurée à l'aide de la capacité de production d'énergie éolienne, c.-à-d. la puissance électrique maximale qui peut être produite, tandis que la production d'énergie constitue la quantité d'électricité pouvant être produite au fil du temps (Gouvernement du Canada, s.d.). Les éoliennes à axe horizontal sont les éoliennes les plus couramment utilisées et se caractérisent par un axe de rotation parallèle au sol. Bien qu'il s'agisse d'une méthode courante, ces éoliennes n'ont une efficacité que d'environ 59 %, même à leur capacité maximale (Kalmikov, 2017). Historiquement, les projets d'énergie éolienne en milieu terrestre ont largement dominé le paysage des projets d'énergie éolienne et continuent de le faire avec une capacité éolienne dépassant les 900 GW en 2022; une augmentation de la capacité mondiale d'environ 9 % (Global Wind Energy Council, 2023). En outre, l'énergie éolienne a compté pour 7,6 % (2 160 TWh) de l'électricité produite à l'échelle mondiale en 2022, soit une augmentation de 17 % (312 TWh) par rapport à l'année précédente (Wiatro-Motykaetal, 2023). Les parcs éoliens en milieu extracôtier sont un autre type de projets d'énergie éolienne qui a gagné en popularité au cours des dernières décennies. En 2022, 8,8 GW d'énergie éolienne extracôtière ont été ajoutés au réseau électrique mondial, portant le total à 64,3 GW (Global Wind Energy Council, 2023). Bien que les parcs éoliens en milieu extracôtier ne produisent qu'une fraction de ce que produisent les projets d'énergie éolienne en milieu terrestre, cet ajout représente la deuxième augmentation en importance de la capacité énergétique extracôtière jamais enregistrée (l'autre étant celle en 2021; Global Wind Energy Council, 2023). Malgré la popularité croissante de la construction d'éoliennes en milieu extracôtier, plusieurs problèmes importants subsistent, notamment le coût de l'installation et de l'exploitation de toutes les structures nécessaires sur le fond marin et loin des côtes, y compris l'installation de câbles sous-marins et le transport des matériaux jusqu'aux sites en milieu extracôtier (Zhixin et coll., 2009; Hendersen et coll., 2003). En dépit de ces augmentations substantielles de l'utilisation de l'énergie éolienne à l'échelle mondiale, il est bien établi que l'énergie éolienne doit représenter un pourcentage plus important de l'énergie produite à l'échelle mondiale. Wiatro-Motykaetal (2023) note que l'énergie éolienne doit constituer 21 % de l'énergie produite à l'échelle mondiale d'ici 2030 et que la combinaison de l'énergie éolienne et de l'énergie solaire doit permettre de produire 41 % de l'électricité mondiale pour atteindre la carboneutralité d'ici 2040. Au Canada, l'énergie éolienne est la source d'énergie renouvelable qui connaît la croissance la plus rapide

après l'hydroélectricité (L'avenir énergétique du Canada, 2019). Le Canada se classe au huitième rang mondial pour la capacité éolienne installée (Association canadienne de l'énergie renouvelable, 2023) et au neuvième rang mondial pour la quantité d'énergie éolienne produite (Wiatros-Motyka et al., 2023). Selon l'Association canadienne de l'énergie renouvelable, le Canada dispose actuellement d'une capacité éolienne installée d'environ 15 GW et 318 projets d'énergie éolienne sont en cours au pays (Association canadienne de l'énergie renouvelable, janvier 2023). Les données les plus récentes, datant de 2020, indiquent que la production totale d'électricité au Canada a augmenté pour atteindre 36 TWh à la fin de 2020, ce qui représente 5,6 % de la production totale d'énergie au pays (International Energy Agency, 2022).

3.2.2 Effets cumulatifs potentiels de l'énergie éolienne

Évaluation des répercussions des projets d'énergie éolienne en milieu terrestre sur l'environnement

Les praticiens ont continué à éprouver des difficultés à mettre en œuvre des processus normalisés d'évaluation des effets cumulatifs de l'énergie éolienne sur l'environnement (Gill et Hein, 2022), le résultat étant que les évaluations des effets cumulatifs sont essentiellement absentes des évaluations environnementales partout dans le monde (Sinclair et coll., 2017). Les répercussions individuelles de l'énergie éolienne sont rarement étudiées à l'extérieur du contexte des collisions d'oiseaux avec des composants des éoliennes, et les effets cumulatifs ne sont donc pas ou mal évalués. Nous pouvons donc commencer par évaluer chaque répercussion de l'énergie éolienne afin de comprendre comment elle s'inscrit dans le cadre plus large des effets cumulatifs. Les répercussions des projets d'énergie éolienne sur les espèces sauvages peuvent être classées dans trois catégories : i) les déplacements attribuables à des perturbations, ii) la mortalité directe due aux collisions avec des composants des éoliennes, ou iii) la perte d'habitat (Tosh, Montgomery et Reid, 2014). Lors de l'examen des répercussions sur les espèces sauvages et l'environnement, il est important de déterminer les sources ou les voies d'effet des dangers, de déterminer quelles espèces sont touchées, quelles espèces sont vulnérables et quels sont les seuils pour les espèces, ainsi que de comprendre les limites temporelles et spatiales pour l'exposition ou les déplacements des animaux (Goodale et Milman, 2016), autant d'éléments complexes et difficiles à évaluer.

Oiseaux, chauves-souris et autres animaux terrestres

Comme le soulignent Tosh, Montgomery et Reid (2014), les EIE visant les projets d'énergie éolienne sont encore largement axées sur les oiseaux. Les parcs éoliens opérationnels peuvent avoir une incidence sur les populations d'oiseaux d'une multitude d'espèces (p. ex., Scottish Natural Heritage,

2018). Bien qu'il n'existe pas de définition ou de méthode claire pour évaluer les répercussions de l'énergie éolienne sur les oiseaux, les évaluations les plus courantes se concentrent sur les répercussions directes liées aux collisions avec des composants des éoliennes (p. ex., Drewitt et Langston, 2008), aux traumatismes causés par les turbulences des éoliennes (Winkelman, 1992), aux perturbations causées par la perte d'habitat (Larsen et Masden, 2000; Masden et Boertmann, 2008; Pearce-Higgins et coll., 2008; Laranjeiro et coll., 2018; Marques et coll., 2014) ou à la création d'une barrière qui prolonge la dépense énergétique de l'espèce par l'évitement des éoliennes (Winkelman, 1985; Still et coll., 1997; de Lucas et coll., 2004; Masden et coll., 2009; Hötcker et coll., 2006; Sugimoto et Matsuda, 2011; Plonczhier et Simms, 2012). Bien qu'il existe de nombreuses études qui font état des répercussions des projets d'énergie éolienne sur les oiseaux, il n'y en pas beaucoup qui portent sur les effets cumulatifs de plusieurs projets d'énergie éolienne ou de projets d'énergie éolienne associés à d'autres modifications. Au Canada, l'évaluation des effets cumulatifs chez les oiseaux prend en compte à la fois les collisions directes et la perturbation des espèces (Environnement Canada, 2007). Les collisions d'oiseaux peuvent être mesurées par des relevés sur le terrain des carcasses d'oiseaux (p. ex., Environnement Canada, 2007) ou prédites à l'aide de diverses techniques de modélisation, dont la plus populaire est le modèle de Band (Band et coll., 2007). L'évaluation des risques de collision ou des déplacements d'oiseaux est particulièrement difficile, car un certain nombre de facteurs et de résultats liés à l'écologie et aux comportements de chaque espèce d'oiseaux doivent être prédits à l'aide de modèles (Scottish Natural Heritage, 2018; Smallwood et coll., 2009; Carette et coll., 2012; de Lucas et coll., 2012; Herrera-Alsina et coll., 2013), qui pourraient probablement sous-estimer ou surestimer les risques de collision, tout en ne reflétant pas les véritables caractéristiques biologiques des oiseaux (Scottish Natural Heritage, 2018).

De même, Tosh et coll. (2014) rapportent que depuis 2002, plus de 70 publications évaluées par des pairs ont porté sur les répercussions des projets d'énergie éolienne sur les chauves-souris, la majorité de ces publications (58 %) provenant des États-Unis et du Canada. Entre 2010 et 2011, on estime que jusqu'à 1,3 million de chauves-souris ont été tuées par des éoliennes en Amérique du Nord (Arnett et coll., 2013). On sait que des chauves-souris sont tuées lors de collisions avec des éoliennes ou par des barotraumatismes associés aux éoliennes (Baerwald et coll., 2009), tous des incidents dont la probabilité est accrue par une variété de signaux visuels, thermiques ou acoustiques, ainsi que par les habitudes alimentaires des chauves-souris et l'emplacement de leurs colonies (Dürr et Bach, 2004; Szewczak et Arnett, 2006; Kunz et coll., 2007; Cryan, 2008; Cryan et Barclay, 2009). Il existe actuellement peu d'exemples d'évaluations des effets cumulatifs sur les chauves-souris, et ce pour diverses raisons. Par exemple, les études sur les chauves-souris ne comprennent généralement pas d'enquêtes de mortalité à plusieurs parcs éoliens simultanément pour étudier les tendances temporelles ou spatiales (Arnett et coll., 2008), manquent de données sur les populations de chauves-souris (O'Shea et coll., 2003) à de vastes

échelles spatiales (Jansen, 2023) et manquent de méthodes normalisées pour mesurer les mortalités de chauves-souris (E. Baerwald et R. M. R. Barclay, Université de Calgary, données inédites). Au Canada, si la mortalité des chauves-souris dépasse dix chauves-souris par année, la vitesse de démarrage des turbines sera modifiée ou les pales seront mises en drapeau pour empêcher qu'elles ne tournent librement à plus de 5,5 m/s (Tosh, Montgomery et Reid, 2014), bien que l'on ne sache pas si ces mesures ont une incidence sur la mortalité des chauves-souris.

Outre les oiseaux et les chauves-souris, il existe peu de données dans la littérature suggérant que les éoliennes ont une incidence sur d'autres éléments de la biodiversité terrestre. Une étude norvégienne récente a exploré les répercussions des éoliennes sur le comportement d'évitement de l'habitat et les déplacements des rennes (Eftestøl et coll., 2023), et elle a permis de relever une variabilité des déplacements en fonction de la période de l'année. En général, les répercussions des éoliennes pourraient être plus importantes chez les espèces qui ont une grande spécificité à l'égard de leur habitat (Swihart et coll., 2003; Munday, 2004; de Baan et coll., 2013). En outre, les effets de barrière, le bruit, les vibrations, les effets stroboscopiques et la génération de champs électromagnétiques pourraient tous avoir une incidence sur les espèces terrestres (Bennun et coll., 2021), bien que leurs répercussions réelles aient rarement été étudiées.

Bruit, répercussions visuelles et répercussions sur le paysage

L'incidence du bruit créé par les projets d'énergie éolienne en milieu terrestre et leurs répercussions de ces projets sur les humains font l'objet d'un débat dans la littérature. Certains chercheurs concluent que le bruit lié au fonctionnement des éoliennes peut provoquer des irritations (Bolin et coll., 2011) ou même causer des problèmes de santé (Dai et coll., 2015), tandis que d'autres ne signalent aucun problème de santé important (Bolin et coll., 2011; Ladenburg, 2015). Certains auteurs font plutôt état d'un effet psychologique (lié au fait que des personnes voient souvent des éoliennes; Pederson et Wayne, 2004) ou d'une réaction psychosomatique aux éoliennes (due à la nervosité; Colby et coll., 2009).

Certaines études ont souligné la nuisance ou la perturbation visuelle causée par les éoliennes, ainsi que l'incidence visuelle globale des projets d'énergie éolienne sur le paysage. En ce qui concerne les humains, l'acceptation des éoliennes peut être corrélée négativement au nombre d'éoliennes visibles au quotidien (Ladenburg et Dahlggaard, 2012). Les répercussions visuelles des éoliennes demeurent extrêmement difficiles à évaluer (Leung et Yang, 2012), et la façon dont ces répercussions devraient être prises en compte de manière cumulative varie d'un rapport d'évaluation à l'autre. L'entreprise White Consultants a décrit deux types de répercussions sur le paysage qu'elle a pris en compte dans son rapport de 2013 pour un projet d'énergie éolienne dans le Pembrokeshire et le Carmarthenshire, au pays de Galles. Le premier type concerne les répercussions directes, lorsque l'aménagement de parcs éoliens

cause des dommages aux éléments existants du paysage (p. ex., l'enlèvement d'arbres), et le deuxième type concerne les répercussions sur le paysage dus à l'ajout de nouveaux éléments (p. ex., les éoliennes visibles). L'UNESCO recommande de tenir compte de la distance entre les parcs éoliens, de la distance à laquelle ces parcs sont visibles, de la conception des parcs éoliens et du caractère général du paysage. Elle suggère également de tenir compte de l'emplacement des différents points de vue et de la façon dont le paysage est perçu depuis ces points de vue (White Consultants, 2013; UNESCO, s.d.). Il convient de souligner une nouvelle fois que ces méthodes ne sont pas bien établies ou définies (peu d'articles évalués par des pairs sont disponibles) et ne prennent pas non plus en compte d'autres projets dans leur structure d'évaluation des effets cumulatifs.

Perturbation des sols, des tourbières et des microclimats

D'autres répercussions néfastes des parcs éoliens sur l'environnement ne sont pas bien comprises, mais certains suggèrent que les eaux usées et les hydrocarbures provenant de la construction des éoliennes pourraient avoir une incidence négative sur les sols (Dai et coll., 2015). En outre, bien qu'il n'y ait pas d'études qui portent sur l'incidence des structures d'exploitation de l'énergie éolienne sur les tourbières, on sait que la perturbation des couches de tourbe peut avoir une incidence sur les systèmes à proximité de la perturbation et au-delà. Par exemple, la perturbation de la tourbe peut entraîner une diminution de la qualité de l'eau et des répercussions sur la vie aquatique (Nayak et coll., 2010; Bain et coll., 2011) par le biais d'une augmentation du ruissellement et du lessivage des sédiments et des éléments nutritifs (Leeks et Roberts, 1987; Roberts et Crane, 1997; Muller et Tankere-Muller, 2012; Lindsay et Bragg, 2005; Dykes et Jennings, 2011). Certaines données suggèrent également que les projets d'énergie éolienne à grande échelle pourraient avoir une incidence sur les microclimats locaux. Par exemple, une étude portant sur les parcs éoliens au Texas a révélé que ces grands parcs éoliens pourraient faire augmenter la température moyenne des zones non agricoles voisines de 0,72 degré Celsius au cours de la décennie (Zhou et coll., 2012) et que cela pourrait avoir une incidence sur les précipitations à l'échelle locale. Une seconde étude (Wang et Prinn, 2010) note également que les parcs éoliens pourraient faire augmenter les températures moyennes de surface au fil du temps, bien qu'il soit évident que davantage de recherches doivent être menées sur les répercussions des éoliennes sur les microclimats. Dans les faits, nous devons maintenant examiner le rôle que les processus qui ne sont pas bien compris dans le contexte de l'énergie éolienne peuvent jouer dans le portrait global des effets cumulatifs de l'énergie éolienne.

Étude de cas : Répercussions des parcs éoliens sur le Pluvier doré en Écosse

Une étude menée par Pearce-Higgins et coll. (2008) visait à modéliser l'incidence de onze parcs éoliens sur une espèce d'oiseaux des tourbières, le Pluvier doré (*Pluvialis apricaria*), en utilisant des

estimations de la répartition des oiseaux nicheurs dans l’empreinte des parcs éoliens en Écosse. Les auteurs ont constaté une diminution importante de l’utilisation de l’habitat de reproduction dans les zones des parcs éoliens et une augmentation de l’évitement de ces zones. Au fil de l’augmentation du nombre de parcs éoliens dans la zone d’étude, les auteurs prévoient des effets cumulatifs plus importants sous la forme d’un évitement des éoliennes. Malgré cela, l’étude n’a pas exploré la possibilité d’un risque de collision ou la façon dont les densités de Pluviers dorés pourraient avoir changé au fil du temps. Il s’agit d’un bon exemple de la façon dont la littérature axée sur les effets cumulatifs n’explore pas la possibilité de facteurs de stress multiples. La plupart des études mettent l’accent sur une répercussion (dans ce cas, la présence d’éoliennes) et la façon dont l’ensemble des répercussions peuvent avoir une incidence cumulative sur un récepteur (le Pluvier doré). Pour ce faire, elles utilisent des modèles afin de formuler des hypothèses sur la façon dont plusieurs sites éoliens peuvent avoir une incidence cumulative sur les espèces sauvages, sans ajouter d’études sur le terrain pour valider ces estimations.

Évaluation des répercussions des projets d’énergie éolienne extracôtière sur l’environnement

Les investissements dans l’énergie éolienne extracôtière augmentent à l’échelle mondiale et, par conséquent, de nombreux organismes étudient de toute urgence les effets cumulatifs de cette énergie. Les cadres actuels d’évaluation de l’incidence de l’énergie éolienne extracôtière sont encore rarement normalisés d’un pays à l’autre et d’un organe directeur à l’autre. Les facteurs de production d’incidence peuvent survenir au cours de trois phases d’un projet d’énergie éolienne : la construction, l’exploitation et le déclassement (Gill, 2005). Il est très rare que ces trois phases soient prises en compte dans les évaluations des effets cumulatifs, la plupart des rapports se concentrant sur des éléments de la construction (p. ex., le battage de pieux) ou de l’exploitation (p. ex., le bruit). Les composantes d’un « bon » cadre pour les évaluations environnementales des projets d’énergie éolienne extracôtière pourraient comprendre les suivantes : la compréhension de la gamme de facteurs de production d’incidence et de leurs répercussions sur la démographie des populations, l’échelle de l’industrie à pleine capacité, la proportion des populations d’espèces touchées, la détermination d’autres facteurs de stress pouvant avoir une incidence sur la démographie des populations (Croll et coll., 2022), ainsi que la prise en compte des composantes écosystémiques et écologiques (p. ex., la compréhension de la perte d’habitat, de la disponibilité des éléments nutritifs, des modifications à différents niveaux trophiques, de la modification de la diversité, etc.; Gill, 2005). De nombreuses études dans la littérature se concentrent sur le bruit créé lors du battage des pieux dans le fond marin (Goodale et Milman, 2016), et on pense que ce bruit pourrait entraîner des dommages auditifs ou des changements de comportement chez les mammifères marins (comme le marsouin commun en Europe du Nord) [p. ex., MMS, 2007; David, 2006]. On pense aussi que les sons pourraient avoir une incidence négative sur les poissons (Kikuchi,

2010), les tortues de mer (MMS, 2007) et les oiseaux (Gill, 2005), bien que cela n'ait pas fait l'objet d'études approfondies. Dans l'ensemble, les répercussions de l'énergie éolienne extracôtière sur l'environnement ne sont pas bien comprises et la plupart des recherches n'en sont qu'à leurs débuts. Par exemple, une étude des répercussions de l'énergie éolienne extracôtière sur les microclimats a montré que les grands projets d'énergie éolienne extracôtière pouvaient provoquer un léger refroidissement (0,2 degré Celsius) de la surface de l'océan dans les zones de parcs éoliens (Wang et Prinn, 2011), mais nous répétons que ces répercussions ne sont pas bien comprises.

Les difficultés et les limites qui existent pour les évaluations environnementales des projets d'énergie éolienne en milieu terrestre concernent également les projets d'énergie éolienne extracôtière. La compréhension des échelles d'incidence en milieu extracôtier se heurte à d'importantes limites, car il est très difficile d'explorer les échelles spatiales et temporelles dans les milieux marins relevant de diverses sphères de compétence (Masden et coll., 2015). Par conséquent, il est difficile de comprendre les effets cumulatifs de plusieurs projets différents, car il est très difficile d'évaluer les espèces aquatiques mobiles (Gusatu et coll., 2021; Parsons et coll., 2009). De même, pour les espèces marines, il existe également des risques de collision avec les structures des parcs éoliens ainsi que des risques de déplacement et de perturbation (par des voies directes ou indirectes comme les perturbations électromagnétiques). Ces risques ont été abondamment rapportés pour les oiseaux (p. ex., Desholm et Kahlert, 2005; Furness, Wade et Masden, 2013), et moins pour les poissons (Perrow et coll., 2011; Michel, 2013), les tortues (MMS, 2007) et les mammifères marins, comme les marsouins (Tougaard et coll., 2005), bien que les véritables risques de collision et de déplacement ne soient pas bien compris en raison de l'incapacité à mesurer les interactions et à comprendre les mécanismes des effets cumulatifs (Masden et coll., 2015).

Étude de cas : Effets cumulatifs des projets d'énergie éolienne sur le plateau continental extérieur de l'Atlantique Nord

En 2019, le Bureau of Ocean Energy Management des États-Unis a publié une évaluation des effets cumulatifs des projets d'énergie éolienne sur le plateau continental extérieur de l'Atlantique Nord. Son évaluation des facteurs de production d'incidence compte l'une des listes de facteurs les plus complètes dans la littérature. Elle a permis de relever [98 facteurs uniques](#) tout en tenant compte de divers scénarios décrits relatifs aux effets cumulatifs d'autres activités (p. ex., l'extraction de minéraux en milieu marin, le dragage des océans, les pêches). Une autre étude, cette fois sur le plateau continental extérieur de l'Atlantique Sud, a permis de relever 97 facteurs uniques ([Bureau of Ocean Energy Management, 2020](#)). Les limites spatiales de chaque répercussion étudiée ont également été prises en compte dans cette étude. Ces rapports contiennent une matrice qui présente les facteurs de production d'incidence qui se chevauchent entre les projets d'énergie éolienne et d'autres scénarios potentiels. Il est important de noter

que les répercussions ont été simplement déterminées et qu'aucune n'a été testée de façon empirique. Disposer d'une liste complète comme celles présentées ici constitue une première étape importante pour comprendre les effets cumulatifs de l'énergie éolienne extracôtière (et en milieu terrestre), et les autres rapports sur les effets cumulatifs nous donnent rarement autant de détails que ceux présentés ici.

3.2.3 Exemples d'effets cumulatifs au Canada et ailleurs

Canada

Le Canada évalue les effets cumulatifs au moyen du « Cadre stratégique pour l'évaluation des effets cumulatifs en vertu de la *Loi sur l'évaluation d'impact* » et conformément au « Guide du praticien sur l'évaluation des effets cumulatifs ». Ce guide décrit cinq tâches que les praticiens des effets cumulatifs doivent réaliser lors de l'évaluation des effets cumulatifs (établissement de la portée, analyse, atténuation, détermination de l'importance et suivi). Ces étapes, sous-étapes et approches ne varient pas beaucoup d'une politique nationale ou régionale à l'autre, et ce, partout dans le monde. Les projets d'énergie éolienne sont évalués au niveau provincial, sauf s'ils sont situés en milieu extracôtier ou dans une aire protégée nationale (McMaster et coll., 2021). Au niveau provincial, plusieurs cadres d'EIE mentionnent l'importance de la prise en compte des effets cumulatifs, bien qu'il n'existe pas de directives à ce sujet (Nova Scotia Environmental Assessment Branch, 2021; Newfoundland and Labrador Department of Environment and Climate Change, 2023). À ce jour, il n'existe pas de cadre d'évaluation des effets cumulatifs spécialement conçu pour les projets d'énergie éolienne au Canada, et il reste à voir comment les évaluations régionales des projets d'énergie éolienne extracôtière en Nouvelle-Écosse et à Terre-Neuve-et-Labrador prendront en compte les effets cumulatifs.

Le cadre des effets cumulatifs propose de tenir compte simultanément des répercussions sur l'environnement et des effets cumulatifs à l'aide de cadres semblables. À première vue, bon nombre des méthodes que les promoteurs peuvent utiliser pour quantifier les effets néfastes s'appliquent également aux effets cumulatifs (Agence canadienne d'évaluation environnementale, 2014). Par exemple, la prise en compte des composantes valorisées, des échelles temporelles et spatiales, des rapports de référence, des méthodes d'enquête et de modélisation, ainsi que des éléments relatifs à l'environnement physique, aux espèces sauvages, au paysage, à la santé humaine, aux répercussions socio-économiques et aux droits et intérêts des populations autochtones peut être utile pour les EIE et les évaluations des effets cumulatifs au Canada. La prise en compte des répercussions sur les populations autochtones peut englober les changements socio-économiques et sur le plan de la santé, le patrimoine physique et culturel, l'utilisation des terres et des ressources à des fins traditionnelles ou toute perturbation liées aux structures

(Gouvernement du Canada, 2012). Une étude (Godinho et coll., 2023) explorant les répercussions sur les composantes valorisées a relevé 94 répercussions dans les évaluations d'impact menées au Canada, la grande majorité d'entre elles s'appliquant à la construction et à l'exploitation des parcs éoliens plutôt qu'à la mise hors service. Nombre de ces évaluations de projets d'énergie éolienne visaient les répercussions biophysiques traditionnelles sur les espèces sauvages, l'environnement, la végétation et les sols (entre autres), mais certaines répercussions socio-économiques, sur la santé humaine et sur les communautés autochtones ont également été mentionnées. Le lien entre ces répercussions et les effets cumulatifs n'a pas été évalué. Ainsi, malgré certaines mentions d'effets cumulatifs dans les cadres canadiens, les évaluations environnementales actuelles ne sont pas préparées de façon à aborder la question des effets cumulatifs (Dutta, 2020).

Ailleurs dans le monde, nombre de cadres d'évaluation des effets cumulatifs et d'évaluation environnementale des projets d'énergie éolienne sont semblables à ceux en vigueur au Canada. Dans l'ensemble, à l'échelle mondiale, il manque encore de directives pour l'évaluation des effets cumulatifs des projets d'énergie éolienne, et sans ces directives, la réalisation d'évaluations demeurera difficile. Nombre des cadres d'évaluation des effets cumulatifs existants (et qui ont été évoqués dans les sections précédentes) sont axés sur une seule composante valorisée (p. ex., les oiseaux) plutôt que sur un portrait global de l'incidence des parcs éoliens sur une variété de composantes valorisées. Dans la littérature récente, l'accent semble être mis sur les effets cumulatifs dans le contexte des projets d'énergie éolienne extracôtière, qui sont de plus en plus fréquents dans le domaine de la recherche et du développement. Il va sans dire que les EIE deviendront plus complexes avec l'ajout des effets cumulatifs. À l'échelle mondiale, aucune pratique uniforme d'évaluation des effets cumulatifs n'a pas été mise en œuvre avec beaucoup de succès (p. ex., Gill et Hein, 2022; Willstead et coll., 2018). Dans le monde de l'élaboration de projets, on craint que l'adoption d'un processus d'évaluation environnementale plus rigoureux ne retarde les projets d'énergie renouvelable (Jay, 2010; Scott et coll., 2014) et qu'elle aura des répercussions largement négatives sur la réalisation des objectifs en matière de lutte contre les changements climatiques (Fischer et coll., 2020; Geißler et coll., 2013; Schumacher, 2017; Ryan et coll., 2019). Malgré cela, les praticiens du monde entier tentent d'élaborer des cadres pour l'évaluation des effets cumulatifs des projets d'énergie éolienne. L'analyse de la littérature révèle les principales difficultés suivantes, qui empêchent les praticiens de prendre des décisions pratiques en matière d'effets cumulatifs :

- l'utilisation incohérente de la terminologie et des définitions (p. ex., Judd et coll., 2015; Foley et coll., 2017);

- les difficultés à normaliser les évaluations des répercussions néfastes et de leur incidence sur les composantes valorisées, en particulier en ce qui concerne la collecte de données et la modélisation;
- la difficulté de comprendre les bases de référence en matière d'environnement;
- les difficultés à décider quelles répercussions doivent être prises en compte dans l'évaluation et le manque de renseignements sur les répercussions indirectes et différées (p. ex., May, 2015);
- les difficultés à évaluer l'incidence combinée des facteurs de stress et à comprendre les répercussions sur les individus et les populations (p. ex., Judd et coll., 2015);
- les difficultés à définir des échelles temporelles et spatiales pour chaque répercussion (p. ex., Cooper et Sheate, 2002; Duinker et coll., 2013; Foley et coll., 2017; Masden et coll., 2010);
- les difficultés à comprendre les répercussions à chaque étape de l'élaboration de projets (p. ex., Allison et coll., 2019);
- les difficultés à comprendre si les répercussions sont de nature additive, synergique ou antagoniste (p. ex., Cocklin et coll., 1992; Crain et coll., 2008);
- l'hésitation relative à la mise en commun des données et à la collaboration entre les promoteurs, qui empêche une meilleure compréhension, un meilleur apprentissage et l'élaboration de normes, ce qui se traduit par des évaluations très différentes les unes des autres (p. ex., Doelle et Critchley, 2015; Dutta et coll., 2021);
- la sous-représentation des effets cumulatifs en dehors de certains aspects des espèces sauvages et de l'environnement (p. ex., Larsen et coll., 2018; Gill et Hein, 2022).

Union européenne (UE)

Les pays qui relèvent de l'UE sont tenus de réaliser une EES afin d'établir des seuils et de déterminer les répercussions globales sur les composantes valorisées (Renewable UK, 2013). Les promoteurs doivent réaliser une EIE qui tient compte des répercussions (directes, indirectes, négatives, positives, à long terme ou permanentes, ainsi que des effets cumulatifs entre les projets ou à l'intérieur des projets) qu'un projet peut avoir et, le cas échéant, une évaluation de la réglementation relative à l'habitat, qui vise les répercussions sur un habitat ou des espèces en particulier (Renewable UK, 2013). En 2001, la Commission européenne a publié des orientations pour l'EIE afin de simplifier le processus pour chaque pays, bien que chaque pays soit responsable de la création de son propre cadre d'orientation (Commission européenne, 1999). L'EIE est la seule évaluation utilisée par les décideurs pour approuver ou rejeter un projet. En outre, bien que l'EIE souligne que différents niveaux d'incidence doivent être pris en compte, l'accent est certainement mis sur les répercussions directes (Renewable UK, 2013), ce qui rend les

évaluations des effets cumulatifs difficiles malgré les 51 effets cumulatifs évalués dans le cadre de l'EES, de l'EIE et l'évaluation de la réglementation relative à l'habitat. La plateforme Nordic Energy Research a publié un rapport détaillant les lignes directrices relatives aux EIE dans divers pays nordiques et la façon dont ces évaluations prennent en compte la biodiversité dans la mer du Nord en tenant compte des répercussions des projets d'énergie éolienne extracôtière. Elle souligne que le cadre existant dans la loi danoise sur l'évaluation environnementale des plans et des programmes pour des projets particuliers « fonctionne bien » pour tenir compte des répercussions sur l'environnement. En Suède et en Norvège, des permis environnementaux sont exigés. Ces permis doivent tenir compte d'un ensemble de répercussions sur l'environnement et, dans le cas de la Norvège, des répercussions sur d'autres facteurs socio-économiques.

En raison de l'attention accordée par l'Union européenne, des cadres d'évaluation des effets cumulatifs des parcs éoliens sont en voie d'établissement dans divers documents d'évaluation dans plusieurs pays. Ces cadres visent principalement les projets d'énergie éolienne extracôtière et se concentrent sur les espèces sauvages. Les Pays-Bas ont analysé des cadres pour les effets cumulatifs de leurs parcs éoliens en milieu extracôtier. Dans ce pays, la loi sur la conservation de la nature exige des évaluations des effets cumulatifs et la loi sur la flore et la faune stipule que les répercussions néfastes doivent être évaluées pour chaque projet, y compris les projets d'énergie éolienne. La façon dont ces répercussions doivent être évaluées n'est précisée dans aucune de ces lois. Le document traite de trois types d'animaux en particulier :

1. les marsouins communs, pour lesquels il convient de tenir compte des répercussions décrites dans l'accord sur la conservation des petits cétacés de la mer Baltique, de l'Atlantique Nord-Est, de la mer d'Irlande et de la mer du Nord (Agreement on the Conservation of Small Cetaceans in the Baltic, North-East Atlantic, Irish and North Seas);
2. les oiseaux, pour lesquels le nombre de collisions, l'effet de barrière et la perte d'habitat seront évalués par rapport au prélèvement biologique potentiel déterminé. Les risques de collision sont estimés à l'aide du modèle de Band, tandis que l'incidence combinée des collisions et de la perte d'habitat sont estimés à l'aide du modèle de Bradbury (2014);
3. les chauves-souris, pour lesquelles des avis d'experts seront utilisés pour évaluer le prélèvement biologique potentiel en raison du manque de données existantes. Les risques de collision sont estimés à l'aide de méthodes semblables à celles utilisées pour les collisions d'oiseaux.

Bien que les modèles constituent la principale méthode utilisée pour estimer le nombre de collisions d'oiseaux, aucune des méthodes de modélisation n'a été validée à l'aide de données d'enquête

sur les collisions d'oiseaux ou de chauves-souris. De plus, les modèles manquent de résultats qui tiennent compte des répercussions indirectes. Dans l'ensemble, aux Pays-Bas, il n'existe actuellement aucune méthode claire d'évaluation des effets cumulatifs qui explore les échelles spatiales et temporelles, ni aucune base de données claire pour les projets existants ou proposés, et il y a un manque de renseignements et de méthodes écologiques (Ministère des Affaires économiques et du Climat, 2015).

Pour les mammifères marins (en particulier le marsouin commun, le phoque commun et le phoque gris), Heinis, de Jong et von Benda-Beckman (2022) ont réussi à calculer et à estimer les pires scénarios pour le bruit créé par le battage de pieux en utilisant les données sur l'intensité de la source, les caractéristiques locales et la connaissance des sons. Ils ont ensuite utilisé ces estimations, ainsi que des cartes antérieures de densité de population et des données sur les relations dose-réponse pour estimer les effets cumulatifs sur les mammifères marins (Ministère des Affaires économiques et Ministère de l'Infrastructure et de l'Environnement, 2016a, 2016b). Bien que le nombre d'animaux touchés demeure dans les normes gouvernementales, le rapport a montré qu'un certain nombre d'animaux pourraient encore être perturbés chaque année (p. ex., 20 phoques communs par année) [Heinis, de Jong et von Benda-Beckman, 2022] et qu'il était difficile de comprendre les déplacements des mammifères marins. Davantage de recherches écologiques sont donc nécessaires pour comprendre les modèles de déplacement par rapport aux parcs éoliens existants.

Dans le sillage de l'attention accrue portée aux écosystèmes côtiers et marins, le ministère français de l'Écologie a créé le groupe de travail scientifique « ECUME » afin de gérer l'incidence des effets cumulatifs en milieu extracôtier (Brignon et coll., 2021), alors qu'auparavant, le pays suivait les orientations d'autres régions (Commission européenne, 1999; International Finance Corporation, 2013; Renewables UK, 2013). Le groupe de travail ECUME a utilisé une approche axée sur les risques pour relever et classer les répercussions néfastes possibles des parcs éoliens en milieu extracôtier pendant leur construction, leur exploitation et leur mise hors service, tout en déterminant les espèces en péril, la sensibilité des zones aux répercussions et le niveau de connaissance scientifique existant pour les interactions en jeu. Dans l'ensemble, le groupe de travail a pu relever 41 espèces ou groupes d'espèces et de milieux pertinents ainsi que 47 pressions au cours des trois phases des projets d'énergie éolienne extracôtière (Brignon et coll., 2021), montrant ainsi aux autres groupes de travail comment commencer à déterminer les effets cumulatifs communs.

États-Unis

En général, les évaluations d'impact aux États-Unis peuvent être recommandées par un organisme, comme le US Fish and Wildlife Service (USFWS), qui a publié des lignes directrices qui

encouragent des modèles de relevé, de surveillance, d'évaluation et de recherche scientifiquement rigoureux et proportionnels au risque pour les espèces préoccupantes, bien que ces lignes directrices ne soient pas nécessairement requises pour les projets d'énergie éolienne (Teff-Seker et coll., 2022). Il est intéressant de noter que l'Environmental Protection Agency des États-Unis (2022) a récemment publié un rapport qui appelle à davantage de recherche sur les effets cumulatifs pour les appliquer aux résultats en matière de santé humaine à différents niveaux socio-économiques. Le document présente les questions clés à prendre en compte dans une évaluation des effets cumulatifs sur la santé humaine, qui peuvent souvent avoir une incidence différente sur les communautés en fonction de facteurs comme le statut socio-économique, la race, l'origine ethnique et l'exposition antérieure. Ce rapport reconnaît qu'il existe des lacunes importantes en matière de recherche et de normalisation méthodologique qui nous aident à comprendre pourquoi certaines populations sont plus exposées aux effets cumulatifs (United States Environmental Protection Agency, 2022). Bien que ce rapport ne mentionne pas particulièrement l'énergie éolienne, il met en évidence un élément relatif aux effets cumulatifs qui ne figure pas dans la littérature sur l'EIE des projets d'énergie éolienne. Il sera donc nécessaire, à l'avenir, de prendre en compte ces répercussions en plus des travaux réalisés pour l'évaluation des effets cumulatifs sur les espèces sauvages.

Australie

L'Australie n'a pas encore examiné les effets cumulatifs dans le contexte de l'énergie éolienne, mais ces effets sont pris en compte dans le cadre de la loi sur la protection de l'environnement et la conservation de la biodiversité (Environmental Protection and Biodiversity Conservation Act). Malgré cela, la loi ne fournit pas d'orientations ni de méthodes pour gérer ces effets cumulatifs (Dales, 2011; Dunstan et coll., 2020). Des rapports récents comme le « Review of Cumulative Effects Assessments » par Fulton et coll. (2021) et le « Reef 2050 Plan : Cumulative impact Management » par la Great Barrier Reef Park Authority (2018), sont axés sur les effets cumulatifs sur l'environnement marin en Australie. L'Australie a pris un certain nombre de mesures qui peuvent concerner les projets d'énergie éolienne extracôtière en particulier. Par exemple, l'Australie a produit une carte nationale des pressions cumulatives qui vise à faire la somme des 109 pressions relevées dans les eaux côtières australiennes (Fulton et coll., 2021). Dunstan et coll. (2020) ont formulé quelques suggestions quant au type d'analyse à envisager pour comprendre toute la portée des effets cumulatifs : évaluations qualitatives et quantitatives de l'incidence et du risque, analyse des données de modèle des relations entre les activités, analyse de l'incidence des effets cumulatifs sur les composantes valorisées, analyse du risque de la probabilité des répercussions, et synthèse des résultats des activités d'atténuation. Parmi celles-ci, Stockbridge et coll. (2021) ont noté que la plupart des approches d'évaluation des effets cumulatifs ne

tiennent pas réellement compte des risques réalisés, mais sont davantage des analyses des dangers dans lesquelles les risques sont cernés sans autre considération. En outre, si les évaluations des effets cumulatifs sont censées être pleinement éclairées, l'évaluation des mesures de gestion doit être incluse (Cormier et coll., 2018; Stelzenmüller et coll., 2018). Dans l'ensemble, les priorités pour les évaluations des effets cumulatifs en Australie mettent en évidence les mêmes obstacles et priorités qui existent pour les cadres dans le monde entier, notamment l'adoption d'approches normalisées, la clarification des terminologies et des méthodes, la compréhension des bases de référence, des seuils et des normes, la compréhension des échelles spatiales et temporelles et un appel à l'utilisation d'approches plus intégrées (Great Barrier Reef Park Authority, 2018).

3.3 Énergie nucléaire

3.3.1 Qu'est-ce que l'énergie nucléaire? / Tendances générales en matière de croissance propre dans le domaine de l'énergie nucléaire

Le développement de la fission nucléaire en tant que ressource énergétique a eu lieu au cours du XXI^e siècle, à la suite de la militarisation de la fission nucléaire pendant la Seconde Guerre mondiale (Rhodes, 2012). Cette technologie, lorsqu'elle est exploitée, s'est avérée utile pour produire d'autres formes d'énergie en transférant l'énergie libérée par la fission nucléaire en énergie thermique, puis mécanique et enfin électrique (c.-à-d. un générateur de vapeur; Stacey, 2018). La mise en service de centrales nucléaires à grande échelle à des fins commerciales a commencé dans les années 1960 avec des réacteurs qui produisaient 60 mégawatts électriques (MWé). La production des centrales modernes peut maintenant dépasser 1 600 MWé (2004). Cependant, en raison de multiples problèmes (p. ex., la fusion du cœur de réacteurs nucléaires, le stockage des déchets et l'empreinte industrielle), la mise en service de nouvelles centrales nucléaires commerciales (p. ex., des constructions entièrement nouvelles) a diminué à l'échelle mondiale (Moniz, 2011). Toutefois, certains sites existants (p. ex., Vogtle - États-Unis) ont vu leur capacité augmenter grâce à l'installation de réacteurs supplémentaires. Ce déclin du développement à l'échelle mondiale et le besoin croissant d'une croissance propre (c.-à-d. d'une production d'énergie qui ne contribue pas aux émissions de gaz à effet de serre) ont entraîné l'élaboration de nouvelles méthodes d'utilisation de l'énergie nucléaire, mais à plus petite échelle, grâce à la construction de petits réacteurs modulaires (PRM) [Gao et coll., 2022]. Le Canada s'est engagé dans la transition mondiale vers une économie à faibles émissions de carbone en adoptant la *Loi canadienne sur la responsabilité en matière de carboneutralité*, qui est entrée en vigueur le 29 juin 2021. Cette loi engage le Canada à parvenir à la carboneutralité d'ici 2050, en mettant l'accent sur une croissance propre qui pourrait inclure la

construction et la mise en service de PRM. Ces réacteurs produisent de moins de 300 MW^e à un maximum de 700 MW^e, sont relativement petits par rapport aux réacteurs de centrales nucléaires de taille industrielle (p. ex., le PRM de Rolls-Royce - 40 000 m²), relativement faciles à construire (c.-à-d. construits en usine) et à mettre en service (c.-à-d. portables et évolutifs), et ont de faibles émissions de carbone (Hidayatullah et coll., 2015; Horvath et Rachlew, 2016; Ramana et Ahmad, 2016; Rowan, 2020; Peters, 2021; Riehl, 2021). Plusieurs études ont indiqué que les PRM aideront le Canada à passer à une économie à faibles émissions de carbone, mais les répercussions sur l'environnement et les effets cumulatifs de la production et de la mise en service des PRM ne sont pas encore totalement compris (Peters, 2021; Gao et coll., 2022). Par conséquent, l'objectif de notre recherche est de se concentrer sur les répercussions potentielles sur l'environnement et les effets cumulatifs que les PRM pourraient avoir sur l'environnement, l'économie et les Canadiens.

3.3.2 Effets cumulatifs potentiels dans le domaine de l'énergie nucléaire

3.3.2.1 Effets cumulatifs généraux

L'énergie nucléaire sûre, fiable et à petite échelle a le potentiel de fournir aux humains une méthode de production d'énergie à faibles émissions, mais il existe de nombreuses restrictions qui peuvent avoir des effets cumulatifs directs et indirects sur les écosystèmes et les humains (Fiorini, 2014; Horvath et Rachlew, 2016; Právělie et Bandoc, 2018; Zarębski et Katarzyński, 2023). Ces effets comprennent ceux liés au transport et à l'élimination des matières radioactives, les répercussions sur les écosystèmes sensibles (c.-à-d. l'Arctique et la région subarctique), la perturbation des cultures et du bétail, la contamination d'écosystèmes d'eau douce, le bruit et l'activité industriels, l'augmentation du coût du financement (c.-à-d. le financement privé et public) et l'augmentation du risque d'accidents nucléaires (p. ex., la fusion du cœur de réacteurs, la chaleur de désintégration et les erreurs humaines ou d'équipement) [Rowan et Rasmussen, 1994; Burgherr et Hirschberg, 2014; Ramana et Ahmad, 2016; Kyne et Bolin, 2016; Carless et coll., 2016; Brinkmann et Rowan, 2018; Hanna et coll., 2019; Froese et coll., 2020; Malatesta, 2021; Krall et coll., 2022; Zarębski et Katarzyński, 2023). Des études axées sur la compréhension des effets cumulatifs des PRM ont été menées aux États-Unis, au Canada, en Allemagne, en Pologne, en Italie, en Australie et en Jordanie, mais il y a toujours peu de données probantes pour approfondir les connaissances sur les effets cumulatifs des PRM sur les humains et l'environnement (Rowan, 2020).

En raison des multiples effets cumulatifs que les PRM pourraient avoir sur les humains et l'environnement, leur production et leur mise en service doivent faire l'objet d'une planification et d'une

critique approfondies. Par exemple, des orientations sur les EIE devront être élaborées, probablement en utilisant les cadres existants relatifs aux centrales nucléaires au Canada, afin de comprendre pleinement les répercussions des PRM sur les humains et l'environnement (Rowan et Rasmussen, 1994; Brinkmann et Rowan, 2018; Hanna et coll., 2019; Zhang et coll., 2023). Ces répercussions peuvent comprendre la contamination des terres et des eaux de surface, l'augmentation des activités minières (p. ex., celles ciblant l'uranium et d'autres métaux lourds) et manufacturières pour produire des pièces, et les activités de construction lors de la mise en service des PRM. Des questions se posent également sur les coûts et avantages financiers des PRM en tant que source d'énergie fiable sans carbone, les estimations actuelles indiquant que la technologie est potentiellement trop coûteuse pour constituer une solution viable pour les communautés éloignées (Froese et coll., 2020).

3.3.2.2 Présence dans le paysage

L'empreinte relative des PRM et le recours à des pièces préfabriquées pour leur construction facilitent la mise en service de ces réacteurs et permet d'accroître leur nombre dans le paysage et leur distribution à grande échelle (Locatelli et coll., 2014; Black et coll., 2019). Ces caractéristiques font des PRM une solution de rechange avantageuse par rapport à d'autres technologies sans carbone, car ils semblent à première vue présenter peu de risques directs et indirects (p. ex., une petite empreinte et une faible incidence sur l'environnement). La mise en service de PRM en grand nombre dans le paysage pourrait toutefois avoir un effet cumulatif sur les humains et les écosystèmes, car les répercussions pourraient être plus étendues que celles des grandes centrales nucléaires centralisées modernes. Ces répercussions peuvent comprendre la modification des écosystèmes à l'échelle régionale lors des phases de la construction (p. ex., la construction de routes ainsi que l'aménagement des sites de mise en service et des sites de stockage de déchets centralisés ou locaux) et de l'exploitation (p. ex., l'utilisation excessive d'eau), ainsi qu'un risque d'accident nucléaire. À mesure que le nombre de PRM mis en service augmente, ces effets cumulatifs à l'échelle régionale peuvent avoir une incidence plus étendue sur les humains et les écosystèmes (p. ex., la perte d'habitat à grande échelle, le réchauffement de l'eau de surface et le rayonnement). Par conséquent, nous recommandons que le nombre de mises en service, le stockage des matières premières et les déchets, ainsi que les sites de fabrication de pièces fassent l'objet d'un examen minutieux par les praticiens.

L'utilisation commerciale future des PRM au Canada semble se concentrer sur les communautés éloignées hors réseau (autochtones et non autochtones) souvent situées dans le nord du pays et sur les sites d'extraction de ressources éloignés comme l'exploitation minière dans le Cercle de feu de l'Ontario et l'extraction de ressources en Alberta et en Saskatchewan (Buchheit et Smith, 2018; Zhang et coll.,

2022; Hurlbert, 2022). Ces communautés et ces sites sont isolés et peuvent ne pas disposer de l'infrastructure appropriée pour assurer un aménagement, une mise en service et une exploitation sûrs et fiables des PRM. Un examen minutieux et une consultation des communautés et sites concernés, en particulier des communautés autochtones, doivent être menés avant tout progrès dans la mise en service des PRM en tant que nouvelle source d'énergie propre.

3.3.2.3 Atténuation

Les petits réacteurs nucléaires pourraient contribuer à réduire notre dépendance à l'égard des sources d'énergie à base de carbone, mais il faut atténuer les effets cumulatifs (c.-à-d. le stockage des déchets à long terme, les accidents nucléaires et les activités industrielles) de cette technologie avant que les PRM puissent réellement constituer une source d'énergie sûre et fiable. À l'heure actuelle, on dispose de très peu de renseignements sur la façon d'atténuer directement les répercussions des PRM sur les écosystèmes et les humains, étant donné qu'il s'agit d'une technologie assez nouvelle. De nombreux aspects de la mise en service des PRM ont toutefois été évalués et des mesures d'atténuation ont été mises au point. Ces aspects de la mise en service des PRM comprennent l'atténuation des répercussions de la construction de routes et de l'aménagement de sites industriels, le stockage des déchets nucléaires provenant de grands sites commerciaux (et non de PRM) et l'altération des eaux de surface causée par le chauffage et le refroidissement dans les réacteurs nucléaires. Par conséquent, nous recommandons de mener plusieurs études pour comprendre et élaborer des tactiques d'atténuation pour la mise en service des PRM qui tiennent compte des connaissances existantes et des techniques d'atténuation utilisées pour les grands réacteurs nucléaires.

3.3.3 Exemples d'effets cumulatifs dans le domaine de l'énergie nucléaire au Canada et ailleurs

Les effets cumulatifs des PRM sur l'environnement et la société ne sont pas entièrement compris, ce qui rend l'utilisation actuelle de ces réacteurs controversée (Bratt, 2022). Une évaluation et une recherche approfondies sur les répercussions des PRM (p. ex., en finançant la recherche gouvernementale et universitaire) pourraient permettre une mise en service en toute sécurité et responsable au Canada. Les domaines d'évaluation et de recherche pourraient être axés sur l'amélioration des pratiques d'aménagement des sites, l'utilisation et la création d'outils d'atténuation, l'élaboration de meilleures méthodes et installations de stockage des matières nucléaires, le financement d'études évaluant les répercussions du développement et de la mise en service des PRM sur l'environnement, et la modification des EIE afin de mieux tenir compte des connaissances actuelles et futures sur les répercussions des PRM (consultez le tableau 1 de la section Documents complémentaires).

Le gouvernement fédéral a mené une étude nationale sur la technologie des PRM afin de fournir un contexte et des orientations sur la manière de procéder à la transition vers l'utilisation de cette technologie comme source d'énergie efficace ([Feuille de route des petits réacteurs modulaires de 2018](#)). Un [Plan d'action canadien pour les petits réacteurs modulaires](#) a été élaboré à partir de l'étude de la feuille de route des PRM, et la dernière mise à jour date de 2022. Ce plan d'action fournit aux organismes de réglementation, aux promoteurs et au public des renseignements sur le coût, le développement et les cadres législatifs relatifs à la mise en service et à l'exploitation des PRM. Toutefois, le plan d'action n'aborde pas les effets cumulatifs que les PRM auront sur les humains et l'environnement, et ne présente donc pas aux organismes de réglementation, aux promoteurs et au public les effets cumulatifs des PRM. Actuellement, le développement, la mise en service et l'exploitation des PRM qui produisent moins de 200 MWth sont exemptés de la *Loi sur l'évaluation d'impact* du gouvernement fédéral, par l'intermédiaire de l'alinéa 27b du [Règlement sur les activités concrètes - DORS/2019-285](#). Ce règlement stipule que tout réacteur nucléaire qui n'est pas situé dans les limites autorisées d'une installation nucléaire existante de catégorie IA et qui produit une capacité thermique combinée de plus de 200 MWth doit faire l'objet d'une évaluation d'impact. Actuellement, les neuf PRM proposés au Canada (c.-à-d. situés en Ontario et au Nouveau-Brunswick) ont une puissance inférieure à 200 MWth et sont donc dispensés d'une EIE. Il convient d'envisager un réexamen de cette exemption compte tenu des discussions susmentionnées sur les répercussions sociales de l'énergie nucléaire et des PRM au Canada. En outre, les priorités du gouvernement pourraient être axées sur le financement de la recherche afin de mieux comprendre les effets cumulatifs de cette technologie. Indépendamment de l'exemption, le gouvernement provincial du Nouveau-Brunswick s'est engagé en 2023 à réaliser des EIE approfondies pour les projets de PRM et a demandé l'avis du public à l'automne 2023 (Gouvernement du Nouveau-Brunswick, 2023a, 2023b). Cette EIE permettra, nous l'espérons, d'orienter et d'éclairer les futures évaluations d'impact, les domaines à améliorer et les connaissances générales qui peuvent fournir des renseignements pour atténuer les effets cumulatifs des futures mises en service de PRM.

3.4 Énergie solaire

3.4.1 Qu'est-ce que l'énergie solaire? Croissance propre dans le domaine de l'énergie solaire

L'énergie solaire consiste en la capture des longueurs d'onde de la lumière solaire par des cellules photovoltaïques (p. ex., des cellules dotées d'une mince plaquette de silicium cristallin) qui convertissent l'énergie solaire en énergie électrique en excitant les électrons qui se déplacent dans un circuit produisant un courant continu (Wenham et Green, 1996; Lynn, 2011; Dias et coll., 2016). Ces circuits peuvent être reliés directement à un dispositif électronique, un onduleur pour transformer le courant continu en courant

alternatif, ou à un dispositif de stockage de l'énergie électrique pour les besoins énergétiques futurs (p. ex., des batteries) [Hou et coll., 2011; Ahmad et Khan, 2012; MacKay, 2013; Sahu et Manjrekar, 2020]. Les ensembles de cellules photovoltaïques sont appelés panneaux solaires, panneaux électriques solaires ou modules photovoltaïques, et les grands projets commerciaux d'installation de panneaux sont appelés parcs solaires ou centrales solaires (Gul et coll., 2016). Le nombre de parcs solaires a augmenté au cours de la dernière décennie et continue de le faire, car le Canada s'est engagé à mettre en place une économie à faibles émissions de carbone d'ici 2050 (c.-à-d. la *Loi canadienne sur la responsabilité en matière de carboneutralité*).

Les parcs solaires constituent une source d'énergie renouvelable à faibles émissions qui produit chaque année 4,5 % de l'énergie produite à l'échelle mondiale, ce qui en fait la troisième source d'énergie renouvelable en importance après l'hydroélectricité et l'énergie éolienne (Bahar et coll., 2023). Au Canada, le nombre de projets d'énergie solaire par année a augmenté de façon constante de 2009 à 2022, passant de 2 à 22, et on compte aujourd'hui 84 parcs solaires au pays (Global Energy Monitoring). L'énergie solaire a cependant des effets cumulatifs sur les humains et les écosystèmes terrestres et aquatiques (Abbasi et Abbasi, 2000; Gunerham et coll., 2008; Hernandez et coll., 2014; Rabaia et coll., 2021). Pour atteindre les objectifs de carboneutralité, le Canada devra probablement accroître l'aménagement et l'entretien de parcs solaires de taille commerciale, mais des plans stratégiques doivent être mis en place pour assurer que les effets cumulatifs ne l'emportent pas sur les avantages offerts par la production d'énergie solaire. Par conséquent, l'objectif de notre recherche est de mettre l'accent sur les répercussions sur l'environnement et les effets cumulatifs que la production d'énergie solaire pourrait avoir sur l'environnement, l'économie et les Canadiens.

3.4.2 Effets cumulatifs potentiels dans le domaine de l'énergie solaire

La construction, l'entretien et le recyclage des parcs solaires ont de multiples effets cumulatifs directs et indirects sur les écosystèmes et les humains (consultez le tableau 1 de la section Documents complémentaires; Abbasi et Abbasi, 2000; Kaygusuz, 2009; Hernandez et coll., 2014). Les centrales solaires nécessitent l'aménagement de vastes superficies de terrain, ce qui entraîne des effets cumulatifs sur le paysage terrestre environnant, notamment la conversion de terres déjà défrichées (p. ex., des terres agricoles) ou le défrichement et l'aménagement d'un site pour assurer une exposition efficace aux rayons du Soleil (Tsoutsos et coll., 2005; Gunerham et coll., 2008; Hernandez et coll., 2014; Franco et Franco, 2021). Cet aménagement peut entraîner une augmentation de l'érosion et du compactage des sols, ainsi qu'une fragmentation accrue de l'habitat, ce qui peut modifier la biodiversité locale et entraîner un déclin des populations d'espèces intrinsèquement et économiquement importantes (p. ex., les pollinisateurs) [Montag et coll., 2016; Guiller et coll., 2017; Chock et coll., 2021; Leskova et coll., 2022]. Une fois

aménagés, les parcs solaires peuvent réduire le taux d'évaporation du sol, modifier les régimes de vent et les conditions météorologiques, et augmenter les effets de l'albédo et d'îlot de chaleur à l'échelle locale (Fthenakis et Yu, 2013; Hernandez et coll., 2014; Hu et coll., 2016). Ces répercussions peuvent avoir une incidence sur les écosystèmes aquatiques en augmentant la température de l'eau à l'échelle locale, ce qui a une incidence sur les poissons et les organismes aquatiques, en fragmentant et en réduisant les réseaux temporaires d'eau de surface et d'eau souterraine, et en augmentant les taux de mortalité des insectes et des oiseaux aquatiques, ces espèces étant attirées par les cellules photovoltaïques (Horváth et coll., 2010; Kagan et coll., 2014; Grippo et coll., 2015; Li et coll., 2022). L'entretien des parcs solaires nécessite souvent un entretien régulier de la végétation, ce qui peut donner lieu à une réduction de la végétation indigène et permettre à des espèces végétales exotiques et envahissantes de se répandre. Les parcs solaires se sont souvent appuyés sur une couverture végétale facile à entretenir (p. ex., de l'herbe ou du gravier) qui pourrait entraîner l'utilisation de machines, d'herbicides ou de pesticides qui ont des effets cumulatifs sur de multiples écosystèmes, terrestres et aquatiques (Hernandez et coll., 2014, 2019; McCall et coll., 2023).

Pour atténuer les effets cumulatifs directs et indirects de l'aménagement et de l'entretien des parcs solaires sur de multiples écosystèmes, l'emplacement et les modifications potentielles du paysage doivent être examinés soigneusement, en particulier si les emplacements sont situés dans des écosystèmes éloignés et sensibles qui sont facilement perturbés ou réchauffés (p. ex., les écosystèmes de la taïga, du pergélisol et de la toundra) [Cameron et coll., 2012; Valera et coll., 2022]. Limiter l'aménagement à proximité d'importants systèmes d'eau de surface et d'eau souterraine ou utiliser des terres déjà défrichées (p. ex., des terres agricoles) pour les parcs solaires pourrait constituer des tactiques d'atténuation utiles pour réduire les répercussions sur l'environnement (Grippo et coll., 2015; Hamidinasab et coll., 2023). Pour comprendre l'efficacité de chaque outil d'atténuation utilisé pour compenser les répercussions des parcs solaires sur le secteur agricole, Hamidinsab et coll. (2023) ont créé un tableau qui précise les répercussions sur le secteur, l'outil d'atténuation et l'efficacité de chaque outil. Les techniques d'atténuation utilisées pour atténuer les répercussions des parcs solaires sur les écosystèmes aquatiques sont toutefois en cours d'évaluation ou n'ont pas été évaluées du tout (Grippo et coll., 2015). Les parties prenantes (p. ex., les agriculteurs et les producteurs) devront toutefois être consultées et indemnisées, et une évaluation des coûts et des avantages de la conversion des terres (p. ex., des terres agricoles) à la production d'énergie sera nécessaire (Owley et Morris, 2019). D'autres tactiques d'atténuation pourraient inclure l'association de parcs solaires avec des serres agricoles, ce qui réduirait l'aménagement de terres ou le déplacement de cultures agricoles, ou l'utilisation de cellules photovoltaïques flottantes récemment mises au point qui atténueraient les effets de l'albédo à l'échelle

locale par les centrales solaires terrestres (Hassanien et coll., 2016; Hayibo et Pearce, 2022). Des recherches plus approfondies et l'utilisation d'approches à multiples facettes (p. ex., l'EIE, l'échange de terres et les compensations d'habitat) pourraient contribuer à atténuer davantage les effets cumulatifs des centrales solaires sur les humains et les écosystèmes (Cameron et coll., 2012; Northrup et Wittemyer, 2013; Hernandez et coll., 2019).

L'efficacité des panneaux solaires diminue au fil du temps, ce qui crée des déchets qui peuvent avoir des effets cumulatifs sur l'environnement (Aman et coll., 2015). Les déchets produits peuvent être des matériaux toxiques (p. ex., des matériaux contenant du cadmium, de l'arsenic, du nickel ou du plomb) pouvant être éliminés seulement avec des méthodes, des protocoles et des politiques d'élimination appropriés (Sinha et coll., 2008; Turney et Fthenakis, 2011). Les méthodes d'atténuation pour traiter les déchets toxiques comprennent l'élimination sécuritaire (p. ex., les méthodes de confinement) ou la récupération (p. ex., un acide qui permet de réutiliser les déchets dans la fabrication de cellules photovoltaïques ou de limiter l'incidence des déchets sur l'environnement (Fthenakis et Moskowitz, 1995; Wang et Fthenakis, 2005; Kwak et coll., 2020). Le recyclage et la conservation des matériaux moins toxiques (p. ex., la fibre de verre, le verre, les liquides de refroidissement et les isolants) utilisés dans les cellules photovoltaïques constituent un autre outil d'atténuation viable pour réduire la production de déchets (Polit et coll., 2016; Xu et coll., 2018). Ces matériaux peuvent être utilisés dans le cadre de futures activités industrielles ou pour la production de nouvelles cellules photovoltaïques (Padoan et coll., 2019; Song et coll., 2023; Niekurzak et coll., 2023). L'efficacité des méthodes de recyclage est assez élevée (entre 80 et 95 %), mais les méthodes actuelles ne sont pas rentables à grande échelle et doivent être affinées avant d'être pleinement mises en œuvre (Gerold et Antrekowitsch, 2024). L'utilisation des méthodes, protocoles et politiques existants et l'élaboration de nouveaux outils contribueront à la réduction des déchets produits par les cellules photovoltaïques et les centrales solaires.

3.4.3 Exemples d'effets cumulatifs dans le domaine de l'énergie solaire au Canada et ailleurs

Dans l'ensemble, une approche à volets multiples est nécessaire pour réduire les effets cumulatifs de la production d'énergie solaire sur les humains et l'environnement. Cette approche peut être axée sur la création d'instruments stratégiques qui permettent d'évaluer les répercussions de l'aménagement (p. ex., le défrichage ou la conversion de terres) et de l'entretien des centrales solaires sur un site donné (p. ex., la fragmentation de l'habitat et les effets de l'albédo), de travailler avec de multiples parties prenantes pour construire en toute sécurité les centrales solaires sur des terres déjà défrichées, ainsi que d'élaborer et d'utiliser de meilleures méthodes d'élimination et de recyclage qui mènent finalement à une réduction

des effets cumulatifs des centrales solaires sur les humains et l'environnement (Solangi et coll., 2011.; Hernandez et coll., 2014, 2019).

Le Canada utilise actuellement des cadres réglementaires élaborés et mis en œuvre par des autorités provinciales (p. ex., le ministère de l'Environnement, de la Conservation et des Parcs de l'Ontario) et fédérales (p. ex., le Conseil canadien des ministres de l'environnement) pour évaluer les effets cumulatifs des centrales solaires. Ces cadres exigent des évaluations des effets cumulatifs et des EIE, ainsi que la consultation et la mobilisation des parties prenantes (p. ex., les groupes autochtones ou les agriculteurs) avant la construction des centrales solaires et tout au long de ce processus. Les évaluations portent sur les répercussions possibles et réelles sur l'environnement (c.-à-d. les perturbations du sol, la fragmentation de l'habitat terrestre et les perturbations des eaux souterraines et de surface) et fournissent des recommandations et des exigences en matière d'atténuation (p. ex., la prise en compte de l'emplacement, les clôtures anti-érosion, les protocoles d'élimination et de recyclage des déchets et la plantation de plantes indigènes) à l'intention du promoteur. Même si des évaluations environnementales et des mesures d'atténuation sont mises en œuvre, les données générées (p. ex., sur les modifications de la biodiversité) à partir de ces évaluations d'impact ne sont pas compilées dans des bases de données plus importantes pour évaluer les effets cumulatifs à long terme et les répercussions à grande échelle sur les paysages. Des données empiriques doivent être utilisées pour améliorer les cadres réglementaires afin d'atténuer les effets cumulatifs des centrales solaires. Par conséquent, l'amélioration et la centralisation de la collecte de données (p. ex., en demandant aux entrepreneurs de donner accès aux données brutes ou de verser celles-ci dans des bases de données centralisées) contribueront à la prise de décisions fondées sur des données probantes. En outre, la conception et la recherche des nouveaux outils d'atténuation mentionnés dans les sections précédentes et dans la littérature gouvernementale et universitaire pourraient être mis en œuvre dans les futurs cadres réglementaires. En améliorant les outils d'évaluation et d'atténuation, il est possible de réduire les effets cumulatifs des centrales solaires sur l'environnement et les humains.

3.5 Énergie hydrocinétique en milieu marin

3.5.1 Qu'est-ce que l'énergie hydrocinétique en milieu marin? Croissance propre dans le contexte de l'énergie hydrocinétique en milieu marin

En général, les technologies hydrocinétiques océaniques comprennent les marées (marnage et courant de marée), les vagues, les courants océaniques, la conversion de l'énergie thermique océanique (CETO) et le gradient de salinité (Uihlein et Magagna, 2016). Bien que la production d'énergie marémotrice et houlomotrice ait fait l'objet d'une certaine attention, en raison de la nature « infinie » de

ces ressources (Siddiqui et coll., 2015), de nombreux aspects de ces technologies en sont encore aux premiers stades de développement (Khan et coll., 2009; Johnstone et coll., 2013) ou sont à l'origine de problèmes technologiques et économiques (Segura et coll., 2017). Malgré ces difficultés, il est intéressant d'explorer ces technologies comme moyen d'améliorer la combinaison d'énergies respectueuses du climat, en particulier pour certaines communautés difficiles à atteindre (IRENA, 2020; Jahanshani et coll., 2019; Khojasteh et coll., 2018).

L'énergie marémotrice est créée en exploitant le mouvement des marées créé par les forces gravitationnelles de la Lune et du Soleil (Bilgen, Kaygusuz et Sari, 2004; O'Rourke, Boyle et Reynolds, 2009), ce qui rend l'énergie marémotrice facilement prévisible (Mazumder et Arima, 2005; Owen, 2008). La capacité mondiale installée pour l'énergie marémotrice vient de dépasser les 500 MW, ce qui représente une très faible proportion du réseau énergétique mondial (Yang et coll., 2022), mais le potentiel de l'énergie marémotrice pourrait être d'environ 1 200 TWh (IRENA, 2020). À l'échelle mondiale, il existe très peu de réseaux d'énergie marémotrice en raison du nombre limité d'endroits où la marée est propice à l'installation de technologies d'énergie marémotrice (Onoufriou et coll., 2021; Rahman, Farook et Haque, 2022). Il existe deux technologies qui englobent l'exploitation de l'énergie marémotrice, une impliquant l'exploitation de l'énergie potentielle des marées (marnage) et l'autre, la conversion de l'énergie cinétique créée par les marées (courant de marée; Kempener et Neumann, 2014). Les technologies de marnage sont semblables à celles créées pour les barrages hydroélectriques (Etemadi et coll., 2011; Neill et coll., 2018), car elles doivent être utilisées dans des zones à forte amplitude de marée (Geiser, 2021) et sont fortement limitées par le coût et les répercussions négatives potentielles sur l'environnement (p. ex., Parker, 1993). La technologie des courants de marée utilise des turbines sous-marines pour exploiter le mouvement de l'eau dans les zones de marée (p. ex., Li et Zhu, 2023). Par conséquent, ces technologies sont limitées à des zones comme les chenaux de marée, où les vitesses d'eau élevées pendant le mouvement des marées permettent le fonctionnement des turbines (Polagye et coll., 2010; Cummins, 2012; Define et coll., 2012; Fairley et coll., 2013; Yates et coll., 2013). En outre, il est nécessaire de tenir compte de divers facteurs géographiques et environnementaux qui ont une incidence sur l'efficacité (Connor et coll., 2004) et l'emplacement de la structure de la turbine (Vazquez et Iglesias, 2016; Guillou et Thiebot, 2016).

Les projets d'énergie houlomotrice qui exploitent l'énergie cinétique des vagues superficielles (BOEM, 2018) n'ont pas suscité beaucoup d'intérêt dans l'industrie de l'énergie renouvelable. En effet, on s'est concentré davantage sur l'exploitation de l'énergie éolienne extracôtère (Caine, 2019). Malgré cela, on prévoit que, combinée à l'énergie thermique océanique et à l'énergie des courants océaniques, l'énergie houlomotrice pourrait présenter le plus grand potentiel énergétique au monde, malgré une très

faible capacité installée (Rahman, Farrok et Haque, 2022). Exploiter l'énergie des courants océaniques signifie utiliser la circulation océanique planétaire pour créer de l'énergie (Yang et coll., 2015), tandis que les technologies de conversion de l'énergie thermique océanique (CETO) utilisent les différences de température, plus particulièrement l'évaporation (des eaux chaudes à la surface) et la condensation (au moyen des eaux froides des fonds océaniques) pour faire fonctionner des turbines (à l'aide d'ammoniac) [Rahman, Farrok et Haque, 2022; Giraud et coll., 2019; Parades et coll., 2019; Soukissian et coll., 2017]. Les technologies de CETO sont coûteuses et présentent une faible efficacité, ce qui a limité leur mise au point, bien qu'il semble y avoir un potentiel énergétique élevé pour les centrales de CETO dans le monde (Herrera et coll., 2021). Les technologies utilisant le gradient de salinité mettent à profit l'énergie chimique libérée par un gradient de salinité créé par le passage de l'eau à travers une membrane semi-perméable (osmose) [Haddout et Priya, 2020; Jia et coll., 2014; Alvarez-Silva et coll., 2016; Rahman, Farrock et Haque, 2022]. L'eau qui en résulte est ensuite rejetée dans l'océan (Rahman, Farrock et Haque, 2022). Globalement, même si l'on constate que ces technologies ont le potentiel de produire une quantité importante d'énergie pour alimenter le réseau énergétique mondial, aucune d'elles n'a atteint actuellement un stade de développement permettant d'exploiter activement ce potentiel ni même d'envisager une telle chose comme réalisable.

3.5.2 Effets cumulatifs potentiels de l'énergie hydrocinétique en milieu marin

Les effets cumulatifs ont rarement été pris en compte dans le contexte de l'énergie hydrocinétique en milieu marin. Les évaluations des divers facteurs de stress et récepteurs, comme les répercussions sur les espèces sauvages ou les effets sur les sédiments et l'hydrodynamique, portent rarement sur l'ensemble des effets potentiels. La majorité des connaissances relatives aux répercussions sur l'environnement de l'hydrocinétique en milieu marin provient souvent d'autres types d'exploitation en mer (p. ex., évaluations de projets d'éoliennes extracôtières). Nous pouvons donc aborder, dans le présent rapport, quelques-unes des répercussions potentielles sur l'environnement qui devraient être prises en compte (pour voir des exemples, consultez le tableau 1 de la section Documents complémentaires).

Espèces sauvages marines

Nos connaissances générales relatives aux répercussions sur l'environnement et aux effets cumulatifs associés aux projets d'énergie hydrocinétique en milieu marin proviennent d'autres initiatives de croissance propre. Les répercussions sur les espèces sauvages, y compris les poissons, les mammifères marins, les oiseaux de mer, les tortues de mer et d'autres animaux (p. ex., Tosh, Montgomery et Reid, 2014) comprennent les collisions directes, les déplacements (délogement), les perturbations directes, le

bruit et les champs électromagnétiques (p. ex., Oman, 2022; Boehlert et Gill, 2010; Copping et coll., 2021). Étant donné que les zones intertidales peuvent constituer un important habitat d'alimentation ou de croissance où les organismes se rassemblent en grand nombre, cela augmente le risque (p. ex., Benjamins et coll., 2015; Hastie et coll., 2017) d'interactions directes (p. ex., de collisions avec des turbines sous-marines) et indirectes (p. ex., en raison d'une perte de possibilités d'alimentation attribuable à des obstacles) avec les structures énergétiques marines (Onoufriou et coll., 2019). Les déplacements (mouvement) des poissons (Gonzalez et coll., 2019; Keyser et coll., 2016; Scherelis et coll., 2020; Viehman et Zydlewski, 2015; Whitton et coll., 2020) et leur comportement grégaire (Fraser et coll., 2018, Williamson et coll., 2019) peuvent également être touchés par l'installation de structures. Par exemple, l'usine marémotrice de La Rance, en France, a perturbé les déplacements de certains salmonidés, clupéidés et anguilles (Frid et coll., 2012). De plus, l'ajout de structures pourrait avoir une incidence sur la dynamique proies-prédateurs. En effet, si les espèces proies évitent ces nouvelles structures, cela pourrait avoir d'importantes conséquences sur la communauté de prédateurs. Ce comportement d'évitement pourrait se produire, d'après la recherche sur l'impact environnemental de l'exploitation de l'énergie houlomotrice (Gill, 2005). Il est possible que certaines structures attirent une plus grande diversité d'espèces en raison de l'effet de récif artificiel (Langhamer et coll., 2009) et de la réaction thigmotactique (Brickhill et coll., 2005). Même si l'on peut penser que c'est un aspect positif de l'installation de nouvelles structures pour exploiter l'énergie hydrocinétique en milieu marin, cette contribution positive à la biodiversité a suscité des débats, car, parmi les espèces plus nombreuses, il pourrait y avoir des espèces envahissantes (Bulleri et Airoidi, 2005; Glasby et coll., 2007), ce qui aurait probablement une incidence négative sur d'autres espèces colonisatrices ou indigènes (Langhamer et coll., 2009).

Perturbation du milieu benthique, sédimentation et hydrodynamique

Les structures, comme les turbines marémotrices, peuvent perturber le milieu benthique, puisqu'elles provoquent le mouvement et le dépôt de sédiments (p. ex., Boehlert et Gill, 2010). Les effets de ce type d'installations sont en grande partie inconnus, mais l'on pense que le mouvement des sédiments peut nuire considérablement aux communautés d'invertébrés et, possiblement, à d'autres milieux benthiques, notamment des herbiers de zostères, des coraux et des récifs rocheux (p. ex., Copping et coll., 2021). La construction de grandes structures, comme des barrages à marée ou des turbines marémotrices, peut avoir une grande incidence sur la dissipation de l'énergie des marées et des vagues (p. ex., Neill, Jordan et Couch, 2012; De Dominicis, Wolf et Murray, 2017; Largier et coll., 2008), influant ainsi sur l'amplitude des marées (DeDominicis, Wolf et Murray, 2017; Goss-Custard et coll.,

1991). Les bancs de sable et d'autres structures côtières ont besoin de courants de marée constants et peuvent être perturbés par des ouvrages artificiels (Neill, Jordan et Couch, 2012; Rahman, Farrock et Haque, 2022). Ces perturbations auraient un impact négatif sur les communautés côtières si elles empêchent le déroulement de certains processus écologiques impliquant des espèces essentielles qui peuvent être moins mobiles (Nichols et coll., 1978; Last et coll., 2011), dépendre des courants océaniques pour se déplacer (Boehlert et coll., 2007) ou être moins capables de s'adapter au stress (Burrows, 2012). De même, les projets d'énergie marémotrice peuvent avoir une incidence sur l'hydrodynamique des courants créés par les marées, à savoir sur la vitesse et la direction de l'écoulement de l'eau (du Feu et coll., 2019; Ramos et coll., 2013; Li et coll., 2020). Les effets de ces projets sur l'environnement sont largement inconnus, car peu d'études se sont penchées sur les conséquences à plus grande échelle. Haverson et coll. (2018) ont démontré que des installations marémotrices (neuf convertisseurs) à Ramsay Sound, en Irlande, ont entraîné des changements de vitesse d'écoulement à plus de 24 km du site et ont eu des répercussions sur les bancs de sable locaux situés jusqu'à 12 km plus loin. De plus, l'effet cumulatif de huit installations marémotrices dans la mer d'Irlande a montré que certains projets peuvent avoir une incidence réciproque (plus de détails sont fournis dans l'étude de cas ci-dessous; Haverson et coll., 2017). Bien que les résultats varient, la modélisation, comme celle dans les études susmentionnées, révèle que des effets cumulatifs sont possibles selon divers scénarios, mais cela n'a pas été validé sur le terrain. Ces résultats de modélisation préliminaires mettent en évidence la nécessité de mieux comprendre les effets cumulatifs des projets d'exploitation de l'énergie hydrocinétique en milieu marin sur les sédiments benthiques et l'hydrodynamique à l'échelle locale au moyen de travaux de recherche supplémentaires sur le terrain, car les répercussions réelles de ces projets sont toujours inconnues.

Chimie de l'eau et effluents

Bien qu'aucune étude sur les effets cumulatifs précis n'ait été réalisée, les projets de CETO peuvent perturber la chimie naturelle (Boehlert et Gill, 2010), la température (Levin et coll., 2023; Harrison, 1987) et la turbulence dans les strates océaniques (Boehlert et Gill, 2010; Levin et coll., 2023), car cette technologie utilise l'eau provenant de différentes hauteurs de la colonne d'eau. De même, les effluents provenant de technologies utilisant le gradient de salinité entraîneront le mélange de taux de salinité différents au site de rejet, et les effets sur les organismes marins, les concentrations d'éléments nutritifs et les réseaux trophiques connexes sont inconnus (Seyfried et coll., 2019; Comfort et Vega, 2011). Les technologies de CETO favoriseraient la croissance du phytoplancton, ce qui peut, à son tour, avoir une grande influence sur le flux de carbone sur le fond marin et, potentiellement, perturber les concentrations d'oxygène et de dioxyde de carbone à mi-hauteur de la colonne d'eau (Levin et coll.,

2023). On avance aussi que la perturbation des structures thermiques existantes pourrait avoir une incidence sur le climat, p. ex., la superficie de la nappe glaciaire, la gravité des moussons, les courants El Niño, la remontée des eaux océaniques et les effets de l'albédo (Nickoloff et coll., 2023). Directement, des individus d'espèces marines peuvent être entraînés dans les systèmes de pompage (Comfort et Vega, 2011; Devault et Péné-Annette, 2017), être touchés de façon négative par des fuites de produits chimiques (Devault et Péné-Annette, 2017) et contribuer à l'encrassement biologique (accumulation de certains invertébrés dans les machines), ce qui peut compliquer l'entretien de ce type d'installations marines (Bordbar et coll., 2023). Bien que ces conséquences soient plausibles, étant donné la nature de ces installations, les données probantes sont quasi inexistantes, surtout si l'on tient compte des défis posés par la détermination des effets cumulatifs.

3.5.3 Exemples d'effets cumulatifs de l'énergie hydrocinétique en milieu marin partout au Canada et ailleurs

Le secteur de l'énergie en milieu marin au Canada est petit, et ses activités se déroulent à une échelle régionale (Gouvernement du Canada, s.d.), mais le pays offre parmi les meilleures possibilités pour la réalisation de projets d'énergie hydrocinétique en milieu marin. Par exemple, la baie de Fundy connaît la plus grande amplitude de marées au monde, ce qui se traduit par un vaste potentiel d'énergie marémotrice à exploiter (Nova Scotia Department of Energy and Offshore Energy Environmental Research Association, 2008). Plus de 190 sites marémoteurs potentiels ont été relevés au large des côtes canadiennes, qui pourraient combler plus de 63 % de la consommation totale d'électricité au pays (Gouvernement du Canada, s.d.). La Nouvelle-Écosse a récemment investi activement pour contribuer de façon importante au réseau électrique (Ressources naturelles Canada, 2020). Toutefois, les répercussions sur les espèces sauvages, l'archéologie, le tourisme et les aspects socioéconomiques ne sont pas bien comprises, et l'examen futur des effets cumulatifs de ces projets doit tenir compte, entre autres, de l'extraction de l'énergie, des zones d'exclusion, du nombre de projets d'exploitation, des changements écosystémiques et de la préparation des sites (Nova Scotia Department of Energy and Offshore Energy Environmental Research Association, 2008). Le Canada possède aussi l'un des meilleurs potentiels mondiaux en ce qui concerne l'énergie houlomotrice, avec un potentiel estimé à 37 000 MW et à 146 500 MW au large des côtes du Pacifique et de l'Atlantique, respectivement, mais le manque de renseignements sur l'ensemble des ressources houlomotrices a nui à son développement (Gouvernement du Canada, s.d.) et a donné lieu à des initiatives visant à explorer davantage le potentiel énergétique des vagues, à l'Université de Victoria (Ressources naturelles Canada, s.d.).

À l'échelle mondiale, on ne comprend pas encore très bien les effets cumulatifs de l'énergie hydrocinétique en milieu marin, car peu de données ont été collectées sur les risques de collision, les déplacements (délogement) d'espèces, les changements dans la direction d'écoulement, les changements des processus océanographiques et la disponibilité des ressources alimentaires (Grecian et coll., 2010). La littérature existante décrit ces effets pour d'autres types de projets. De plus, très peu d'EIE ont porté spécifiquement sur des technologies comme celles permettant de convertir l'énergie houlomotrice et marémotrice (Michel et coll., 2007). Comme il a été mentionné précédemment, ces technologies sont encore, en grande partie, à leurs premiers stades de développement. Par conséquent, il y a encore beaucoup d'incertitude entourant leurs répercussions sur l'environnement (Michel et coll., 2007), et donc leurs effets cumulatifs.

Étude de cas : Exploitation de l'énergie marémotrice dans la mer d'Irlande

Dans leur étude, Haverson et coll. (2017) ont modélisé les effets cumulatifs de huit installations marémotrices dans la mer d'Irlande pour comprendre comment de multiples projets d'énergie marémotrice pouvaient influencer sur l'hydrodynamique dans la région. Un modèle initial a permis de déterminer que trois des huit projets pouvaient avoir une incidence réciproque. L'exécution d'un deuxième modèle, à plus petite échelle, a permis de déterminer que, lors d'événements de vagues extrêmes, la combinaison des énergies marémotrice et houlomotrice pouvait réduire l'efficacité des installations marémotrices se trouvant dans la zone d'influence les unes des autres. Finalement, l'étude conclut que l'effet cumulatif des sites marémoteurs les uns sur les autres est faible dans la mer d'Irlande (en termes de perturbation des sédiments et de réduction de l'efficacité), mais reconnaît la nécessité de tenir compte de la distance entre les sites et d'utiliser un plus grand nombre de modèles pour bien comprendre les effets cumulatifs potentiels dans la région.

4.0 Initiatives secondaires de croissance propre

4.1 Transport d'électricité

L'énergie produite par diverses sources doit être transportée du site de production vers le site où elle sera utilisée (Hyde, Bohlman et Valle, 2018), souvent sur de longues distances (Biasotto et Kindel, 2018). Les câbles aériens sont le type de ligne de transport d'électricité le plus souvent utilisé à cette fin, bien que les câbles souterrains puissent être utilisés dans les zones urbaines ou écosensibles (Doukas et coll., 2010). Les projets de transport d'énergie font généralement l'objet d'évaluations environnementales, mais, à ce jour, aucune évaluation des effets cumulatifs n'a été effectuée. Le transport

d'énergie peut avoir des répercussions sur l'environnement pendant les phases de conception, de construction et après la construction des projets (Public Service Commission of Wisconsin, 2012) à la fois localement et à grande échelle (échelle régionale ou mondiale) [DeCicco, Bernow et Beyea, 1992]. Il existe un vaste corpus de données probantes concernant les répercussions sur les espèces sauvages, comme les collisions dans le cas des oiseaux (p. ex., Bevanger et Broseth, 2001; Tere et Parasharva, 2011) et la destruction de l'habitat (p. ex., Silva et coll., 2010; Santiago-Quesada et coll., 2014; Lorant et Valdasz, 2014). De plus, les emprises des lignes de transport doivent être débarrassées de la végétation (Bagli et coll., 2011), ce qui peut créer des effets de barrière (Pruett et coll., 2009; Raab et coll., 2011), des effets de corridor (attribuables à l'aménagement de corridors linéaires) [Rieucan et coll., 2009], des effets de lisière (King et coll., 2009); favoriser la propagation des espèces envahissantes (Lampinen et coll., 2015; Andrews, 1990); et fragmenter l'habitat (Willyard et Tikalsky, 2008). En ce qui concerne les humains, diverses répercussions, notamment les problèmes de santé liés à l'exposition à des champs électromagnétiques (DeCicco, Bernow et Beyea, 1992; Hamza, 2005), les débats sur l'utilisation des terres (Weimers, 1998), l'incidence sur le paysage (Ju et Yoo, 2014; Nuclear Regulatory Commission, 2007), le bruit, les chocs électriques (Nuclear Regulatory Commission, 2007), les conséquences sur les sites historiques ou culturels et d'autres enjeux de sécurité (Public Service Commission of Wisconsin, 2012) ont été explorées, mais les effets sont mis en doute et controversés en raison d'un manque de données probantes. D'autres considérations, principalement pendant les phases de construction, y compris l'érosion, la pollution atmosphérique, la pollution de l'eau, la décomposition accrue due à l'accumulation de biomasse, les fuites de déchets, l'augmentation des émissions de carbone due à la déforestation et l'utilisation de pesticides, sont mentionnées dans certains rapports provenant de partout dans le monde, quoique rarement (United Nations Sustainable Development, s.d.).

4.2 Transport vert

À l'échelle mondiale, l'utilisation de véhicules électriques, plutôt que de véhicules à combustible classique, est considérée comme une façon de réduire notre empreinte environnementale et de vivre de façon plus durable. Le transport vert, ou durable, désigne des moyens de transport, collectifs ou individuels, qui sont respectueux de l'environnement. Ces moyens de transport peuvent être traditionnels comme les voitures, les vélos, les vélos électriques, les autobus, les tramways et les trains. Le transport vert comprend aussi la mise en œuvre des infrastructures nécessaires à son fonctionnement, comme l'aménagement de pistes cyclables, le développement de réseaux de trains et l'installation de bornes de recharge pour véhicules.

Les effets cumulatifs du transport vert demeurent extrêmement peu étudiés. Alors qu'on s'approche des cibles à atteindre pour les véhicules verts, tant individuels que collectifs, on ne sait toujours pas quelle incidence les nouvelles infrastructures auront sur l'environnement. Bien que le transport vert soit principalement associé à des effets positifs, les effets cumulatifs de la production de masse de véhicules électriques soulèvent des préoccupations. Malgré leurs émissions limitées, les véhicules électriques ont des répercussions liées à leur fabrication et à leur élimination (Lave et coll., 1995). La fabrication d'un véhicule électrique et de ses pièces connexes nécessite six fois plus de minéraux critiques qu'une voiture classique (International Energy Agency, 2022). De plus, même si, d'après la littérature, l'augmentation du nombre de véhicules électriques réduit les émissions de CO₂, elle engendre une pollution locale (p. ex., SO₂) associée à des émissions autres que les gaz d'échappement et à des émissions de cheminées liées à la recharge des batteries électriques (Michealek et coll., 2011; Grissom, 2013; Babae et coll., 2014).

Des études ont été réalisées pour comprendre les effets cumulatifs des moyens de transport publics, comme les trains légers et les tramways. En général, les politiques de l'Union européenne sont davantage axées sur la compréhension des extrants, comme les émissions et le bruit, plutôt que sur les effets cumulatifs liés aux intrants, comme les besoins énergétiques, les matériaux nécessaires et l'utilisation des terres (Hille, 1997). Pour déterminer les effets cumulatifs associés aux véhicules électriques en particulier, il faut évaluer l'extraction de matières premières nécessaires à la fabrication, les répercussions associées à la fin de vie utile des véhicules ainsi que la demande accrue sur le réseau électrique (Bohnes et coll., 2017). Par exemple, Bohnes et coll. (2017) ont constaté que les avantages associés aux véhicules électriques dépendaient des caractéristiques locales du réseau électrique. Par conséquent, une consommation accrue dans les régions où les caractéristiques du réseau électrique ne peuvent pas répondre à une telle demande nécessitera des mises à niveau et des améliorations.

4.3 Minéraux critiques

Les minéraux critiques sont la pierre angulaire de nombreuses technologies actuelles de croissance propre au Canada et à l'étranger (Gouvernement du Canada, 2022). Ils sont utilisés dans diverses industries, notamment celles des technologies, de l'agriculture, des transports et de la croissance propre, et peuvent changer en fonction de l'offre et de la demande ou des besoins du moment. À l'heure actuelle, les minéraux critiques couramment utilisés au Canada comprennent, entre autres, le lithium, le nickel, le cobalt et le zinc (Gouvernement du Canada, 2022). Au fil du temps, ainsi que par région, la liste des minéraux critiques peut changer, mais, en général, les minéraux critiques n'ont pas de substituts, sont disponibles en quantité relativement limitée, mais sont concentrés sur le plan de l'extraction

(Gouvernement du Canada, 2022). Les minéraux critiques sont particulièrement importants pour les technologies de croissance propre, car ils sont utilisés dans diverses initiatives liées, entre autres, au transport d'électricité verte, aux éoliennes, aux panneaux solaires et aux semi-conducteurs. Par exemple, le nickel, le cobalt et le lithium sont couramment utilisés dans la construction de véhicules électriques et de leurs batteries (Calvo et Valero, 2021). Compte tenu de l'ampleur de la demande de technologies de croissance propre et de l'objectif de carboneutralité d'ici 2050, l'extraction de minéraux critiques est essentielle (Dou et coll., 2023). Les sources de croissance propre, comme les parcs éoliens et les véhicules électriques, consomment plus de minéraux que les sources classiques, comme les combustibles fossiles (International Energy Agency, 2022). Par exemple, les véhicules électriques utilisent six fois plus de minéraux critiques que les véhicules à combustible (International Energy Agency, 2022).

Comme c'est le cas pour d'autres initiatives de croissance propre, peu de recherches ont été menées sur les effets cumulatifs liés aux minéraux critiques. En général, les répercussions sur l'environnement sont associées à l'extraction de ces minéraux, plus de 50 % des gisements mondiaux étant situés à proximité de zones protégées (Dou et coll., 2023). Les répercussions sur l'environnement de l'extraction de minéraux critiques sont vastes et comprennent la perte d'habitat et de biodiversité attribuable à la construction de mines à ciel ouvert, d'ouvrages de retenue et d'installations de stockage des résidus miniers (Dou et coll., 2023). Une étude menée en Chine a permis d'évaluer les effets cumulatifs d'une mine de charbon à ciel ouvert dans la région de Pingshuo et de constater une diminution de la valeur écologique cumulative de la zone de la mine (Yang et coll., 2022). Les effets cumulatifs sont mentionnés dans la Stratégie canadienne sur les minéraux critiques (2022), mais ils sont abordés dans le contexte des effets cumulatifs sur l'environnement en ce qui concerne la protection des peuples et des communautés autochtones. La plupart des activités d'extraction et d'exploitation des minéraux critiques sont réalisées sur des terres autochtones partout dans le monde et, outre les répercussions sur l'environnement, il faut évaluer les effets cumulatifs de l'extraction des minéraux critiques et élargir le concept afin d'inclure la compréhension des effets sociaux et culturels. De plus, on observe également des problèmes liés à la répartition mondiale des minéraux critiques, car bon nombre d'entre eux sont très présents dans les pays en développement de l'Afrique, de l'Amérique du Sud et de l'Asie (Dou et coll., 2023). Dans de nombreux cas, les avantages économiques l'emportent sur les effets sociaux, culturels ou environnementaux associés à l'extraction et à la transformation des minéraux (Dou et coll., 2023).

5.0 Synthèse et recommandations

Globalement, les effets cumulatifs des initiatives de croissance propre demeurent généralement peu étudiés pour la plupart des initiatives primaires et secondaires mentionnées dans le présent examen, voire pour toutes. Cette tendance était évidente dans les articles scientifiques et les documents gouvernementaux publiés au Canada, mais aussi à l'échelle internationale. En général, toutes les initiatives de croissance propre nécessitent un corpus de données probantes plus substantiel pour qu'on puisse comprendre les effets cumulatifs associés à chaque type de projet d'infrastructure. C'est particulièrement vrai pour les technologies plus anciennes. En ce qui concerne les technologies plus récentes, comme celle de l'énergie hydrocinétique en milieu marin, les exemples de cas où les effets cumulatifs propres aux projets ont été pris en compte dans les évaluations environnementales sont plus nombreux.

La présente synthèse met en évidence les défis auxquels chaque initiative de croissance propre fait face puisqu'il faut comprendre les effets cumulatifs associés à chaque type d'infrastructure. Il est particulièrement difficile de comprendre les effets cumulatifs en raison de leur grande portée dans l'espace et le temps et de la nécessité de prévoir comment les répercussions changeront à l'avenir en fonction des conditions du moment (Tricker, 2007). Le défi est encore plus grand lorsqu'on évalue les effets cumulatifs sur des échelles temporelles et spatiales variables, car ces effets s'additionnent (p. ex., les émissions de dioxyde de carbone au fil des siècles; Tricker, 2007). Tous les projets auront des répercussions à court et à long terme qui se produiront à diverses échelles spatiales. Par exemple, des répercussions pourraient être immédiates (p. ex., perte d'habitat, perturbation du sol, mortalité), tandis que d'autres pourraient être observées à long terme (p. ex., déclin des populations lié à la mortalité, à la perte d'habitat). De plus, il est extrêmement difficile de comprendre comment ces répercussions deviendront des effets cumulatifs puisqu'il s'agit de projets de croissance propre qui sont nouveaux ou qui n'ont pas encore été mis en œuvre dans cet environnement.

Outre les effets cumulatifs sur l'environnement, les initiatives de croissance propre peuvent entraîner de nombreuses répercussions, notamment des effets sociaux et sanitaires. Les effets cumulatifs sur les plans culturel et social sont largement sous-représentés dans les évaluations des effets cumulatifs (Larsen et coll., 2018). Traditionnellement, les évaluations des effets cumulatifs ne tenaient pas compte des répercussions sociales, l'accent étant davantage sur les effets environnementaux (p. ex., sur l'air, l'eau, le sol, et sur la pollution; Want et coll., 2003). Par exemple, l'implantation d'une centrale hydroélectrique sur la rivière de la Paix dans le nord de la Colombie-Britannique entraînerait la perte de

terres traditionnelles des Premières Nations de Blueberry River (Gialason et Andersen, 2016). Étant donné que ces terres sont importantes à la fois sur le plan écologique et social (p. ex., habitat nécessaire et terrain de chasse à l'orignal, au wapiti, au caribou et à l'ours), le projet proposé pourrait entraîner divers effets cumulatifs, qui ne seraient pas seulement centrés sur l'environnement. De plus, les communautés autochtones et les Premières Nations sont particulièrement susceptibles d'être touchées par les effets cumulatifs. Par exemple, environ 73 % des perturbations (résultant d'activités industrielles) du barrage du site C de BC Hydro sont survenues à moins de 250 à 500 m du territoire des Premières Nations de Blueberry River dans le nord de la Colombie-Britannique (Gialason et Andersen, 2016). Des répercussions semblables sur les terres des Premières Nations sont également observées à l'échelle internationale. Les effets cumulatifs associés à l'exploitation minière et à ses infrastructures connexes ont eu une grande incidence sur les terres traditionnelles des Samis, un peuple d'éleveur de rennes, de chasseurs et de pêcheurs, dans le nord de la Suède (Larsen et coll., 2018). Ces répercussions touchent l'environnement, mais aussi les liens culturels et l'identité sociale. De plus, les répercussions associées à l'extraction de minéraux critiques sont aggravées, car les terres samies sont également utilisées dans le cadre d'autres projets de croissance propre, comme l'énergie éolienne, ce qui entraîne la fragmentation du paysage (Kivinen et coll., 2012). Il est nécessaire de comprendre comment les répercussions de multiples projets interagissent entre elles ainsi que de comprendre les interactions entre les aspects environnementaux, sociaux et culturels, pour mettre en place des pratiques exemplaires d'évaluation des effets cumulatifs liés aux activités de croissance propre.

Nous formulons les recommandations suivantes en vue d'améliorer le corpus de données probantes pour s'assurer que les effets cumulatifs sont adéquatement pris en compte dans les évaluations d'impact liées au secteur émergent de la croissance propre.

- **Investir dans le suivi à long terme des technologies de croissance propre.** De nombreux projets de croissance propre portent sur des technologies émergentes pour lesquelles le corpus de données probantes est relativement petit, de sorte qu'un suivi à long terme est nécessaire pour enrichir ce corpus. De plus, il est possible que des répercussions associées aux effets cumulatifs ne se manifestent pas immédiatement, ce qui souligne l'importance du suivi à long terme.
- **S'assurer que l'on collecte des données de référence adéquates pour mettre en contexte les répercussions potentielles.** Sans données de référence adéquates, il est difficile de déterminer si des répercussions se sont produites et de quelle manière elles contribuent aux effets cumulatifs. Il est préférable d'obtenir des données de référence dans le cadre d'études préalables (avant les répercussions), mais ces données peuvent également être obtenues en parallèle au moyen de

systèmes de référence appropriés. En fait, la réalisation d'études d'impact de type avant-après (selon l'approche BACI) est l'un des moyens les plus efficaces de déterminer si des effets cumulatifs se sont produits (Foley et coll., 2017).

- **Veiller à ce que les évaluations d'impact soient à l'épreuve du temps en établissant des prévisions sur la façon dont les effets cumulatifs se manifesteront dans un monde en évolution.** En raison d'autres changements environnementaux liés aux activités humaines, qui peuvent être entièrement indépendants des technologies de croissance propre, il est possible que les répercussions changent au fil du temps. Par exemple, les changements climatiques pourraient amplifier les répercussions à l'avenir. Par conséquent, il faut utiliser des scénarios pour prévoir les répercussions futures (Greig et Duinker, 2007). Qui plus est, tout effort visant à atténuer (ou à compenser) les répercussions de la croissance propre doit être à l'épreuve du temps pour s'assurer qu'il continue d'être efficace à l'avenir (Rehman et Ryan, 2018).
- **Adopter une terminologie uniforme pour la recherche portant sur les effets cumulatifs et les technologies de croissance propre.** On sait, depuis un certain temps, que la terminologie utilisée dans les évaluations des effets cumulatifs n'est pas uniforme (Judd et coll., 2015). Le même problème touche le secteur de la croissance propre (les termes variés pour désigner l'énergie propre, la croissance écologique, etc.). Afin de permettre aux chercheurs et aux praticiens de trouver des publications pertinentes et pour s'assurer qu'ils comparent des choses équivalentes, il faut adopter une terminologie uniforme à la fois pour les effets cumulatifs et la croissance propre.
- **Utiliser des indicateurs et paramètres variés pour permettre une compréhension approfondie des répercussions.** Les effets cumulatifs sont fondamentalement difficiles à étudier et peuvent facilement passer inaperçus si des indicateurs, ou des paramètres, inappropriés ou insuffisants sont utilisés (Canter et Atkinson, 2011). L'utilisation de toute une gamme d'indicateurs et de paramètres couvrant plusieurs systèmes, disciplines et domaines (p. ex., sociétal, écologique) est encouragée pour s'assurer qu'il est possible de détecter les effets cumulatifs.
- **Considérer les évaluations des effets cumulatifs d'une activité de croissance propre donnée dans un contexte plus large, qui n'est pas isolé dans l'espace ou dans le temps.** Souvent, les évaluations des effets cumulatifs ne tiennent pas compte du « paysage » global et supposent que les répercussions sont isolées dans l'espace ou dans le temps ou les deux (Canter et Ross, 2010). Les évaluations devraient prendre en compte un ensemble élargi de répercussions potentielles qui pourraient se faire sentir en dehors des limites spatiales et temporelles présumées.
- **Établir des pratiques exemplaires pour évaluer les effets cumulatifs des projets de croissance propre.** Les praticiens responsables de la supervision ou de la réalisation

d'évaluations des effets cumulatifs ont besoin de pratiques exemplaires particulières aux projets de croissance propre. Toutefois, il existe relativement peu d'évaluations effectuées d'une manière permettant d'établir la « norme d'excellence ». Il faut redoubler d'efforts pour élaborer et mettre à l'essai des pratiques exemplaires.

- **Cerner et communiquer les exemples de réussite où les effets cumulatifs ont été inclus dans les évaluations d'impact effectuées pour des projets de croissance propre.** À bien des égards, c'est l'objectif du présent rapport. Comme précisé plus haut, nous avons cerné des exemples de cas où des évaluations des effets cumulatifs ont été effectuées pour des projets de croissance propre. Toutefois, il est rare que ces exemples (ou études) comprennent des évaluations a posteriori véritablement représentatives, qui tiennent compte de ce qui a fonctionné et de ce qui n'a pas fonctionné. Il est nécessaire de communiquer davantage les réussites, les échecs et les leçons apprises pour aider à élaborer ou à peaufiner les pratiques d'évaluation des effets cumulatifs des projets de croissance propre.
- **Financer la recherche pour faire progresser la science et les pratiques en matière d'effets cumulatifs dans le contexte des évaluations d'impact pour les projets de croissance propre.** Il faut prévoir un financement réservé à la réalisation d'évaluations des effets cumulatifs à long terme exhaustives pour un éventail de projets de croissance propre. Le financement devrait être accordé principalement aux évaluations qui intègrent certains des principes de pratiques exemplaires décrits dans les recommandations du présent rapport, afin de s'assurer que le corpus de données probantes est enrichi par les meilleures connaissances scientifiques possibles.

Le fait de ne pas prendre en compte les effets cumulatifs pendant les premières phases de projets de croissance propre pourrait nuire à la capacité d'atteindre les objectifs et de produire les avantages environnementaux et socioéconomiques promis par le mouvement en faveur de la croissance propre. L'intégration des recommandations susmentionnées devrait permettre de réaliser des évaluations des effets cumulatifs plus complètes pour les activités de croissance propre.

Bibliographie

Fifty Years of Nuclear Power - The Next Fifty Years, 2004, Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne.

Abbasi S.A. et N. Abbasi. « The likely adverse environmental impacts of renewable energy sources », *Applied Energy*, vol. 65 (2000), p. 121-144. [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(99\)00077-X](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(99)00077-X)

Abbasi, T., et S.A. Abbasi. « Small hydro and the environmental implications of its extensive utilization », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, n° 4 (2011), p. 2134-2143.

Agence canadienne d'évaluation environnementale (ACEE). *Document de référence : Évaluer les effets environnementaux cumulatifs*, 2012. Accessible à l'adresse : <http://www.ceaa-acee.gc.ca/default.asp?lang=Fr&n=9742C481-1&offset=1&toc=show>.

Agence canadienne d'évaluation environnementale. *Éléments de base de l'évaluation environnementale en vertu de la Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* (2012), 2014, Canada.ca. <https://www.canada.ca/fr/agence-evaluation-impact/services/politiques-et-orientation/elements-base-evaluation-environnementale.html>

Agence d'évaluation d'impact du Canada. *Évaluation régionale en vertu de la Loi sur l'évaluation d'impact*, 11 mars 2021. <https://www.canada.ca/fr/agence-evaluation-impact/services/politiques-et-orientation/evaluations-regionales-strategiques/evaluation-regionale-la-loi-evaluation-impact.html>.

Agence d'évaluation d'impact du Canada. *Cadre stratégique pour l'évaluation stratégique en vertu de la Loi sur l'évaluation d'impact*, 9 mars 2022. <https://www.canada.ca/fr/agence-evaluation-impact/services/politiques-et-orientation/cadre-strategique-evaluation-strategique.html>.

Ahmad, M. et B.H. Khan. « Design and Evaluation of Solar Inverter for Different Power Factor Loads », *Energy and Power Engineering*, (2012). <https://doi.org/10.4236/epe.2012.45042>

Allison, T.D., J.E. Diffendorfer, E.F. Baerwald, J.A. Beston, D. Drake, A.M. Hale, C.D. Hein, M.M. Huso, S.R. Loss, J.E. Lovich, M.D. Strickland, K.A. Williams et V.L. Winder. *Impacts to wildlife of wind energy siting and operation in the United States*, Issues in Ecology, Report No. 21 (2019).

Alvarez-Silva, O.A., A.F. Osorio et C. Winter. « Practical global salinity gradient energy potential », *Renewable and Sustainable Energy Review*, vol. 60 (2016), p. 1387-1395.

Aman M.M., K.H. Solangi, M.S. Hossain et coll. « A review of Safety, Health and Environmental (SHE) issues of solar energy system », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41 (2015), p. 1190-1204. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.086>

Anderson, D., H. Moggridge, P. Warren et J. Shucksmith. « The impacts of 'run-of-river' hydropower on the physical and ecological condition of rivers », *Water and Environment Journal*, vol. 29, n° 2, (2015), p. 26-276.

Andrews, A. « Fragmentation of habitat by roads and utility corridors: a review », *Australian Zoologist*, vol 26 (1990), p. 130-141. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(92\)90726-4](https://doi.org/10.1016/0006-3207(92)90726-4)

Angel J.R., C. Swanson, B.M. Boustead et coll. Chapitre 21, « Midwest, Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: The Fourth National Climate Assessment », volume II, dans *Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: The Fourth National Climate Assessment*. U.S. Global Change Research Program, 2018.

Arnett, E.B., W.K. Brown, W.P. Erickson, J.K. Fiedler, B.L. Hamilton, T.H. Henry, A.Jain, G.D. Johnson, J. Kerns, R.R. Koford, C.P. Nicholson, L.T.J. O'Connell, M.D. Piorkowski et R.D. Tandkersly. « Patterns of Bat Fatalities at Wind Energy Facilities in North America », *The Journal of Wildlife Management*, vol. 72, n° 1 (2008), p. 61-78. <https://doi.org/10.2193/2007-221>

Arnett, E.B., G.D Johnson, W.P. Erickson et C.D. Hein. *A synthesis of operational mitigation studies to reduce bat fatalities at wind energy facilities in North America*, rapport présenté au National Renewable Energy Laboratory, Bat Conservation International, Austin, Texas, États-Unis, 2013.

Association canadienne de l'énergie renouvelable. *En chiffres*, 2023.

<https://renewablesassociation.ca/fr/en-chiffres/>

Baerwald, E.F., G.H. D'Amours, B.J. Klug et R.M.R. Barclay. « Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines », *Current Biology*, vol. 18 (2009), p. R695-R696.

Bagli, S., D. Geneletti et F. Orsi. « Routing of power lines through least-cost path analysis and multicriteria evaluation to minimise environmental impacts », *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 31 (2011), p. 234-239.

Bahar H., Y. Abdelilah, T. Criswell et coll. *Renewables 2022: Analysis and forecast to 2027*, International Energy Agency (2023).

Bain, C.G., A. Bonn, R. Stoneman, S. Chapman, A. Coupar, M. Evans, B. Geary, M. Howat, H. Joosten, C. Keenleyside, J. Labadz, R. Lindsay, N. Littlewood, P. Lunt, C.J. Miller, A. Moxey, H. Orr, M. Reed, P. Smith, V. Swales, D.B.A. Thompson, P.S. Thompson, R. Van de Noort, J.D. Wilson et R. Worrall. *IUCN UK Commission of Inquiry on Peatlands*, IUCN UK Peatland Programme, 2011.

Bakken, T. H., A. G. Aase, D. Hagen, H. Sundt, D. N. Barton et P. Lujala. « Demonstrating a new framework for the comparison of environmental impacts from small- and large-scale hydropower and wind power projects », *Journal of Environmental Management*, vol. 140 (2014), p. 93-101.

Band, W., M. Madders et D.P. Whitfield. « Developing field and analytical methods to assess avian collision risk at windfarms », *Birds and Wind Farms*, M. De Lucas, G. Janss et M. Ferrer, (éd.), 2007.

Barbir F., T.N. Veziroğlu et H.J. Plass. « Environmental damage due to fossil fuels use », *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 15 (1990), p. 739-749. [https://doi.org/10.1016/0360-3199\(90\)90005-J](https://doi.org/10.1016/0360-3199(90)90005-J)

Başkaya, Ş., E. Başkaya et A. Sari. « The principal negative environmental impacts of small hydropower plants in Turkey », *African Journal of Agricultural Research* 6 (2011).

Beck, M., D. Drummond et S. Elgie. *Optimizing Canada's policy toolbox for clean growth*, Options politiques, 2023. Accessible à l'adresse : <https://policyoptions.irpp.org/magazines/february-2023/clean-growth-toolbox/>.

Benjamins, S., A.C. Dale, G.D. Hastie, J.J. Waggitt, M.A. Lea, B. Scott et B. Wilson. « Confusions reigns? A review of marine megafauna interactions with tidal-stream environments », *Oceanography and Marine Biology*, revue annuelle, vol. 53 (2015), p. 1-54.

Bennun, L., J. van Bochove, C. Ng, C. Fletcher, D. Wilson, N. Phair, G. Carbone. *Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development. Guidelines for project developers*, Gland, Suisse : IUCN et Cambridge, Royaume-Uni : The Biodiversity Consultancy, 2021.

Bérubé, M. « Cumulative effects assessments at Hydro-Québec: what have we learned? », *Impact Assessment and Project Appraisal*, vol. 25, n° 2 (2007), p. 101-109.

Bevanger K. et H. Broseth. « Bird collisions with power lines-an experiment with ptarmigan », *Biological Conservation*, vol. 99 (2001), p. 341-346.

Biasotto, L. D. et A. Kindel. « Power lines and impacts on biodiversity: A systematic review », *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 71 (2018), Elsevier Inc, p. 110-119.
<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.04.010>

Bilgen S, K. Kaygusuz et A. Sari. « Renewable energy for a clean and sustainable future », *Energy Sources*, vol. 26, n° 12 (2004), p. 1119-1129.

Bilotta, G. S., N. G. Burnside, J. C. Gray et H. G. Orr. « The Effects of Run-of-River Hydroelectric Power Schemes on Fish Community Composition in Temperate Streams and Rivers », *PLOS ONE*, vol. 11, no 5 (2016), e0154271.

Black G.A., F. Aydogan et C.L Koerner. « Economic viability of light water small modular nuclear reactors: General methodology and vendor data », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 103 (2019), p. 248-258. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.041>

Blois .JL., P.L. Zarnetske, M.C. Fitzpatrick et S. Finnegan. « Climate Change and the Past, Present, and Future of Biotic Interactions », *Science*, vol. 341 (2013), p. 499-504.
<https://doi.org/10.1126/science.1237184>

Boehlert G.W. et A.B. Gill. « Environmental and ecological effects of ocean renewable energy development: a current synthesis », *Oceanography*, vol. 23, n° 2 (2010), p. 68-81.

Boehlert W.G., G.R. McMurray, C.E. Tortorici. *Ecological Effects of Wave Energy Development in the Pacific Northwest*, A Scientific Workshop, 11 et 12 octobre 2007, NOAA Technical Memorandum NMFS-F/SPO-92; 2007.

- BOEM. *Renewable energy on the outer continental shelf*, Bureau of Ocean Energy Management, 2018.
- Bolin K., G. Bluhm, G. Eriksson et M.E. Nilsson. « Infrasound and Low Frequency Noise from Wind Turbines: Exposure and Health Effects », *Environmental Research Letters* 6 035103, (2011).
- Bonnell, S. et K. Storey. « Addressing Cumulative Effects Through Strategic Environmental Assessment: A Case Study of Small Hydro Development in Newfoundland, Canada », *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, vol. 2, n° 4 (2000), p. 477-499.
- Bordbar, A., K. Georgoulas, Y.M. Dai, S. Michele, F. Roberts, N. Carter et Y.C. Lee. « Waterbodies thermal energy based systems interactions with marine environment - A review », *Energy Reports*, vol. 9 (2023), Elsevier Ltd, p. 5269-5286. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.04.352>
- Bracken, F. S. A. et M. C. Lucas. « Potential Impacts of Small-Scale Hydroelectric Power Generation on Downstream Moving Lampreys », *River Research and Applications*, vol. 29, n° 9 (2013), p. 1073-1081.
- Bradbury, G., M. Trinder, B. Furness, A.N. Banks, R.W.G. Caldow et D. Hume. « Mapping Seabird Sensitivity to Offshore Wind Farms », *PIOS ONE*, vol. 9, n° 9 (2014), e106366.
- Bratt D. « SMRs in Canada: federal-provincial cooperation in pursuing net-zero emissions », *Canadian Foreign Policy Journal*, vol. 28 (2022), p. 305-320. <https://doi.org/10.1080/11926422.2022.2116063>
- Breeze, P. *Hydropower*. Academic Press, 2018.
- Brickhill, M.J., S.Y. Lee et R.M. Connolly. « Fish associated with artificial reefs: attributing changes to attraction or production using novel approaches », *Journal of Fish Biology*, vol. 67 (2005), p. 53-71.
- Brignon, J.-M., M. Lejart, M. Nexer, S. Michel, A. Quentric et L. Thiebaud. « A risk- based method to prioritize cumulative impacts assessment on marine biodiversity and research policy for offshore wind farms in France », *Environmental Science and Policy*, vol. 128 (2021), p. 264-276.
- Brinkmann L. et D.J. Rowan. « Vulnerability of Canadian aquatic ecosystems to nuclear accidents », *Ambio*, vol. 47 (2018), p. 585-594. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0995-6>
- Buchheit K.L. et J.D. Smith. « Production Possibilities of a Sustainable Coal, Wind, and Small Modular Reactor Hybrid Energy System », *Energy Fuels*, vol. 32 (2018), p. 10864-10878. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.8b02186>
- Bulleri F. et L. Airoidi. « Artificial marine structures facilitate the spread of a non-indigenous green alga, *Codium fragile* ssp tomentosoides, in the north Adriatic Sea », *Journal of Applied Ecology*, vol. 42 (2005), p. 1063-1072.
- Bureau of Ocean Energy Management. *National Environmental Policy Act Documentation for Impact-Producing Factors in the Offshore Wind Cumulative Impacts Scenario on the North Atlantic Outer Continental Shelf*, 2019. www.boem.gov

Bureau of Ocean Energy Management. *National Environmental Policy Act Documentation for Impact-Producing Factors in the Offshore Wind Cumulative Impact Scenario on the South Atlantic Outer Continental Shelf*, 2020. www.boem.gov

Burgherr P. et S. Hirschberg. « Comparative risk assessment of severe accidents in the energy sector », *Energy Policy*, vol. 74 (2014), p. S45–S56. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.01.035>

Burrows M.T. « Influences of wave fetch, tidal flow and ocean colour on subtidal rocky communities », *Marine Ecology Progress Series 445* (2012), p. 193-207.

Cada, G. F. et C. T. Hunsaker. « Cumulative impacts of hydropower development: Reaching a watershed in impact assessment », *Environ. Profess.*, vol. 12, n° 1 (1990), p. 2-8.

Caine, C. A. « The Race to the Water for Offshore Renewable Energy: Assessing Cumulative and In-combination Impacts for Offshore Renewable Energy Developments », *Journal of Environmental Law*, vol. 32, n° 1 (2020), p. 83-109. <https://doi.org/10.1093/jel/eqz031>

Cameron D.R., B.S. Cohen, S.A. Morrison. « An Approach to Enhance the Conservation-Compatibility of Solar Energy Development », *PLOS ONE* (2012) 7:e38437. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038437>

Canter, L. et B. Ross. « State of practice of cumulative effects assessment and management: the good, the bad and the ugly », *Impact Assessment and Project Appraisal*, vol. 28 (2010), p. 261-268.

Canter, L.W. et S.F. Atkinson. « Multiple uses of indicators and indices in cumulative effects assessment and management », *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 31 (2011), p. 491-501.

Carette, M., J.A. Sanchez-Zapata, J.R. Benitez, M. Lobon, F. Montoya et J.A. Donazar. « Mortality at wind-farms in positively related to large scale distribution and aggregation in griffon vultures », *Biological Conservation*, vol. 45 (2012), p. 102-108.

Carless T.S., W.M. Griffin, P.S. Fischbeck. « The environmental competitiveness of small modular reactors: A life cycle study », *Energy*, vol. 114 (2016), p. 84-99.

Chock R.Y., B. Clucas, E.K. Peterson et coll. « Evaluating potential effects of solar power facilities on wildlife from an animal behavior perspective », *Conservation Science and Practice*, vol. 3 (2021), e319. <https://doi.org/10.1111/csp2.319>

Choppin G. et Y. Ridberg. *Nuclear chemistry*, 1984.

Cocklin, C., S. Parker et J. Hay. « Notes on Cumulative Environmental Change I: Concepts and Issues », *Journal of Environmental Management*, vol. 35, n° 1 (1992), p. 31-49. doi: 10.1016/S0301-4797(05)80126-4

Colby W.D., M.D.R. Dobie, G. Leventhall, D.M. Lipscomb, R.J. McCunney, M.T. Seilo et B. Søndergaard. *Wind turbine sound and health effects: an expert panel review*, 2009.

Comfort, C. M. et L. Vega. « Environmental assessment for ocean thermal energy conversion in Hawaii: Available data and a protocol for baseline monitoring », *OCEANS'11 - MTS/IEEE Kona*, Program Book, 2011. <https://doi.org/10.23919/oceans.2011.6107210>

Commission européenne. *Guidelines for the Assessment of Indirect and Cumulative Impacts as well as Impact Interactions*, 1999. <http://europa.eu.int/comm/environment/pubs/home.htm>

Connor D.W., J.H. Allen, N. Golding, K.L. Howell, L.M Lieberknecht, K.O. Northen et coll. *The marine habitat classification for Britain and Ireland. Version 04.05*, JNCC, Peterborough, ISBN 1861 07561 8, 2004.

Cooper, L.M. et W.R. Sheate. « Cumulative Effects Assessment: A Review of UK Environmental Impact Statements », *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 22, n° 4 (2002), p. 415-439. Doi : 10.1016/S0195-9255(02)00010-0

Copping, A. E., L.G. Hemery, H. Viehman, A.C. Seitz, G.J. Staines et D.J. Hasselman. « Are fish in danger? A review of environmental effects of marine renewable energy on fishes », *Biological Conservation*, vol. 262, (2021), Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109297>

Cormier, R., V. Stelzenmüller, I.F. Creed, J. Igras, H. Rambo, U. Callies et L.B. Johnson. « The science-policy interface of risk-based freshwater and marine management systems: from concepts to practical tools », *Journal of Environmental Management*, vol. 226 (2018), p. 340-346.

Couto, T. B. et J. D. Olden. « Global proliferation of small hydropower plants – science and policy », *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 16, n° 2 (2018), p. 91-100.

Crain, C. M., K. Kroeker et B.S. Halpern. « Interactive and Cumulative Effects of Multiple Human Stressors in Marine Systems », *Ecology Letters*, vol 11, no 12 (2008), p. 1304-1315. Doi : 10.1111/j.1461-0248.2008.01253.x

Croll, D. A., A.A. Ellis, J. Adams, A.S.C.P. Cook, S. Garthe, M.W. Goodale, C.S. Hall, E. Hazen, B.S. Keitt, E.C. Kelsey, J.B. Leirness, D.E. Lyons, M.W. McKown, A. Potiek, K.R. Searle, F.H. Soudijn, R.C. Rockwood, B.R. Tershy, M. Tinker et K. Zilliacus. « Framework for assessing and mitigating the impacts of offshore wind energy development on marine birds », *Biological Conservation*, vol. 276 (2022), Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109795>

Crutzen, P.J. et E.F. Stoermer. « The Anthropocene », *IGBP Global Change Newsletter*, n° 41 (2000), p. 17-18.

Crutzen, P.J. « Geology of mankind », *Nature*, n° 415 (2002), p. 23. <https://doi.org/10.1038/415023a>

Cryan, P.M. et R.M.R. Barclay. « Causes of bat fatalities at windfarms: hypotheses and predictions », *Journal of Mammalogy*, vol. 90 (2009), p. 1330-1340.

Cryan, P.M. « Mating behaviour as a possible cause of bat fatalities at wind turbines », *Journal of Wildlife Management*, vol. 72 (2008), p. 845-849.

Cummins P.F. « On the extractable power from a tidal channel », *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Asce, vol. 138 (2012), p. 63-71.

Dai K., A. Bergot, C. Liang, W.N. Xiang et Z. Huang. « Environmental issues associated with wind energy—a review », *Renewable Energy*, vol. 75 (2015), p. 911-921.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.074>

Dale, G., M.V. Mathai et J.A.P. de Oliveira, J. A. P. (éd.). « Green Growth: Ideology, Political Economy and the Alternatives », Londres, Zed Books, 2017.

Dales, J.T. « Death by a thousand cuts: incorporating cumulative effects in Australia's Environmental Protection and Biodiversity Conservation Act », *Pacific Rim Law and Policy Journal*, vol. 20 (2011), p. 149-178.

David, J.A. « Likely Sensitivity of Bottlenose Dolphins to Pile-Driving Noise », *Water and Environment Journal*, vol. 20 (2006), p. 48-54.

de Baan L., C.L. Mutel, M. Curran et coll. « Land use in life cycle assessment: global characterization factors based on regional and global potential species extinction », *Environmental Science and Technology*, vol. 47 (2013), p. 9281-9290.

de Dominicis, M., R.O.H. Murray et J. Wolf. « Extracting energy from tidal currents: the ocean response at multiple space and time scales », 2017.

de Lucas, M., G.F.E Janss et M. Ferrer. « The effects of a wind farm on birds in a migration point: the Strait of Gibraltar », *Biodiversity and Conservation*, vol. 13 (2004), p. 395-407.

Decicco, J. M., S.S. Bernow et J. Beyea. « Environmental concerns regarding electric power transmission in North America », 1992.

Defne Z., K.A. Haas, H.M. Fritz, L. Jiang, S.P. French, X. Shi et coll. « National geodatabase of tidal stream power resource in USA », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16 (2012), p. 3326-3338.

Desholm M. et J. Kahlert. « Avian collision risk at an offshore wind farm », *Biology Letters*, vol. 1 (2005), p. 296-298.

Devault, D.A. et D. Péné-Annette. « Analysis of the environmental issues concerning the deployment of an OTEC power plant in Martinique », *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24 (2017), p. 25582-25601.

Dias P.R., M.G. Benevit et H.M. Veit. « Photovoltaic solar panels of crystalline silicon: Characterization and separation », *Waste Management and Research*, vol. 34 (2016), p. 235-245.
<https://doi.org/10.1177/0734242X15622812>

Doelle M. et R. Critchley. « The role of strategic environmental assessments in improving Scotia », *Revue internationale de droit et politique du développement durable de McGill*, vol. 11 (2015), p. 87-114.

Doukas, H., C. Karakosta, A. Flamos et J. Psarras. « Electric power transmission: An overview of associated burdens », *International Journal of Energy Research*, vol. 35, n° 11 (2011), p. 979-988. <https://doi.org/10.1002/er.1745>

Drewitt, A.L. et R.H.W. Langston. « Collision effects of wind-power generators and other obstacles on birds », *Year in Ecology and Conservation Biology*, vol. 1134 (2008), p. 233-266.

du Feu, R. J., S.W. Funke, S.C. Kramer, J. Hill et M.D. Piggott. « The trade-off between tidal-turbine array yield and environmental impact: A habitat suitability modelling approach », *Renewable Energy*, vol. 143 (2019), p. 390-403. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.141>

Duinker, P. N., E.L. Burbidge, S.R. Boardley et L.A. Greig. « Scientific Dimensions of Cumulative Effects Assessment: Toward Improvements in Guidance for Practice », *Dossiers environnement*, vol. 21, n° 1 (2013), p. 40-52. doi: 10.1139/er-2012-0035

Dunstan, P.K., J.M. Dambacher, K. Thornborough, N. Marshall et R. Stuart-Smith. *Technical Report describing Guidelines for analysis of cumulative impacts and risks to the Great Barrier Reef (Part 1)*, 2020.

Dürr, T. et L. Bach. « Bat deaths and wind turbines - a review of current knowledge and the information available in the database for Germany », *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz*, vol. 7 (2004), p. 253-264.

Dutta, N. *Recurring issues and concerns in wind energy project Environmental Assessments: analysis of western Canada*, 2020.

Dutta, N., B. Noble, G. Poelzer et K. Hanna. « From Project Impacts to Strategic Decisions: Recurring Issues and Concerns in Wind Energy Environmental Assessments », *Environmental Management*, vol. 68, n° 4 (2021), p. 591-603. <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01518-2>

Dykes, A.P. et P. Jennings. « Peat slope failures and other mass movements in western Ireland, August 2008 », *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, vol. 44 (2011), p. 5-16.

Eftestøl, S., D. Tsegaye, K. Flydal et J.E. Colman. « Effects of Wind Power Development on Reindeer: Global Positioning System Monitoring and Herders' Experience », *Rangeland Ecology and Management*, vol. 87 (2023), p. 55-68. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2022.11.011>

Environnement et Changement climatique Canada. *Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques*, 2016. Accessible à l'adresse : <https://www.canada.ca/fr/services/environnement/meteo/changementsclimatiques/cadre-pancanadien/plan-changement-climatique.html>.

Environnement Canada. *Protocoles recommandés pour la surveillance des impacts des éoliennes sur les oiseaux*, 2007. https://publications.gc.ca/collections/collection_2013/ec/CW66-364-2007-fra.pdf

Erikstad, L., D. Hagen, E. Stange et V. Bakkestuen. « Evaluating cumulative effects of small scale hydropower development using GIS modelling and representativeness assessments », *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 85, 106458 (2020).

Etemadi A., Y. Emami, O. Asef Afshar et A. Emdadi, « Electricity generation by the tidal barrages », *Energy Procedia*, vol. 12 (2011), p. 928-935.

Fairley I., P. Evans, C. Wooldridge, M. Willis, I. Masters. « Evaluation of tidal stream resource in a potential array area via direct measurements », *Renewable Energy*, vol. 57 (2013), p. 70-78.

Fiorini E. « Nuclear energy and Anthropocene », *Rend Fis Acc Lincei*, vol. 25 (2014), p. 119-126. <https://doi.org/10.1007/s12210-013-0247-z>

Fischer D., P. Lochner et H. Annegarn. « Evaluating the effectiveness of strategic environmental assessment to facilitate renewable energy planning and improved decision-making: a South African case study », *Impact Assessment and Project Appraisal*, vol. 38, n° 1 (2020), p. 28-38. <https://doi.org/10.1080/14615517.2019.1619389>

Foley, M.M., L.A. Mease, R.G. Martone, E.E. Prahler, T.H. Morrison, C.C. Murray et D. Wojcik. « The challenges and opportunities in cumulative effects assessment », *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 62 (2017), p. 122-134.

Franco A.C. et L.S. Franco. « Photovoltaic solar energy and environmental impacts in the industrial sector: a critical overview of barriers and opportunities », *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 0 (2021), p. 1-13. <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1960933>

Fraser, S., B. Williamson, V. Nikora et B. Scott. « Fish distributions in a tidal channel indicate the behavioural impact of a marine renewable energy installation », *Energy Reports*, vol. 4 2018, p. 65-69.

Frid C., E. Andonegi, J. Depestele, A. Judd, D. Rihan, S.I. Rogers et E. Kenchington. « The environmental interactions of tidal and wave energy generation devices », *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 32, n° 1 (2012), p. 133-139.

Froese S., N.C. Kunz et M.V. Ramana. « Too small to be viable? The potential market for small modular reactors in mining and remote communities in Canada », *Energy Policy*, vol. 144 (2020), 111587. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111587>

Fthenakis V. et Y. Yu. *Analysis of the potential for a heat island effect in large solar farms*, 2013 IEEE 39th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), IEEE, Tampa, Floride, États-Unis, 2013, p 3362-3366.

Fthenakis, V.M. et P.D. Moskowitz. « Thin-film Photovoltaic Cells: Health and Environmental Issues in their Manufacture Use and Disposal », *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 3 (1995), p. 295-306. <https://doi.org/10.1002/pip.4670030504>

Fulton, E. A., P. Dunstan, B. Gillanders, K. Evans, R. Treblico et G. Scheufele. *Review of Cumulative Effects Assessments (CEAs) Background to a New CEA process*, 2021.

Furness R.W., H.M. Wade et E.A. Masden. « Assessing vulnerability of marine bird populations to offshore wind farms », *Journal of Environmental Management*, vol. 119 (2013), p. 56-66.

Gao S., G. Huang, X. Zhang et D. Han. « Small modular reactors enable the transition to a low-carbon power system across Canada », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 169, 112905 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112905>

Gauld, N. R., R. N. B. Campbell et M. C. Lucas. « Reduced flow impacts salmonid smolt emigration in a river with low-head weirs », *Science of The Total Environment*, vol. 458-460 (2013), p. 435-443.

Geiser, L. *Marine tidal energy: environmental impacts, policy suggestion, and UK/France case study*, 2021. <https://www.researchgate.net/publication/350054649>

Geißler G., J. Köppel et P. Gunther. « Wind energy and environmental assessments—a hard look at forerunners' approaches: Germany and the United States », *Renewable Energy*, vol. 51 (2013), p. 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.08.083>

Gerold, E. et H. Antrekowitsch. « Advancements and Challenges in Photovoltaic Cell Recycling: A Comprehensive Review », *Sustainability*, vol. 16, no 6 (2024), p. 2542, Multidisciplinary Digital Publishing Institute. doi:10.3390/su16062542.

Gibeau, P., B. M. Connors et W. J. Palen. « Run-of-River hydropower and salmonids: potential effects and perspective on future research », *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 74, no 7 (2017), p. 1135-1149.

Gill, A. B. « Offshore renewable energy: Ecological implications of generating electricity in the coastal zone », *Journal of Applied Ecology*, vol. 42, n° 4 (2005), p. 605-615. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01060.x>

Gill, E. et C. Hein. *IEA Wind White Paper Cumulative Effects Analysis for Wind Energy Development: Current Practices, Challenges, and Opportunities*, 2022. www.nrel.gov/publications

Giraud, M., V. Garçon, D. de la Broise, S. L'Helguen, J. Sudre et M. Boye. « Potential effects of deep seawater discharge by an Ocean Thermal Energy Conversion plant on the marine microorganisms in oligotrophic waters », *Science of the Total Environment*, vol. 693 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.297>

Glasby T.M., S.D. Connell, M.G. Holloway et C.L. Hewitt. « Nonindigenous biota on artificial structures: could habitat creation facilitate biological invasions? », *Marine Biology*, vol. 151 (2007), p. 887-895.

Gleick, P. H. « Environmental consequences of hydroelectric development: The role of facility size and type », *Energy*, vol. 17, n° 8 (1992), p. 735-747.

Global Wind Energy Council. *Global Wind Report 2023*, 2023.

Godinho, C.M., B. Noble, G. Poelzer et K. Hanna. « Impact assessment for renewable energy development: analysis of impacts and mitigation practices for wind energy in western Canada », *Impact Assessment and Project Appraisal*, vol. 41, n° 1 (2023), p. 59-70.
<https://doi.org/10.1080/14615517.2022.2139468>

Gonzalez, S., J.K. Horne et E.J. Ward. « Temporal variability in pelagic biomass distributions at wave and tidal sites and implications for standardization of biological monitoring », *International Marine Energy Journal*, vol. 2, n° 1 (2019), p. 15-28.

Goodale, M. W. et A. Milman. « Cumulative adverse effects of offshore wind energy development on wildlife », *Journal of Environmental Planning and Management*, vol. 59, no 1 (2016), p. 1-21.
Routledge. <https://doi.org/10.1080/09640568.2014.973483>

Goss-Custard, J.D. R.M. Warwick, R. Kirby, S. McGrorty, R.T. Clarke, B. Pearson, W.E. Rispin, S.E.A. Le V. Dit Durell et R.J. Rose. « Towards predicting wading bird densities from predicted prey densities in a post-barrage Severn Estuary », *Journal of Applied Ecology*, vol. 28 (1991), p. 1 004-1 026.

Gouvernement du Canada. *En quoi consiste l'énergie marine?* (s.d.), <https://ressources-naturelles.canada.ca/energie/sources-denergie-et-reseau-de-distribution/energies-renouvelables/energie-des-oceans/en-quoi-consiste-lenergie-marine/7372>.

Gouvernement du Canada. *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale (2012)*, 2012.

Gouvernement du Canada. *À propos de l'énergie renouvelable*. Ressources naturelles Canada (s.d.). <https://ressources-naturelles.canada.ca/nos-ressources-naturelles/sources-denergie-reseau-distribution/energies-renouvelables/propos-lenergie-renouvelable/7296#eolienne>

Gouvernement du Canada. *L'électricité renouvelable au Canada – Canada*. Régie de l'énergie du Canada (s.d.). <https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/produits-base-energetiques/electricite/rapport/electricite-renouvelable-canada/provinces/electricite-renouvelable-canada-canada.html>

Gouvernement du Nouveau-Brunswick. *Examen exhaustif pour un projet de petit réacteur modulaire*, 2023a. Accessible à l'adresse : <https://www2.gnb.ca/content/gnb/fr/nouvelles/communique.2023.08.0389.html>

Gouvernement du Nouveau-Brunswick. *Le gouvernement sollicite des commentaires sur les lignes directrices pour l'évaluation du projet de petits réacteurs nucléaires modulaires*, 2023b. Accessible à l'adresse : <https://www2.gnb.ca/content/gnb/fr/nouvelles/communique.2023.09.0483.html>

Great Barrier Reef Marine Park Authority. *Cumulative impact management policy*, 2018.

Grecian, W.J., R. Inger, M.J. Attrill, S. Bearhop, B.J. Godley, M.J. Witt et S.C. Votier. « Potential impacts of wave-powered marine renewable energy installations on marine birds », *Ibis*, vol. 152, n° 4 (2010), p. 683-697. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2010.01048.x>

Greig, L. et P. Duinker. *Scenarios of Future Developments in Cumulative Effects Assessment: Approaches for the Mackenzie Gas Project*, Commission d'examen conjoint pour le projet gazier, Inuvik, Territoires du Nord-Ouest, Canada, 2007.

Grippo, M., J.W. Hayse et B.L. O'Connor. « Solar Energy Development and Aquatic Ecosystems in the Southwestern United States: Potential Impacts, Mitigation, and Research Needs », *Environmental Management*, vol. 55 (2015), p. 244-256. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0384-x>

Guiller, C., L. Affre, M. Deschamps-Cottin et coll. « Impacts of solar energy on butterfly communities in mediterranean agro-ecosystems », *Environmental Progress & Sustainable Energy*, vol. 36 (2017), p. 1817-1823. <https://doi.org/10.1002/ep.12626>

Guillou, N. et J. Thiebot, « The impact of seabed rock roughness on tidal stream power extraction », *Energy*, vol. 112 (2016), p. 762-773.

Gul, M., Y. Kotak et T. Muneer. « Review on recent trend of solar photovoltaic technology », *Energy Exploration & Exploitation*, vol. 34 (2016), p. 485-526. <https://doi.org/10.1177/0144598716650552>

Gunerhan, H., A. Hepbasli et U. Giresunlu. « Environmental Impacts from the Solar Energy Systems », *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 31 (2008), p. 131-138. <https://doi.org/10.1080/15567030701512733>

Guşatu, L.F., S. Menegon, D. Depellegrin, C. Zuidema, A. Faaij et C. Yamu. « Spatial and temporal analysis of cumulative environmental effects of offshore wind farms in the North Sea basin », *Scientific Reports*, vol. 11, n° 1 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89537-1>

Haddout, S. et K.L. Priya. « Impacts of flushing time and intrusion length on electricity production from salinity gradient energy (SGE) in the estuaries », *International Journal of River Basin Management* (2020), p. 1-3. <https://doi.org/10.1080/15715124.2020.1750422>

Halseth, G.R., M.P. Gillingham, C.J. Johnson et M.W. Parkes. *Cumulative Effects and Impacts: The Need for a More Inclusive, Integrative, Regional Approach*, p. 3-20, dans M.P. Gillingham, G.R. Halseth, C.J. Johnson et M.W. Parkes, éd., *The Integration Imperative: Cumulative Environmental, Community and Health Effects of Multiple Natural Resource Developments*, Springer International Publishing, Cham, 2016.

Hamidinasab B., H. Javadikia, F. Hosseini-Fashami et coll. « Illuminating sustainability: A comprehensive review of the environmental life cycle and exergetic impacts of solar systems on the agri-food sector », *Solar Energy*, vol. 262 (2023), 111830. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111830>

Hamza, A.S.H. « Evaluation and measurement of magnetic field exposure over human body near EHV transmission lines », *Electric Power Systems Research*, vol. 74 (2005), p. 105.

Hanna K., E. McGuigan, B. Noble et J. Parkins. « An analysis of the state of impact assessment research for low carbon power production: Building a better understanding of information and knowledge gaps », *Energy Research & Social Science*, vol. 50 (2019), p. 116-128. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.10.017>

Harrison, J.T. *The 40 MW_e OTEC Plant at Kahe Point, Oahu, Hawaii: A Case Study of Potential Biological Impacts*, NOAA Technical Memorandum NMFS SWFC-68, 1987, 105 p.

Hassanien, R.H.E., M. Li M et W. Dong Lin. « Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 54 (2016), p. 989-1001. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.095>

Hastie, G.D., D.J.F. Russell, S. Benjamins, S. Moss, B. Wilson et D. Thompson. « Dynamic habitat corridors for marine predators: Intensive use of a coastal channel by harbour seals is modulated by tidal currents », *Behavioural Ecology and Sociobiology*, vol. 70 (2017), p. 2161-2174.

Haverson, D. et coll. « Modelling the hydrodynamic and morphological impacts of a tidal stream development in Ramsey Sound », *Renewable Energy*, vol. 126 (2018), p876-887.

Haverson, D., J. Bacon, H.C.M. Smith, V. Venugopal et Q. Xiao. « Cumulative impact assessment of tidal stream energy extraction in the Irish Sea », *Ocean Engineering*, vol. 137 (2017), p. 417-428. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.04.003>

Hayibo, K.S. et J.M. Pearce. « Foam-based floatovoltaics: A potential solution to disappearing terminal natural lakes », *Renewable Energy*, vol. 188 (2022), p. 859-872. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.02.085>

Heinis, F., C.A.F. De Jong et J.A.M. von Benda-Beckmann. *Framework for Assessing Ecological and Cumulative Effects*, 2021-2022 (KEC 4.0)-marine mammals. www.tno.nl.

Henderson, A.R., C. Morgan, B. Smith, H.C. Sørensen, R.J. Barthelmie et B. Boesmans. « Offshore wind energy in Europe - A review of the state-of-the-art », *Wind Energy*, vol. 6, no 1 (2003), p. 35-52, John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/we.82>

Hennig, T., W. Wang, Y. Feng, X. Ou et D. He. « Review of Yunnan's hydropower development. Comparing small and large hydropower projects regarding their environmental implications and socio-economic consequences », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 27 (2013), p. 585-595.

Hernandez, R.R., A. Armstrong, J. Burney et coll. « Techno-ecological synergies of solar energy for global sustainability », *Nature Sustainability*, vol. 2 (2019), p. 560-568. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0309-z>

Hernandez R.R., S.B. Easter, M.L. Murphy-Mariscal et coll. « Environmental impacts of utility-scale solar energy », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 29 (2014), p. 766-779. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.041>

Herrera, J., S. Sierra et A. Ibeas. « Ocean thermal energy conversion and other uses of deep sea water: A review », *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 9 (2021), p. 356.

Herrera-Alsina, L., R. Villegas-Patraca, L.E. Eguiarte et H.T. Arita. « Bird communities and wind energy: a phylogenetic and morphological approach », *Biodiversity and Conservation*, vol. 22 (2013), p. 2821-2836.

Hidayatullah, H., S. Susyadi et M.H. Subki. « Design and technology development for small modular reactors – Safety expectations, prospects and impediments of their deployment », *Progress in Nuclear Energy*, vol. 79 (2015), p. 127-135. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.11.010>

Hodgson, E. E. et B.S. Halpern. « Investigating Cumulative Effects Across Ecological Scales », *Conservation Biology*, vol. 33, n° 1 (2018), p. 22-32. doi: 10.1111/cobi.13125

Horvath, A. et E. Rachlew. « Nuclear power in the 21st century: Challenges and possibilities », *Ambio*, vol. 45 (2016), p. 38-49. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0732-y>

Horváth, G, M. Blahó, Á. Egri et coll. « Reducing the Maladaptive Attractiveness of Solar Panels to Polarotactic Insects », *Conservation Biology*, vol. 24 (2010), p. 1644-1653. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01518.x>

Hötker, H., K.-M. Thomsen et H. Jeromin. *Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources: the example of birds and bats - facts, gaps in knowledge, demands for further research, and ornithological guidelines for the development of renewable energy exploitation*, Michael-Otto-Institut im NABU, Bergenhusen, 2006.

Hou, Y., R. Vidu et P. Stroeve. « Solar Energy Storage Methods », *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 50 (2011), p. 8954-8964. <https://doi.org/10.1021/ie2003413>

Hu, A., S. Levis, G.A. Meehl et coll. « Impact of solar panels on global climate », *Nature Climate Change*, vol. 6 (2016), p. 290-294. <https://doi.org/10.1038/nclimate2843>

Hurlbert, M.A. « Place-based power production deliberations in Saskatchewan: engaging future sustainability », *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 24 (2022), p. 1695-1708. <https://doi.org/10.1007/s10098-022-02277-2>

Hyde, J.L., S.A. Bohlman et D. Valle. « Transmission lines are an under-acknowledged conservation threat to the Brazilian Amazon », *Biological Conservation*, vol. 228 (2018), p. 343-356. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.10.027>

IEA. *Executive summary – Hydropower Special Market Report*, IEA, Paris, 2021.

International Energy Agency (IEA). *Canada 2022 - Energy Policy Review*, 2022. www.iea.org/t&c/

International Finance Corporation (IFC). *Cumulative Impact Assessment and Management: Guidance for the Private Sector in Emerging Markets*, 2013.

IRENA. *Innovation Outlook: Ocean Energy Technologies*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Impact Assessment and Management: Guidance for the Private Sector in Emerging Markets, 2020.

Islar, M. « Privatized hydropower development in Turkey : a case of water grabbing? », *Water Alternatives*, vol. 5, n° 2 (2012), p. 376-391.

Jaccard, M., N. Melton et J. Nyboer. « Institutions and processes for scaling up renewables: Run-of-river hydropower in British Columbia », *Energy Policy*, vol. 39, n° 7 (2011), p. 4042-4050.

Jager, H.I., R.A. Efroymsen, J.J. Opperman et M.R. Kelly. « Spatial design principles for sustainable hydropower development in river basins », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 45 (2015), p. 808-816.

Jahanshahi, A., M. Kamali, M. Khalaj et Z. Khodaparast. « Delphi-based prioritization of economic criteria for development of wave and tidal energy technologies », *Energy*, vol. 167 (2019), p. 819-827.

Jansen, E. W. *Cumulative Effects to Birds, Bats, and Land Cover from Renewable Energy Development in the Columbia Plateau Ecoregion of Eastern Oregon and Washington*, 2023.

Jay, S. « Strategic environmental assessment for energy production », *Energy Policy*, vol. 38, n° 7 (2010), p. 3489-3497. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.02.022>

Jia, Z., B. Wang, S. Song et Y. Fan. « Blue energy: Current technologies for sustainable power generation from water salinity gradient », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 31 (2014), p. 91-100.

Johnson, C.J., M.P. Gillingham, G.R. Halseth et M.W. Parkes. *A Revolution in Strategy, Not Evolution of Practice: Towards an Integrative Regional Cumulative Impacts Framework*, p. 217-242 dans M.P. Gillingham, G.R. Halseth, C.J. Johnson et M.W. Parkes, éd., *The Integration Imperative: Cumulative Environmental, Community and Health Effects of Multiple Natural Resource Developments*, Springer International Publishing, Cham, 2016.

Johnstone, C., D. Pratt, J. Clarke et A. Grant. « A techno-economic analysis of tidal energy technology », *Renewable Energy*, vol. 49 (2013), p. 101-106.

Jones, F. C. « Cumulative effects assessment: theoretical underpinnings and big problems », *Environmental Reviews*, vol. 24, n° 2 (2016), p. 187-204.

Ju, H.C. et S.H. Yoo. « The environmental cost of overhead power transmission lines: The case of Korea », *Journal of Environmental Planning and Management*, vol. 57, n° 6 (2014), p. 812-828. <https://doi.org/10.1080/09640568.2013.770388>

Judd, A. D., T. Backhaus et F. Goodsir. « An effective set of principles for practical implementation of marine cumulative effects assessment », *Environmental Science & Policy*, vol. 54 (2015), p. 254-262.

Kagan, R.A., T.C. Viner, P.W. Trail PW et E.O. Espinoza. *Avian mortality at solar energy facilities in southern California: A preliminary analysis*, National Fish and Wildlife Forensics Laboratory, 2014.

Kalmikov, A. « Wind Power Fundamentals », *Wind Energy Engineering*, Elsevier , p. 17–24.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809451-8.00002-3>

Kaygusuz, K. « Environmental Impacts of the Solar Energy Systems », *Energy Sources, Part A*, vol. 31 (2009), p. 1376-1386. <https://doi.org/10.1080/15567030802089664>

Kelly-Richards, S., N. Silber-Coats, A. Crootof, D. Tecklin et C. Bauer. « Governing the transition to renewable energy: A review of impacts and policy issues in the small hydropower boom », *Energy Policy*, vol. 101 (2017), p. 251-264.

Kempener, R. et F. Neumann. *Tidal energy technology brief*, International Renewable Energy Agency (IRENA), 2014, p. 1-34.

Keyser, F.M., J.E. Broome, R.G. Bradford, B. Sanderson et A.M. Redden. « Winter presence and temperature-related diel vertical migration of striped bass (*Morone saxatilis*) in an extreme high-flow passage in the inner Bay of Fundy », *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 73, n° 12 (2016), p. 1777-1786.

Khan, M., G. Bhuyan, M. Iqbal et J. Quaicoe. « Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review », *Applied Energy*, vol. 86, n° 10 (2009), p. 1823-1835.

Khojasteh, D., S.M. Mousavi, W. Glamore et G. Iglesias. « Wave energy status in Asia », *Ocean Engineering*, vol. 169 (2018b), p. 344-358.

Kibler, K.M. et D.D. Tullos. « Cumulative biophysical impact of small and large hydropower development in Nu River, China », *Water Resources Research*, vol. 49, n° 6 (2013), p. 3104-3118.

Kikuchi, R. « Risk Formulation for the Sonic Effects of Offshore Wind Farms on Fish in the EU Region », *Marine Pollution Bulletin*, vol. 60, n° 2 (2010), p. 172-177.

Killingtveit, Å. « Chapter 8: Hydropower », dans T. M. Letcher, éd., *Managing Global Warming*, Academic Press, 2019, p. 265-315.

King, D.I., R.B. Chandler, J.M. Collins, W.R. Petersen et T.E. Lautzenheiser. « Effects of width, edge and habitat on the abundance and nesting success of scrub–shrub birds in powerline corridors », *Biological Conservation*, vol. 142, n° 11 (2009), p. 2672-2680.

Konak, N. et Y. Sungu-Eryilmaz. « Does Small Run-of-River Hydro Power Development in Turkey Deliver On Its Sustainability Premise? », *Society & Natural Resources*, vol. 29, n° 7 (2016), p. 807-821.

- Krall, L.M., A.M. Macfarlane et R.C. Ewing. « Nuclear waste from small modular reactors », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 119 (2022), e2111833119.
<https://doi.org/10.1073/pnas.2111833119>
- Kristensen, S., B.F. Noble et R.J. Patrick. « Capacity for Watershed Cumulative Effects Assessment and Management: Lessons from the Lower Fraser River Basin, Canada », *Environmental Management*, vol. 52, n° 2, (2013), p. 360-373.
- Kumar, D. et S.S. Katoch. « Sustainability indicators for run of the river (RoR) hydropower projects in hydro rich regions of India », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 35 (2014), p. 101-108.
- Kunz, T.H., E.B. Arnett, B.A. Cooper, W.I.P. Erickson, R.P. Larkin, T. Mabee, M.L. Morrison, J.D. Strickland et J.M. Szewczak. « Assessing impacts of wind energy development on nocturnally active birds and bats: a guidance document », *Journal of Wildlife Management*, vol. 71 (2007), p. 2449-2486.
- Kuriqi, A., A.N. Pinheiro, A. Sordo-Ward, M.D. Bejarano et L. Garrote. « Ecological impacts of run-of-river hydropower plants—Current status and future prospects on the brink of energy transition », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 142 (2021), 110833.
- Kwak, J.I., S.-H. Nam, L. Kim et Y.-J. An. « Potential environmental risk of solar cells: Current knowledge and future challenges », *Journal of Hazardous Materials*, vol. 392 (2020), 122297.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122297>
- Kyne, D. et B. Bolin. « Emerging Environmental Justice Issues in Nuclear Power and Radioactive Contamination », *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 13 (2016), p. 700. <https://doi.org/10.3390/ijerph13070700>
- Ladenburg, J. « Does more wind energy influence the choice of location for wind power development? Assessing the cumulative effects of daily wind turbine encounters in Denmark », *Energy Research and Social Science*, vol. 10 (2015), p. 26-30. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.06.005>
- Ladenburg, J. et J.O. Dahlgaard. « Attitudes, threshold levels and cumulative effects of the daily wind-turbine encounters », *Applied Energy*, vol. 98 (2012), p. 40-46.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.02.070>
- Lampinen, J., K. Ruokolainen et A.P. Huhta. « Urban power line corridors as novel habitats for grassland and alien plant species in south-western Finland », *PLOS ONE*, vol. 10 (2015), e0142236.
- Lange, K., P. Meier, C. Trautwein, M. Schmid, C.T. Robinson, C. Weber et J. Brodersen. « Basin-scale effects of small hydropower on biodiversity dynamics », *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 16, n° 7 (2018), p. 397-404.
- Langhamer, O., D. Wilhelmsson et J. Engstrom. « Artificial reef effect and fouling impacts on offshore wave power foundations and buoys: A pilot study », *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 82 (2009), p. 426-432.

Laranjeiro, T., R. May et F. Verones. « Impacts of onshore wind energy production on birds and bats: recommendations for future life cycle impact assessment developments », *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 23, no 10 (2018), p. 2007-2023), Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1434-4>

Largier, J., D. Behrens et M. Robart. « The potential impact of WEC development on nearshore and shoreline environments through a reduction in nearshore wave energy », *Developing Wave Energy in Coastal California: Potential Socio-Economic And Environmental Effects*, 2008, p. 52-73.

Larsen, S.V., L. Kørnøv et P. Christensen. « The mitigation hierarchy upside down – a study of nature protection measures in Danish infrastructure projects », *Impact Assessment and Project Appraisal*, vol. 36, n° 4 (2018), p. 287-293. doi:10. 1080/14615517.2018.1443260

Larsen, J.K. et J. Masden. « Effects of wind turbines and other physical elements on field utilization by pink-footed geese (*Anser brachyrhynchus*): a landscape perspective », *Landscape Ecology*, vol. 15, (2000), p. 755-764.

Last, K.S., V.J. Henderick, C. Beveridge et A.J. Davies. *Measuring the effects of suspended particulate matter and smothering on the behaviour, growth and survival of key species found in areas associated with aggregate dredging*, 2011.

Lee, M. « From Clean Growth to Climate Justice », chapitre 14 tiré de *Regime of Obstruction: How Corporate Power Blocks Energy Democracy*, W.K. Carroll (éd.), Athabasca University Press, 2021.

Leeks, G.J.L. et G. Roberts. « The effects of forestry on upland streams – with special reference to water quality and sediment transport », dans J.E.G. Good (éd.), *Environmental Aspects of Plantation Forestry in Wales*, Grange-over-Sands, NERC/ITE, 1987, p. 64-69 (Symposium de l'ITE, 2022).

Leskova, O.V., R.A. Frakes et S.H. Markwith. « Impacting habitat connectivity of the endangered Florida panther for the transition to utility-scale solar energy », *Journal of Applied Ecology*, vol. 59 (2022), p. 822-834. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14098>

Leung, D.Y.C. et Y. Yang. « Wind energy development and its environmental impact: A review », *Renewable Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, n° 1 (2012), p. 1031-1039. doi:10.1016/j.rser.2011.09.024.

Levin, L., J. Alfaro-Lucas, A. Colaco, E. Cordes, N. Craik, R. Danovaro, H.-J. Hoving., J. Ingels, N. Mestre, S. Seabrook, A. Thurber, C. Vivian et M. Yasuhara. « Deep-sea impacts of climate interventions », *Science*, vol. 379, n° 6636 (2023), p. 978-981.

Li, P., X. Gao, Z. Li et X Zhou. « Physical analysis of the environmental impacts of fishery complementary photovoltaic power plant », *Environmental Science Pollution Research*, vol. 29, (2022), p. 46108-46117. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18930-8>

Li, X., M. Li, L.O. Amoudry, R. Ramirez-Mendoza, P.D. Thorne, Q. Song, P. Zheng, S.M. Simmons, L.-B. Jordan et S.J. McLelland. « Three-dimensional modelling of suspended sediment transport in the far wake of tidal stream turbines », *Renewable Energy*, vol. 151 (2020), p. 956-965.

Li, G. et W. Zhu. « Tidal current energy harvesting technologies: A review of current status and life cycle assessment », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 179, (2023), Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113269>

Lindsay, R. et O. Bragg. *Windfarms and blanket peat: the bog slide of 16th October 2003 at Derrybrien, Co. Galway, Ireland*, rapport inédit, Derrybrien Development Cooperative Ltd, 2^e édition, 2005.

Locatelli, G., C. Bingham et M. Mancini. « Small modular reactors: A comprehensive overview of their economics and strategic aspects », *Progress in Nuclear Energy*, vol. 73 (2014), p. 75-85.
<https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.01.010>

Lóránt, M. et C. Vadász. « The effect of aboveground medium voltage power lines on displaying site selection of the Great Bustard Otis tarda in Central Hungary », *Ornis Hungarica*, vol. 22, n° 2 (2014), p. 42-49.

Lucas, M.C., D.H. Bubb, M.-H. Jang, K. Ha, et J.E.G. Masters. « Availability of and access to critical habitats in regulated rivers: effects of low-head barriers on threatened lampreys », *Freshwater Biology*, vol. 54, n° 3 (2009), p. 621-634.

Lynn, P.A. *Electricity from sunlight: An introduction to photovoltaics*, John Wiley & Sons, 2011.

MacKay, D.J.C. « Solar energy in the context of energy use, energy transportation and energy storage », *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 371 (2013), 20110431. <https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0431>

Madsen, J. et D. Boertmann. « Animal behavioural adaptation to changing landscapes: spring-staging geese habituate to wind energy », *Landscape Ecology*, vol. 23 (2008), p. 1007-1011.

Malatesta, T. « The Environmental, Economic, and Social Performance of Nuclear Technology in Australia », *Journal of Nuclear Engineering and Radiation Science*, vol. 7 (2021).
<https://doi.org/10.1115/1.4049758>

Manitoba Hydro. *Regional Cumulative Effects Assessment for Hydroelectric Developments on the Churchill, Burntwood and Nelson River Systems*, rapport sommaire integer, 159 p., Manitoba Hydro, Regional Cumulative Effects Assessment, 2015.

Marques, A.T., H. Batalha, S. Rodrigues, H. Costa, M.J.R. Pereira, C. Fonseca, M. Mascarenhas et J. Bernardino. « Understanding bird collisions at wind farms: an updated review on the causes and possible mitigation strategies », *Biological Conservation*, vol. 179 (2014), p. 40-52.

Masden, E.A., A.D. Fox, R.W. Furness, R. Bullman et D.T. Haydon. « Cumulative Impact Assessments and Bird/Wind Farm Interactions: Developing a Conceptual Framework ». *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 30 (2010), p. 1-7. doi: 10.1016/j.eiar.2009.05.002

Masden, E.A., A. McCluskie, E. Owen et R.H.W. Langston. « Renewable energy developments in an uncertain world: The case of offshore wind and birds in the UK », *Marine Policy*, vol. 51 (2015), p. 169-172. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2014.08.006>

Masden, E.A., D.T. Haydon, A.D. Fox, R.W. Furness, R. Bullman et M. Desholm. « Barriers to movement: impacts of wind energy on migrating birds », *Ices Journal of Marine Science*, vol. 66 (2009), p. 746-753.

Master, L., D. Faber-Langendoen, R. Bittman, G.A. Hammerson, B. Heindel, J. Nichols, L. Ramsay et A. Tomaino. *NatureServe conservation status assessments: factors for assessing extinction risk*, NatureServe, Arlington, Virginie, 2009, 64 p.

May, R. « A unifying framework for the underlying mechanisms of avian avoidance of wind turbines », *Biological Conservation*, vol. 190 (2015), p. 179-187. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.004>

Mazumder, R. et M. Arima. « Tidal rhythmites and their implications », *Earth-Science Reviews*, vol. 69 n^{os} 1-2 (2005), p. 79-95.

McCall, J., J. Macdonald, R. Burton et J. Macknick. « Vegetation Management Cost and Maintenance Implications of Different Ground Covers at Utility-Scale Solar Sites », *Sustainability*, vol. 15 (2023), 5895. <https://doi.org/10.3390/su15075895>

McCarty, J.P. « Ecological Consequences of Recent Climate Change », *Conservation Biology*, vol. 15 (2001), p. 320-331. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.015002320.x>

McMaster, R., B.F. Noble, G. Poelzer et K. Hanna. « Wind energy environmental assessment requirements and processes: an uneven landscape », *Impact Assessment and Project Appraisal*, 2021. <https://doi.org/10.1080/14615517.2020.1815271>

Michel, J. *South Atlantic Information Resources: Data Search and Literature Synthesis*, OCS Study, BOEM 2013-01157, Nouvelle-Orléans, Louisiane, US Department of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management, Gulf of Mexico OCS Region, 2013.

Michel, J., H. Dunagan, C. Boring, E. Healy, W. Evans, J. M. Dean, A. McGillis et J. Hain. *Worldwide Synthesis and Analysis of Existing Information Regarding Environmental Effects of Alternative Energy Uses on the Outer Continental Shelf*, MMS OCS Report 2007-038, 2007.

Ministère de l'Environnement et du Changement climatique de Terre-Neuve-et-Labrador. *Environmental Assessment Guidance for Registration of Onshore Wind Energy Generation and Green Hydrogen Production Projects*, 2023.

Ministère des Affaires économiques et Ministère de l'Infrastructure et de l'Environnement. *Framework for Assessing Ecological and Cumulative Effects for the roll-out of offshore wind, Deelrapport A: Methodebeschrijving*, 2016a.

Ministère des Affaires économiques et Ministère de l'Infrastructure et de l'Environnement. *Framework for Assessing Ecological and Cumulative Effects for the roll-out of offshore wind, Deelrapport B: Description and assessment of cumulative effects resulting from the implementation of the Roadmap for Offshore Wind Energy*, 2016b.

Ministère des Affaires économiques et du Climat. *Framework for Assessing Ecological and Cumulative Effects 3.0 for the roll-out of offshore wind energy 2030 Sub-report A: Methods*, 2015.

MMS. *Programmatic Environmental Impact Statement for Alternative Energy Development and Production and Alternate Use of Facilities on the Outer Continental Shelf: Final Environmental Impact Statement*, OCS EIS/EA MMS 2007-046, Washington D.C., États-Unis, Department of the Interior Minerals Management Service, 2007.

Moniz, E. « Why We Still Need Nuclear Power: Making Clean Energy Safe and Affordable », *Foreign Affairs*, vol. 90 (2011), p. 83-94.

Montag, H., D.G. Parker et T. Clarkson. *The effects of solar farms on local biodiversity: A comparative study*, Clarkson and Woods and Wychwood Biodiversity, 2016.

Morgan, R.K. « Environmental impact assessment: the state of the art », *Impact Assessment and Project Approval*, vol. 30 (2012), p. 5-14.

Moriarty, P. et D. Honnery. « What is the global potential for renewable energy? », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16 (2012), p. 244-252. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.151>

Muller, F.L.L. et S.P.C. Tankere-Muller. « Seasonal variations in surface water chemistry at disturbed and pristine peatland sites in the Flow Country of northern Scotland », *Science of the Total Environment*, vol. 435 (2012), p. 351-362.

Munday, P.L. « Habitat loss, resource specialization, and extinction on coral reefs », *Global Change Biology*, vol. 10, n° 10 (2004), p. 1642-1647. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00839.x>

National Environmental Policy Act of 1969. Accessible à : https://www.energy.gov/sites/default/files/nepapub/nepa_documents/RedDont/Req-NEPA.pdf.

Nayak, D.R., D. Miller, A. Nolan, P. Smith, J.U. Smith. « Calculating carbon budgets of wind energy on Scottish peatlands », *Mires and Peat*, vol. 4 (2008-2010), article 09 (2010), p. 1-23.

Neill, S.P., A. Angeloudis, P.E. Robins, I. Walkington, S.L. Ward, I. Masters, M.J. Lewis, M. Piano, A. Avdis, M.D. Piggott et coll. « Tidal range energy resource and optimization—Past perspectives and future challenges », *Renewable Energy*, vol. 127 (2018), p. 763-778.

Neill, S.P., J.R. Jordan et S.J. Couch. « Impact of tidal energy converter (TEC) arrays on the dynamics of headland sand banks », *Renewable Energy*, vol. 37, n° 1 (2012), p. 387-397.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.07.003>

Nichols, J.A., G.T. Rowe, C.H. Clifford et R.A. Young. « In situ experiments on the burial of marine invertebrates », *Journal of Sedimentary Research*, vol. 48 (1978), p. 419-425.

Nickoloff, A., M. Eby et A. Weaver. *Oceanic Response to Widespread Ocean Thermal Energy Conversion*, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8749-3DV>

Niekurzak, M., A. Brelik et W. « Lewicki. Economic potential of recovery and recycling of silicone photovoltaics cells and non-ferrous metals as part of the transition towards a circular economy », *Economics and Environment*, vol. 86, no 3 (2023), p. 202-224. doi:10.34659/eis.2023.86.3.600

Nordic Energy Research. *Accommodating Biodiversity in Nordic Offshore Wind Projects*, Nordic Energy Research, 2022.

Northrup, J.M. et G. Wittemyer. « Characterising the impacts of emerging energy development on wildlife, with an eye towards mitigation », *Ecology Letters*, vol. 16 (2013), p. 112-125.
<https://doi.org/10.1111/ele.12009>

Nova Scotia Department of Energy & Offshore Energy Environmental Research Association. *Fundy tidal energy strategic environmental assessment : final report*, OEER, Offshore Energy Environmental Research Association, 2008.

Nova Scotia Environmental Assessment Branch. *Guide to Preparing an EA Registration Document for Wind Power Projects in Nova Scotia*, 2021.

Nuclear Regulatory Commission. *STP 3 & 4 Environmental Report*, 2007.

O'Rourke F., F. Boyle et A. Reynolds. « Tidal energy update 2009 », *Applied Energy*, vol. 87, n° 2 (2010), p. 398-409.

O'Shea, T.J., M.A. Bogan et L.E. Ellison. « Monitoring trends in bat populations of the United States and territories: status of the science and recommendations for the future », *Wildlife Society Bulletin*, vol. 31 (2003), p. 16-29.

Oman, J. *Marine Renewable Energy (MRE) in the Tropics An Overview of MRE Potential in Oaxaca, Mexico Report* préparé par un stagiaire de 1^{er} cycle, University of Washington Pacific Northwest National Laboratory, 2022. <https://www.ntis.gov/about>

Onoufriou, J., A. Brownlow, S. Moss et coll. « Empirical determination of severe trauma in seals from collisions with tidal turbine blades », *Journal of Applied Ecology*, vol. 56, n° 7 (2019), p. 1712-1724.

- Onoufriou, J., D.J.F. Russell, D. Thompson, S.E. Moss et G.D. Hastie. « Quantifying the effects of tidal turbine array operations on the distribution of marine mammals: Implications for collision risk », *Renewable Energy*, vol. 180 (2021), p. 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.08.052>
- Owen, A. « Tidal current energy: Origins and challenges », *Future energy*, Elsevier, 2008, p. 111-128.
- Owley, J. et A.W. Morris. « The New Agriculture: From Food Farms to Solar Farms », *Columbia Journal Environmental Law*, vol. 44 (2019), p. 409-478.
- Padoan, F.C.S.M., P. Altimari et F. Pagnanelli. « Recycling of end of life photovoltaic panels: A chemical prospective on process development », *Solar Energy*, vol. 177 (2019), p. 746-761.
doi:10.1016/j.solener.2018.12.003
- Panwar, N.L., S.C. Kaushik et S. Kothari. « Role of renewable energy sources in environmental protection: A review », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15 (2011), p. 1513-1524.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.037>
- Paredes, M.G., A. Padilla-Rivera et L.P. Güereca. « Life cycle assessment of ocean energy technologies: A systematic review », *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 7 (2019), p. 322.
- Parker, D.M.. « Environmental implications of tidal power generation », *IEE Proceedings – Science, Measurement and Technology*, vol. 140, no 1 (1993), p. 71-75.
- Parsons, E.C.M., S.J. Dolman, M. Jasny, N.A., M.P. Simmonds et A.J. Wright. « A critique of the UK's JNCC seismic survey guidelines for minimising acoustic disturbance to marine mammals: Best practise? », *Marine Pollution Bulletin*, vol. 58 (2009), p. 643-651.
- Pearce-Higgins, J.W., L. Stephen, R.H.W. Langston et J.A. Bright. « Assessing the cumulative impacts of wind energy on peatland birds: a case study of golden plover *Pluvialis apricaria* in Scotland », *Mires and Peat*, vol. 4 (2008-2010), article 01, (2008), p. 1-13.
- Pedersen, E. et K. Waye. « Perception and annoyance due to wind turbine noise— a dose–response relationship », *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 116, n° 6 (2004), p. 3460-3470.
<https://doi.org/10.1121/1.1815091>
- Perrow, M.R., J.J. Gilroy, E.R. Skeate et M.L. Tomlinson. « Effects of the Construction of Scroby Sands Offshore Wind Farm on the Prey Base of Little Tern *Sternula Albifrons* at Its Most Important UK Colony », *Marine Pollution Bulletin*, vol. 62, n° 8, (2011), p. 1661-1670.
- Peters, J. *Emission and Economic Implications for Canada of Using Small Modular Reactors (SMRs) in Heavy Industry*, EnviroEconomics and Navius Research, 2021.
- Pinho, P., R. Maia et A. Monterroso. « The quality of Portuguese Environmental Impact Studies: The case of small hydropower projects », *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 27, n° 3 (2007), p. 189-205.

Plonczhier, P. et I.C. Simms. « Radar monitoring of migrating pink-footed geese: behavioural responses to offshore wind farm development », *Journal of Applied Ecology*, vol. 49 (2012), p. 1187-1194.

Polagye, B., B. van Cleve, A. Copping et K. Kirkendall. *Environmental Effects of Tidal Energy Development*, 2010.

Polit, D.J., D. Maldonado et D. Dávalos. « Solar Might not Always be a Green Source of Energy », *Procedia Engineering*, vol. 145 (2016), p. 611-621. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.051>

Pope, J., A. Bond, A. Morrison-Saunders et F. Retief. « Advancing the theory and practice of impact assessment: Setting the research agenda », *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 41 (2013), p. 1-9. doi:10.1016/j.eiar

Práválie, R. et G. Bandoc. « Nuclear energy: Between global electricity demand, worldwide decarbonisation imperativeness, and planetary environmental implications », *Journal of Environmental Management*, vol. 209 (2018), p. 81-92. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.043>

Premalatha, M., Tabassum-Abbasi, T. Abbasi et S.A. Abbasi. « A critical view on the eco-friendliness of small hydroelectric installations », *Science of The Total Environment*, vol. 481 (2014), p. 638-643.

Pruett, C.L., M.A. Patten et D.H. Wolfe. « Avoidance behavior by prairie grouse: implications for development of wind energy », *Conservation Biology*, vol. 23, n° 5 (2009a), p. 1253-1259.

Public Service Commission of Wisconsin. *Environmental Impact of Transmission Lines*, 2012.

Raab, R., P. Spakovszky, E. Julius, C. Schütz et C.H. Schulze. « Effects of power lines on flight behaviour of the West Pannonian Great bustard *Otis tarda* population », *Bird Conservation International*, vol. 21 (2011), p. 142-155.

Rabaia, M.K.H., M.A. Abdelkareem, E.T. Sayed et coll. « Environmental impacts of solar energy systems: A review », *Science of The Total Environment*, vol. 754 (2021), 141989. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141989>

Rahman, A., O. Farrok et M.M. Haque. « Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: Solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean, and osmotic », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 161 (2022), Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112279>

Ramana, M.V. et A. Ahmad. « Wishful thinking and real problems: Small modular reactors, planning constraints, and nuclear power in Jordan », *Energy Policy*, vol. 93 (2016), p. 236-245. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.03.012>

Ramos, V., R. Carballo, M. Alvarez, M. Sanchez and G. Iglesias. « Assessment of the impacts of tidal stream energy through high-resolution numerical modeling », *Energy*, vol. 61 (2013), p. 541-554.

Rehman, O.U. et M.J. Ryan. « A framework for design for sustainable future-proofing », *Journal of Cleaner Production*, vol. 170 (2018), p. 715-726.

Régie de l'énergie du Canada. *Aperçu du marché : Le Canada, deuxième producteur mondial d'hydroélectricité*, 2016. <https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/marches-energetiques/apercu-marches/2016/apercu-marche-canada-deuxieme-producteur-mondial-dhydroelectricite.html>

Reid, A.J., A.K. Carlson, I.F. Creed et coll. « Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity », *Biological Reviews*, vol. 94 (2019), p. 849-873.
<https://doi.org/10.1111/brv.12480>

Renewable UK. *Cumulative Impact Assessment Guidelines Guiding Principles For Cumulative Impacts Assessment In Offshore Wind Farms*, 2013.

Ressources naturelles Canada. *Le Canada fait des investissements historiques dans l'énergie marémotrice en Nouvelle-Écosse*, Canada.ca, 2020. <https://www.canada.ca/fr/ressources-naturelles-canada/nouvelles/2020/11/le-canada-fait-des-investissements-historiques-dans-lenergie-maremotrice-en-nouvelle-ecosse.html>

Ressources naturelles Canada. *Initiative relative à l'énergie des vagues de la côte ouest (West Coast Wave Initiative – WCWI)*, s.d. <https://ressources-naturelles.canada.ca/science-et-donnees/financement-et-partenariats/occasions-de-financement/investissements-actuels/initiative-relative-lenergie-des-vagues-de-la-cote-ouest-west-coast-wave-initiative-w/16093?>

Ressources naturelles Canada. *La R-D nouvelle au Canada sur les techniques d'hydro-électricité : Une stratégie pour 2007 à 2011*. CanmetÉNERGIE-Ottawa, 2007.

Rhodes, R. *The making of the atomic bomb*, Simon and Schuster, 2012.

Riehl, B. *Emission and economic implications for Canada of using small modular reactors (SMRs) in heavy industry*, Navius Research Inc, 2021. <https://www.naviusresearch.com/publications/small-modular-reactors-2021/>

Rieucan, G., W.L. Vickery et G.J. Doucet. « A patch use model to separate effects of foraging costs on giving-up densities: an experiment with white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) », *Behavioral Ecology and Sociobiology*, vol. 63, n° 6 (2009), p. 891-897.

Ritchie, H. « What are the safest and cleanest sources of energy? », *Our World in Data*, 2020.
<https://ourworldindata.org/safest-sources-of-energy>

Roberts, G. et S.B. Crane. « The effects of clear-felling established forestry on stream-flow losses from the Hore sub-catchment », *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 1 (1997), p. 477-482.

Rockwell, T. *The Rickover Effect: How One Man Made a Difference*, iUniverse, 2002.

Ross, W.A. « Cumulative effects assessment: learning from Canadian case studies », *Impact Assessment and Project Appraisal*, vol. 16, no 4 (1998) p. 267-276.

Rowan, D. « Issues and challenges in assessing ecological and human health risk from the siting of SMRs in Canada », *CNL Nuclear Review*, vol. 9 (2020), p. 93-97. <https://doi.org/10.12943/CNR.2019.00003>

Rowan, D.J. et J.B. Rasmussen. « Bioaccumulation of Radiocesium by Fish: the Influence of Physicochemical Factors and Trophic Structure », *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Science*, vol. 51 (1994), p. 2388-2410. <https://doi.org/10.1139/f94-240>

Ryan, K., A. Danylchuk et A. Jordan. « Consideration of scales in offshore wind environmental impact assessments », *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 75 (2019), p. 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.12.004>

Sahu, P.K. et M.D. Manjrekar. « Controller Design and Implementation of Solar Panel Companion Inverters », *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 56 (2020), p. 2001-2011. <https://doi.org/10.1109/TIA.2020.2965867>

Santiago-Quesada, F., J.A. Masero, N. Albano et J.M. Sánchez-Guzmán. « Roost location and landscape attributes influencing habitat selection of migratory waterbirds in rice fields », *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 188 (2014), p. 97-102.

Sapinski, J.P. « Climate capitalism and the global corporate elite network », *Environmental Sociology*, vol. 1, n° 4, (2015), p. 268-279.

Scherelis, C., I. Penesis, M.A. Hemer, R. Cossu, J.T. Write et D. Guihen. « Investigating biophysical linkages at tidal energy candidate sites: a case study for combining environmental assessment and resource characterization », *Renewable Energy*, vol. 159 (2020), p. 399-413.

Schumacher, K. « Large scale renewable energy project barriers: environmental impact assessment streamlining efforts in Japan and the EU », *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 65 (2017), p. 100-110. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2017.05.001>

Scott, A., P. Shannon, M. Hardman et D. Miller. « Evaluating the cumulative impact problem in spatial planning: a case study of wind turbines in Aberdeenshire, UK », *Town Planning Review*, vol. 85, n° 4 (2014), p. 457-487. <https://doi.org/10.3828/tpr.2014.27>

Scottish Natural Heritage. *Assessing the cumulative impacts of onshore wind farms on bird Guidance*, 2018.

Scrafield, S., N. Harden, T. Johnson, G. Lewis et T. Sopuck. *A Review of the Regional Cumulative Effects Assessment for Hydroelectric Developments on the Nelson, Burntwood, and Churchill River Systems*, p. 94, Manitoba Clean Environment Commission, Winnipeg, 2018.

Segura, E., R. Morales, J. Somolinos et A. López. « Techno-economic challenges of tidal energy conversion systems: Current status and trends », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 77 (2017), p. 536-550.

Seitz, N.E., C.J. Westbrook et B.F. Noble. « Bringing science into river systems cumulative effects assessment practice », *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 31, n° 3 (2011), p. 172-179. doi:10.1016/j.eiar.2010.08.001

Senate and House of Representatives of the United States of America. 1969. [thesenate.gov/nepa69.pdf](https://www.senate.gov/nepa69.pdf) [consulté le 3 novembre 2023].

Seyfried, C., H. Palko et L. Dubbs. « Potential local environmental impacts of salinity gradient energy: A review », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 102 (2019), p. 111-120. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.003>

Shaw, K., S.D. Hill, A.D. Boyd, L. Monk, J. Reid et E.F. Einsiedel. « Conflicted or constructive? Exploring community responses to new energy developments in Canada », *Energy Research & Social Science*, vol. 8 (2015), p. 41-51.

Siddiqui, M.A., S.M. Ahmed, M.A. Munir, S.M. Hussain et J. Randhawa. *Ocean Energy: The Future of Renewable Energy Generation*, 2015.

Silva, J.P., M. Santos, L. Queirós, D. Leitão, F. Moreira, M. Pinto, M. Leqoc et J.A. Cabral. « Estimating the influence of overhead transmission power lines and landscape context on the density of little bustard *Tetrax* breeding populations », *Ecology Modelling*, vol. 221, n° 16 (2010), p. 1954-1963

Sinclair, A. J., M. Doelle et P.N. Duinker. « Looking Up, Down, and Sideways: Reconceiving Cumulative Effects Assessment as a Mindset », *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 62, (2017), p. 183-194. doi: 10.1016/j.eiar.2016.04.007

Sinha, P., C.J. Kriegner, W.A. Schew et coll. « Regulatory policy governing cadmium-telluride photovoltaics: A case study contrasting life cycle management with the precautionary principle », *Energy Policy*, vol. 36 (2008), p. 381-387. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.09.017>

Smallwood, K.S., L. Ruge et M.L. Morrison. « Influence of behaviour on bird mortality in wind energy developments », *Journal of Wildlife Management*, vol. 73 (2009), p. 1082-1098.

Solangi, K.H., M.R. Islam, R. Saidur et coll. « A review on global solar energy policy », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15 (2011), p. 2149-2163. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.007>

Song, G., Y. Lu, B. Liu et coll. « Photovoltaic panel waste assessment and embodied material flows in China, 2000–2050 », *Journal of Environmental Management*, vol. 338 (2023), 117675. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117675>

Soukissian, T.H., D. Denaxa, F. Karathanasi, A. Prospathopoulos, K. Sarantakos, A. Iona, K. Georgantas et P. Mavrakos. « Marine Renewable Energy in the Mediterranean Sea: Status and perspectives », *Energies*, vol. 10 (2017), p. 1512.

Spaling, H. « Cumulative effects assessment: concepts and principles », *Impact Assessment*, vol. 12 (1994), p. 231-249. doi:10.1080/07349165.1994.9725865.

Stacey, W.M. *Nuclear Reactor Physics*, John Wiley & Sons, 2018.

Steinhauser, G., A. Brandl et T.E. Johnson. « Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts », *Science of The Total Environment*, vol. 470-471 (2014), p. 800-817. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.029>

Stelzenmüller, V., M. Coll, A.D. Mazaris, S. Giakoumi, S. Katsanevakis, M.E. Portman, R. Degen, P. Mackelworth, A. Gimpel, P.G. Albano et V. Almpnidou. « A risk-based approach to cumulative effect assessments for marine management », *Science of the Total Environment*, vol. 612 (2018), p. 1132-1140.

Still, D., S. Painter, E.S. Lawrence, B. Little, M. Thomas et M. Anderson. « Birds, wind energy, and Blyth Harbour », *Wind Energy Conversion*, vol. 1996 (1997), p. 175-183.

Stockbridge, J., A.R. Jones, S.G. Gaylard, M.J. Nelson et B.M. Gillanders. « Evaluation of a popular spatial cumulative impact assessment method for marine systems: A seagrass case study », *Science of the Total Environment*, vol. 780 (2021), 146401.

Sugimoto, H. et H. Matsuda. « Collision risk of white-fronted Geese with wind turbines », *Ornithological Science*, vol. 10 (2011), p. 61-71.

Susskind, L., T. Kausel, J. Aylwin et E. Fierman. « The Future of Hydropower in Chile », *Journal of Energy & Natural Resources Law*, vol. 32, n° 4 (2014), p. 425-481.

Swihart, R.K., T.M. Gehring, M.B. Kolozsvary et T.E. Nupp. « Responses of 'resistant' vertebrates to habitat loss and fragmentation: the importance of niche breadth and range boundaries », *Diversity and Distributions*, vol. 9, n° 1 (2003), p. 1-18. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2003.00158.x>

Szewczak, J.M. et E.B. Arnett. « An acoustic deterrent with the potential to reduce bat mortality from wind turbines », *Bat Research News*, vol. 47 (2006), p. 151-152.

Teff-Seker, Y., O. Berger-Tal, Y. Lehnardt et N. Teschner. « Noise pollution from wind turbines and its effects on wildlife: A cross-national analysis of current policies and planning regulations », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 168 (2022), Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112801>

Tere, A., et B.M. Parasharya. « Flamingo mortality due to collision with high tension electric wires in Gujarat, India », *Journal of Threatened Taxa*, vol. 3, n° 11 (2011). www.threatenedtaxa.org

Thorstad, E., T. Havn, S. Saether, L. Heermann, M. Teichert, O. Diserud, M. Tambets, J. Borcharding, et F. Okland. « Survival and behaviour of Atlantic salmon smolts passing a run-of-river hydropower facility with a movable bulb turbine », *Fisheries Management and Ecology*, vol. 24, n° 3 (2017), p. 199-207.

Tosh, D., I. Montgomery et N. Reid. *A review of the impacts of onshore wind energy development on biodiversity*, 2014. www.doeni.gov.uk/niea

Tougaard, J., J. Carstensen, J. Teilmann et N.I. Bech. *Effects of the Nysted Offshore Wind Farm on Harbour Porpoises: Annual Status Report for the T-Pod Monitoring Program*, rapport technique pour Energi E2 A/S. Aarhus, Danemark, National Environmental Research Institute, ministère de l'Environnement, 2005.

Tsoutsos, T., N. Frantzeskaki et V. Gekas. « Environmental impacts from the solar energy technologies », *Energy Policy*, vol. 33 (2005), p. 289-296. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00241-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00241-6)

Turney, D. et V. Fthenakis. « Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15 (2011), p. 3261-3270. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.023>

Uihlein, A. et D. Magagna. « Wave and tidal current energy—A review of the current state of research beyond technology », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 58 (2016), p. 1070-1081.

UNESCO – Centre du patrimoine mondial. *Note 6 – Impacts cumulatifs*, Centre du patrimoine mondial, s.d. <https://whc.unesco.org/fr/wind-energy/note6/>

United States Environmental Protection Agency. *Cumulative Impacts Research Recommendations for EPA's Office of Research and Development*, 2022.

Valera, F., L. Bolonio, A. La Calle et E. Moreno. *Deployment of Solar Energy at the Expense of Conservation Sensitive Areas Precludes Its Classification as an Environmentally Sustainable Activity*, 2022. Land 11:2330. <https://doi.org/10.3390/land11122330>

Vazquez, A. et G. Iglesias. « Capital costs in tidal stream energy projects – a spatial approach », *Energy*, vol. 107 (2016), p. 215-226.

Viehman, H. et G. Zydlewski. « Fish interactions with a commercial-scale tidal energy device in the natural environment », *Estuaries and Coasts*, vol. 38, n° 1 (2015), p. 241-252.

Wang, C. et R. Prinn. « Potential climatic impacts and reliability of very large-scale wind farms », *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 10 (2010), p. 2053-2061.

Wang, C. et R. G. Prinn. « Potential climatic impacts and reliability of large-scale offshore wind farms », *Environmental Research Letters*, vol. 6 (2011), 025101

Wang, W. et V. Fthenakis. « Kinetics study on separation of cadmium from tellurium in acidic solution media using ion-exchange resins », *Journal of Hazardous Materials*, vol. 125 (2005), p. 80-88. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.02.013>

Weimers, L. « HVDC Light: A New Technology for a Better Environment », *IEEE Power Engineering Review*, vol. 18, n° 8 (1998), p. 9-20.

Wenham, S.R., M.A. Green. « Silicon solar cells », *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 4 (1996), p. 3-33. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-159X\(199601/02\)4:1<3::AID-PIP117>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-159X(199601/02)4:1<3::AID-PIP117>3.0.CO;2-S)

White Consultants. *Pembrokeshire and Carmarthenshire: Cumulative Impact of Wind Turbines on Landscape and Visual Amenity guidance Council*, 2013. www.whiteconsultants.co.uk

Whitton, T.A., S.E. Jackson, J.G. Hiddink, B. Scoulding, D. Bowers, B. Powell., T. D'Urban Jackson, L. Gimenez et A.G. Davies. « Vertical migrations of fish schools determine overlap with a mobile tidal stream marine renewable energy device », *Journal of Applied. Ecology*, vol. 57, n° 4 (2020), p 729-741.

Wiatros-Motyka, M., D. Jones, H. Broadbent, N. Fulghum, C. Bruce-Lockhart, R. Dizon, P. Macdonald, C. Moore, A. Candlin, U. Lee, L. Copsey, S. Hawkins, M. Ewen , B. Worthington, H. Benham, M. Trueman, M. Yang, A. Lolla, A. Shahram Edianto et M. Bachelet. *Global Electricity Review 2023*, Ember, 2023.

Williamson, B., S. Fraser, L. Williamson, V. Nikora et B. Scott. « Predictable changes in fish school characteristics due to a tidal turbine support structure », *Renewable Energy*, vol. 141 (2019), p. 1092-1102.

Willsted, E.A., S. Jude, A.B. Gill et S.N.R. « Birchenough. Obligations and aspirations: A critical evaluation of offshore wind farm cumulative impact assessments », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, (2018), p. 2332-2345, Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.079>

Willyard, C.J. et S.M. Tikalsky. « Research gaps regarding the ecological effects of fragmentation related to transmission-line rights-of-way », *Environment Concerns in Rights-of-Way Management 8th International Symposium*, 2008, p. 521-527.

Winemiller, K.O., P. B. McIntyre, L. Castello, E. Fluet-Chouinard, T. Giarrizzo, S. Nam, I.G. Baird, W. Darwall, N.K. Lujan, I. Harrison, M.L.J. Stiassny, R.A.M. Silvano, D.B. Fitzgerald, F.M. Pelicice, A.A. Agostinho, L.C. Gomes, J.S. Albert, E. Baran, M. Petrere, C. Zarfl, M. Mulligan, J.P. Sullivan, C.C. Arantes, L.M. Sousa, A.A. Koning, D.J. Hoeninghaus, M. Sabaj, J.G. Lundberg, J. Armbruster, M.L. Thieme, P. Petry, J. Zuanon, G.T. Vilara, J. Snoeks, C. Ou, W. Rainboth, C.S. Pavanelli, A. Akama, A.V. Soesbergen et L. Sáenz. « Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong », *Science*, vol. 351, n° 6269 (2016), p. 128-129.

Winkelman, J.E. « Bird impact by middle size wind turbines on flight behaviour victims and disturbance », *Limosa*, vol. 58 (1985), p. 117-121.

Winkelman, J.E. *The impact of the Sep wind park near Oosterbierum, The Netherlands, on birds, 2: nocturnal collision risks*, rapport inédit du RIN 92/3, DLO-Instituut voor Bos-en Natuuronderzoek, Arnhem, Pays-Bas, 1992.

Xu Y., J. Li, Q. Tan et coll. « Global status of recycling waste solar panels: A review », *Waste Management*, vol. 75 (2018), p. 450-458. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.036>

Yang, X., K.A. Haas, H.M. Fritz, S.P. French, X. Shi, V.S. Neary et B. Gunawan. « National geodatabase of ocean current power resource in USA », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 44 (2015), p. 496-507, Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.007>

Yang, Z., Z. Ren, Z. Li et coll. « A comprehensive analysis method for levelized cost of energy in tidal current power generation farms », *Renewable Energy*, vol. 182 (2022), p. 982-991.

Yates, N., I. Walkington, R. Burrows et J. Wolf. « Appraising the extractable tidal energy resource of the UK's western coastal waters », *Philosophical Transactions of the Royal Society a Mathematical, Physical and Engineering Science*, 2013, p. 371.

Younes, W. et W.D. Loveland. *An introduction to nuclear fission*, Springer, 2021.

Zarębski, P. et D. Katarzyński. « Small Modular Reactors (SMRs) as a Solution for Renewable Energy Gaps: Spatial Analysis for Polish Strategy », *Energies*, vol. 16 (2023), p. 6491. <https://doi.org/10.3390/en16186491>

Zhang, J., S. Ali et L. Ping. « Asymmetric linkages between nuclear energy and environmental quality: Evidence from Top-10 nuclear energy consumer countries », *Nuclear Engineering and Technology*, vol. 55 (2023), p. 1878-1884. <https://doi.org/10.1016/j.net.2023.01.006>

Zhang, X., G. Huang, L. Liu et coll. « Development of an SMR-induced environmental input-output analysis model – Application to Saskatchewan, Canada », *Science of The Total Environment*, vol. 806 (2022), p. 150297. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150297>

Zhang, J., L. Xu et X. Li. « Review on the externalities of hydropower: A comparison, between large and small hydropower projects in Tibet based on the CO₂ equivalent », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 50 (2015), p. 176-185.

Zhixin, W., J. Chuanwen, A. Oian et W. Chengmin. « The key technology of offshore wind farm and its new development in China », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13 (2009) p. 216-222.

Zhou, L., Y. Tian, S.B. Roy, C. Thorncroft et L.F. Bosart. « Impacts of wind farms on land surface temperature », *Nature Climate Change*, vol. 2 (2012), p. 539-543.

Documents complémentaires

Tableau 1

| Initiative de croissance propre | Activité particulière ou répercussions générales sur l'environnement | Point à considérer | Effets cumulatifs associés à l'activité | Mesure d'atténuation | Référence |
|---------------------------------|--|---|--|--|--|
| Transport d'énergie | Répercussions des lignes de transport sur les oiseaux | Structures entraînant un changement de comportement | Évitement, répercussions sur la disponibilité des ressources alimentaires, utilisation de l'habitat et aires de repos, risque de prédation, dérangement des humains, altération de l'habitat | Adopter une approche de précaution pour les nouvelles structures de lignes de transport, encadrer leur construction, effectuer un suivi rigoureux, enlever les lignes de transport dans les sites de conservation. | Pruett et coll., 2009; King et coll., 2009; Santiago-Quesada et coll., 2014; Lorant et Vadasz, 2015; Silva et coll., 2010; Raab et coll., 2011 |
| Transport d'énergie | Répercussions des lignes de transport sur les oiseaux | Structures entraînant la mortalité | Collisions | Modifier les structures, enlever/modifier les lignes de transport, effectuer de la recherche et du suivi, renforcer la collaboration, élaborer d'autres conceptions. | Bevanger et Broseth, 2001; Tere et Parasharya, 2011 |

| | | | | | |
|--|---|---|---|---|--|
| Transport d'énergie | Répercussions des lignes de transport sur l'environnement | Changements liés aux structures ayant une incidence sur l'habitat | Fragmentation de l'habitat causée par les corridors | Des travaux de recherche supplémentaires sont nécessaires. | Andrews, 1990; Wilyard et Tikalsky, 2008 |
| Transport d'énergie | Répercussions des lignes de transport sur l'environnement | Répercussions sur les humains et l'environnement | Esthétique (répercussions visuelles et sonores), répercussions sur l'utilisation des terres, répercussions sur les milieux aquatiques et terrestres, répercussions sur les sites archéologiques et culturels, préoccupations en matière de sécurité (champs électromagnétiques, tension parasite), répercussions sur l'écosystème en général et sur l'eau | Réserver des terres pour les corridors de transport à l'avance, déterminer les corridors potentiels, définir les marges de recul, peaufiner les évaluations environnementales et solliciter les commentaires du public. | DeCicco et coll., 1992; Nuclear Regulatory Commission 2007; Public Service Commission of Wisconsin, 2012 |
| Transport d'énergie | Répercussions des lignes de transport sur l'utilisation des terres | Enlèvement de la végétation pour la construction et le tracé de lignes de transport | Visibilité, densité de la population humaine, caractère naturel de l'écosystème | Comparer différents tracés. | Bagli et coll., 2011 |
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions des structures d'énergie houlomotrice sur l'environnement | Perturbations liées aux structures | Encrassement biologique, récifs artificiels | S.O. | Langhamer et coll., 2009 |

| | | | | | |
|--|--|--|---|--|---|
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions sur les oiseaux (énergie marémotrice) | Effet hydrodynamique sur la densité des proies | Effet des barrages marémoteurs sur la superficie d'aires d'alimentation | Prendre en compte les effets de barrages sur les invertébrés. | Goss-Custard et coll., 1991 |
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions sur les oiseaux (énergie marémotrice, houlomotrice, des courants et osmotique) | Répercussions sur les espèces sauvages, l'hydrodynamique | Écoulement de l'eau, comportement des espèces sauvages, bruit dans l'habitat, produits chimiques, champs électromagnétiques, activité côtière | Faire un choix judicieux de la méthode/améliorer les évaluations du cycle vital. | Rahman et coll., 2022 |
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions sur l'environnement (énergie thermique océanique) | Répercussions sur le microclimat et la biochimie | Effets des effluents sur le refroidissement à la surface et la production biologique | Utilisation proposée des modèles | Nickoloff, 2023 |
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions sur l'environnement (énergie thermique océanique) | Répercussions sur les milieux océaniques profonds | Rejet d'effluents dans les profondeurs de l'océan : désoxygénation; rejets chimiques; remontée artificielle; la température influe sur la répartition des larves, la croissance du plancton, etc. | Des travaux de recherche supplémentaires sont nécessaires. | Levin et coll., 2023 |
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions sur l'environnement (énergie thermique océanique) | Répercussions sur les processus environnementaux | Fuite de produits chimiques, enrichissement en éléments nutritifs, dommages aux animaux, dispersion de l'eau de mer, encrassement biologique, corrosion | Des travaux de recherche supplémentaires sont nécessaires. | Devault et Péné-Annette, 2017; Bordbar et coll., 2023 |

| | | | | | |
|--|--|---|--|--|---------------------------------------|
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions sur l'environnement (énergie thermique océanique) | Répercussions sur les espèces sauvages | Incidence sur diverses espèces de mégafaune (mammifères, reptiles, plancton, poissons, etc.) et la production primaire, entraînement | Comprendre l'habitat, les activités de pêche, les facteurs de recrutement, les caractéristiques des populations de poissons; effectuer la surveillance acoustique systématique, le suivi régulier des paramètres océaniques, des échantillons d'eau prélevés | Harrison, 1987; Comfort et Vega, 2011 |
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions sur l'environnement (énergie osmotique [gradient de salinité]) | Répercussions (directes/indirectes) pendant la construction, l'exploitation et la mise hors service | Perturbation de l'habitat, rejet d'effluents, pollution, bruit, modification des terres | Continuer à enrichir le corpus de connaissances. | Seyfried et coll., 2019 |
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions sur l'environnement (énergie marémotrice) | Effets hydrodynamiques sur le caractère convenable de l'habitat | Effets des réseaux de turbines marémotrices sur l'hydrodynamique | Élaborer des modèles plus complets. | du Feu et coll., 2019 |
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions sur l'environnement (énergie marémotrice, houlomotrice, des courants et thermique océanique) | Répercussions des structures sur les espèces sauvages | Bruit, altération de l'habitat, produits chimiques, collisions | Des travaux de recherche supplémentaires sont nécessaires. | Gill et Boehlert, 2010 |

| | | | | | |
|--|---|--|---|--|---|
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions sur l'environnement (énergie marémotrice et houlomotrice) | Altération de l'habitat liée aux structures et de nature hydrodynamique, perturbation des aires d'alimentation | Obstacle à la migration, recrutement, déplacement des larves, bruit, champs électromagnétiques, etc. | Choisir les sites, faire la planification et prendre des mesures de compensation de façon judicieuse. | Frid et coll., 2012 |
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions sur l'environnement (énergie houlomotrice) | Répercussions sur les espèces sauvages | Milieu physique, habitat, poissons, oiseaux, mammifères, produits chimiques, lumière (éclairage), acoustique, champs électromagnétiques, etc. | S.O. | Boehlert, 2007 |
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions sur l'environnement (énergie houlomotrice, des courants et thermique océanique) | Répercussions liées aux structures sur les processus socioéconomiques et relatives aux espèces sauvages, à l'habitat et à l'écosystème | Bruit, collisions, systèmes océanographiques, enchevêtrement, entraînement, champs électromagnétiques | S.O. | Oman, 2022 |
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions sur les poissons | Répercussions liées aux structures sur la mortalité et le comportement | Champs électromagnétiques; collisions; changements dans l'habitat, l'alimentation, la fraie; évitement | Des travaux de recherche supplémentaires sont nécessaires. | Copping et coll., 2021 |
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions sur les poissons (énergie marémotrice) | Effet hydrodynamique sur les populations de poissons | Marées descendantes/montantes, cycle nyctéméral, répercussions sur les bancs de poissons, vitesse, effets de cisaillement, température, taille et comportement des poissons | Prévoir les changements à l'avance grâce au suivi, améliorer le choix des sites, effectuer le suivi des poissons sur de plus | Viehman et Zydlewski, 2015; Fraser et coll., 2018; Williamson et coll., 2019; Scherelis |

| | | | | | |
|--|---|--|--|---|--|
| | | | | grandes échelles spatiales. | et coll., 2020; Whitton et coll., 2020 |
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions sur le phoque commun (énergie marémotrice) | Incidence du bruit sur la mortalité et le comportement | Bruit | Comprendre l'écologie du phoque. | Hastie et coll., 2017 |
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions sur l'hydrodynamique (énergie marémotrice) | Répercussions des structures artificielles sur le processus hydrodynamique naturel | Les réseaux de turbines modifient les processus hydrodynamiques naturels. | Tenir compte des changements hydrodynamiques. | de Dominicis et coll., 2017 |
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Incidence sur l'hydrodynamique (énergie marémotrice) | Perturbation de l'hydrodynamique | Effets du réseau de turbines sur l'écoulement | Adopter une approche de précaution à mesure que le nombre de réseaux augmente | Haverson, 2017; Haverson, 2018 |
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions sur l'hydrodynamique (énergie marémotrice) | Répercussions hydrodynamiques sur les sédiments | Effets des réseaux sur la vitesse d'écoulement et le niveau de l'eau; effets des turbines sur les sédiments en suspension | Étudier les problèmes hydrodynamiques. | Ramos et coll., 2013; LI et coll., 2020 |
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions sur les mammifères marins (énergie marémotrice) | Incidence des structures et du bruit sur la mortalité et le comportement | Collisions; évitement; rétrodiffusion acoustique; changement de la répartition et du comportement des proies en fonction des variations des marées | Tenir compte des prédateurs sensibles au bruit, des caractéristiques et du suivi propres aux sites. | Benjamins et coll., 2015; Gonzalez et coll., 2019; |

| | | | | | |
|--|---|---|--|--|-----------------------------|
| | | | | | Onoufriou et coll., 2021 |
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions sur la dispersion des sédiments (énergie marémotrice) | Effet hydrodynamique sur les sédiments | Les réseaux de turbines modifient la structure des sédiments. | Limiter l'étendue des réseaux. | Neill et coll., 2012 |
| Énergie hydrocinétique en milieu marin | Répercussions sur le milieu côtier (énergie marémotrice) | Répercussions hydrodynamiques sur l'environnement | Altération causée par les réseaux de turbines (écosystèmes, sédiments, polluants, matière organique, turbulence, aération, turbidité, disponibilité de la lumière) | Des travaux de recherche supplémentaires sont nécessaires. | Largier et coll., 2008 |
| Énergie renouvelable | Répercussions de l'exploitation de l'énergie renouvelable | Diverses répercussions sur les humains et l'environnement | Changements dans le comportement des espèces sauvages | Élaborer de multiples stratégies d'atténuation pour chaque technologie émergente. | Northrup et Wittemyer, 2013 |
| Petites centrales hydroélectriques (barrage) | Effet de barrière (environnement et écologie) | Les barrières ont une incidence sur l'eau, les éléments nutritifs, les produits chimiques, l'écoulement, la connectivité chez les animaux | Fragmentation des cours d'eau à grande échelle | Construire des barrages sur les rivières où il y en a déjà pour protéger la connectivité restante. | Anderson et coll., 2008 |

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|---------------------------------------|
| Petites centrales hydroélectriques (barrage) | Effet de barrière sur les poissons | Obstruction au déplacement des poissons | Assemblages de poissons différents en amont et en aval d'un petit barrage | S.O. | Anderson et coll., 2006 |
| Petites centrales hydroélectriques (barrage) | Incidence de la modification des débits sur l'environnement et les invertébrés | La modification des débits réduit la qualité de l'eau et la quantité d'eau. | Débits plus faibles, qualité de l'eau réduite et macroinvertébrés moins nombreux | Intégrer les effets observés aux protocoles de suivi. | Mantel et coll., 2010 |
| Petites centrales hydroélectriques (barrage) | Incidence de la modification des débits sur les poissons | Diminution du débit et de la vitesse d'écoulement nuisible pour les poissons | Déclin des poissons dont les besoins en matière de reproduction sont touchés; propagation des poissons colonisateurs opportunistes | S.O. | Anderson et coll., 2006 |
| Petites centrales hydroélectriques (barrage) | Incidence de la modification des débits sur les poissons | Un débit irrégulier nuit à l'habitat des truites. | Diminution de la densité et de la biomasse et manque de recrutement de la truite brune | Continuer le suivi, seulement pendant un an après la construction. | Almodóvar et coll., 1999 |
| Petites centrales hydroélectriques (barrage) | Répercussions de leur présence sur les poissons | Les petits barrages peuvent entraîner une augmentation de la température des eaux en aval. | Changements dans les assemblages de communautés de poissons | Mieux tenir compte de l'altération de l'habitat, non pas seulement de sa destruction et de sa fragmentation. | Hayes et coll., 2006 |
| Petites centrales hydroélectriques (barrage) | Répercussions des réservoirs sur l'écologie | Changements permanents des caractéristiques de | Changements écologiques | S.O. | IEA, 1998 dans Abbasi et Abbasi, 2012 |

| | | | | | |
|--|---|--|--|--|---|
| | | l'habitat en amont d'un barrage | | | |
| Petites centrales hydroélectriques (au fil de l'eau) | Effet de barrière sur les poissons | Obstruction au déplacement des poissons | Déclin des espèces en voie de disparition, changements importants dans les communautés de poissons et leur habitat | Prendre des mesures de remise en état et pour les passes à poissons dans l'habitat touché pour accroître la connectivité, effectuer plus de recherches spécialisées. | Habit et coll., 2007; Lucas et coll., 2009; Gibeau et coll., 2017 |
| Petites centrales hydroélectriques (au fil de l'eau) | Incidence de la modification des débits sur l'écologie | Un débit faible nuit à la connectivité. | Réduction de la connectivité | Effectuer une planification adéquate. | Kuriqi et coll., 2021 |
| Petites centrales hydroélectriques (au fil de l'eau) | Incidence de la modification des débits sur l'écologie | Un débit faible nuit à l'habitat. | Dégradation de l'habitat aquatique | Effectuer une planification adéquate. | Kuriqi et coll., 2021 |
| Petites centrales hydroélectriques (au fil de l'eau) | Incidence de la modification des débits sur l'environnement | Un débit faible réduit la qualité de l'eau et la quantité d'eau. | Dégradation du milieu aquatique | Déterminer les effets particuliers d'une mauvaise qualité de l'eau. | Koralay et coll., 2018 |
| Petites centrales hydroélectriques (au fil de l'eau) | Incidence de la modification des débits sur les poissons | Un débit réduit a une incidence sur les salmonidés. | Déclin potentiel des salmonidés | S.O. | Robson, 2013 |

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|------------------------|
| Petites centrales hydroélectriques (au fil de l'eau) | Incidence de la modification des débits sur les poissons | La modification des débits a une incidence sur la qualité de l'eau et l'habitat. | Pièrre qualité de l'habitat des poissons, abondance réduite des poissons, changement dans les assemblages de communautés de poissons | Protéger les passes à poissons et préserver l'écoulement naturel. | Benejam et coll., 2016 |
| Petites centrales hydroélectriques (au fil de l'eau) | Incidence de la modification des débits sur les poissons | Le débit irrégulier nuit à l'habitat des salmonidés. | Déclin potentiel des salmonidés | Effectuer plus de recherches spécialisées; tenir compte des effets cumulatifs. | Gibeau et coll., 2017 |
| Petites centrales hydroélectriques (au fil de l'eau) | Incidence de la modification des débits sur les poissons | Perte de certains types d'habitat | Réduction de la biomasse et changements dans les communautés de poissons et la structure par âge | Évaluer soigneusement les nouveaux projets. | Ovidio et coll., 2008 |
| Petites centrales hydroélectriques (au fil de l'eau) | Incidence de la modification des débits sur les poissons | Un débit faible nuit à l'habitat des salmonidés. | Déclin potentiel des salmonidés | Effectuer plus de recherches spécialisées; tenir compte des effets cumulatifs. | Gibeau et coll., 2017 |
| Petites centrales hydroélectriques (au fil de l'eau) | Incidence de la modification des débits sur les poissons | Les niveaux d'eau faibles nuisent à l'habitat des poissons. | Déclin des poissons de grande taille lorsque le niveau d'eau est bas | Maintenir un débit minimal. | Kubečka et coll., 1997 |
| Petites centrales hydroélectriques (au fil de l'eau) | Incidence de la modification des débits sur les poissons | Les niveaux d'eau faibles nuisent à l'habitat des poissons. | Diminution de la biomasse de poissons lorsque le niveau d'eau est bas | Maintenir un débit minimal. | Kubečka et coll., 1997 |

| | | | | | |
|--|---|--|---|--|------------------------|
| Petites centrales hydroélectriques (au fil de l'eau) | Incidence de la modification des débits sur les poissons | Les niveaux d'eau faibles entravent les déplacements des poissons. | Ils empêchent la fraie des poissons migrateurs. | Maintenir un débit minimal | Kubečka et coll., 1997 |
| Petites centrales hydroélectriques (au fil de l'eau) | Incidence de la modification des débits sur les invertébrés | Un débit réduit nuit aux invertébrés. | Aucune réduction importante des EPT (éphéméroptères, plécoptères et trichoptères) | S.O. | Copeman, 1997 |
| Petites centrales hydroélectriques (au fil de l'eau) | Incidence de la modification des débits sur les invertébrés | La modification des débits a une incidence sur la qualité de l'eau et les caractéristiques de l'habitat. | Plus grande richesse en diatomées en aval de l'installation | Effectuer plus de recherches sur d'autres espèces. | Wu et coll., 2009 |
| Petites centrales hydroélectriques (au fil de l'eau) | Incidence de la modification des débits sur les invertébrés | Un débit faible diminue les niveaux d'eau, augmente les sédiments et la matière organique particulaire. | Déclin des communautés d'invertébrés | S.O. | Jesus et coll., 2004 |
| Petites centrales hydroélectriques (au fil de l'eau) | Incidence de la modification des débits sur les invertébrés | Un débit faible diminue les niveaux d'eau, augmente les sédiments et la matière organique particulaire. | Invertébrés sensibles des milieux lotiques remplacés par des invertébrés résilients des milieux lentiques | S.O. | Jesus et coll., 2004 |
| Petites centrales hydroélectriques (au fil de l'eau) | Répercussions sur les poissons | De nombreux aspects de la construction et de l'exploitation ont une incidence sur les poissons. | Diminution de la richesse en espèces de poissons | Déterminer les facteurs du changement. | Bilotta et coll., 2016 |

| | | | | | |
|---|---|--|---|--|---------------------------------------|
| Petites centrales hydroélectriques (au fil de l'eau) | Incidence des turbines sur les poissons | Petit pourcentage de lamproies blessées par les turbines | Déclin potentiel de l'abondance des lamproies dans plusieurs sites | Les organismes de réglementation devraient tenir compte des effets cumulatifs. | Bracken et Lucas, 2013 |
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Effet de barrière (écologie) | Obstruction au déplacement des poissons et d'autres espèces sauvages | Discontinuité de l'habitat des poissons et d'autres espèces sauvages à long terme | Effectuer une planification adéquate. | Başkaya et coll., 2011 |
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Effet de barrière sur les poissons | Obstruction au déplacement des poissons | Déclin des poissons de grande taille en amont des installations | S.O. | Santos et coll., 2006 |
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Effet de barrière sur les poissons | Obstruction au déplacement des poissons | Déclin des poissons migrateurs | Étudier les passes à poissons. | Lariner, 2008 |
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Effet de barrière sur les poissons | Obstruction au déplacement des poissons migrateurs et résidents | Perturbation à grande échelle des cycles vitaux | S.O. | IEA, 1998 dans Abbasi et Abbasi, 2012 |
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Incidence de la construction sur l'écologie | Le bruit et la poussière peuvent perturber les processus du cycle vital. | Perturbations de la reproduction d'espèces prioritaires | Planifier la construction en fonction des espèces prioritaires. | Başkaya et coll., 2011 |

| | | | | | |
|---|---|---|--|---|---------------------------------------|
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Incidence de la construction sur l'environnement | Bruit, poussière, turbidité, contamination | Effets à court terme (se terminent à la fin de la construction), mais qui pourraient s'accumuler, au détriment de l'environnement, lorsqu'il y a de nombreux projets de développement en même temps dans un bassin versant | Effectuer une planification adéquate. | IEA, 1998 dans Abbasi et Abbasi, 2012 |
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Incidence de la modification des débits sur l'écologie | Répercussions sur les caractéristiques de l'habitat aquatique | Changements dans la biodiversité et l'abondance | S.O. | IEA, 1998 dans Abbasi et Abbasi, 2011 |
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Incidence de la modification des débits sur l'écologie | Répercussions sur les caractéristiques de l'habitat aquatique | Changements dans la biodiversité et l'abondance | S.O. | IEA, 1998 dans Abbasi et Abbasi, 2011 |
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Incidence de la modification des débits sur l'environnement | La modification des débits change l'habitat. | Discontinuité de l'habitat pour les humains et le biote sauvage | Effectuer une planification adéquate, remettre en état l'habitat. | Başkaya et coll., 2011 |
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Incidence de la modification des débits sur l'environnement | Réduction de l'aération des plans d'eau | Effet négatif sur les écosystèmes aquatiques | S.O. | IEA, 1998 dans Abbasi et Abbasi, 2011 |
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Incidence de la modification des débits sur l'environnement | La réduction des débits concentre les polluants. | Effet négatif sur la qualité de l'eau et l'écosystème | Plans de haute chute considérés comme inacceptables | IEA, 1998 dans Abbasi et Abbasi, 2012 |

| | | | | | |
|---|--|---|---|--|---------------------------------------|
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Incidence de la modification des débits sur l'environnement | Sédimentation, érosion, turbidité, visibilité | Effets négatifs sur les écosystèmes aquatiques en général | S.O. | IEA, 1998 dans Abbasi et Abbasi, 2012 |
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Incidence de la modification des débits sur les poissons | Saturation excessive en azote | Mortalité continue des poissons touchés | Mettre au point une conception adéquate. | IEA, 1998 dans Abbasi et Abbasi, 2012 |
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Incidence de la modification des débits sur les humains | Les inondations ont une incidence sur l'utilisation des terres. | Effets négatifs sur l'agriculture, les infrastructures et d'autres sites importants | S.O. | IEA, 1998 dans Abbasi et Abbasi, 2011 |
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Nombreuses activités ayant une incidence sur l'écologie | La construction, l'obstruction et l'exploitation dégradent l'habitat. | Détérioration de l'habitat d'espèces prioritaires | Effectuer une planification adéquate. | Başkaya et coll., 2011 |
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Nombreuses activités ayant une incidence sur l'écologie | Nombreux effets sur les milieux aquatiques, riverains et terrestres | Changements écologiques | Améliorer les normes d'évaluation; tenir compte des effets cumulatifs. | Kibler et Tullos, 2013 |
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Nombreuses activités ayant une incidence sur l'environnement | L'assèchement dégrade la qualité de l'eau. | Dégradation du milieu aquatique | Améliorer les normes d'évaluation; tenir compte des effets cumulatifs. | Kibler et Tullos, 2013 |

| | | | | | |
|---|---|---|--|--|---------------------------------------|
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | La construction et la présence d'installations ont une incidence sur l'environnement et l'écologie. | Les activités ont une incidence sur les débits et l'utilisation des terres. | Acquisition de terres à l'échelle du bassin versant et déviation de l'écoulement | S.O. | Zhang et coll. 2015 |
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Répercussions sur l'écologie | De nombreux aspects dégradent l'abondance et la diversité de l'habitat. | Dégradation de l'habitat | Effectuer des analyses spatiales pour démontrer les effets cumulatifs et évaluer les limites de tolérance, ce qui peut grandement contribuer à la planification. | Erikstad et coll., 2020 |
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Répercussions sur l'écologie | L'exploitation a une incidence sur l'écologie en aval. | Dégradation écologique en aval | Veiller au bon fonctionnement des installations. | Pang et coll., 2015 |
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Répercussions sur les humains | Nuisance visuelle | Dégradation de sites ayant une valeur culturelle | Tenir compte de critères esthétiques dans la conception. | IEA, 1998 dans Abbasi et Abbasi, 2012 |
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Incidence des déchets sur l'environnement | Pollution résultant des déchets solides, liquides et de combustible | Contamination de l'environnement | Stocker les déchets adéquatement. | Başkaya et coll., 2011 |

| | | | | | |
|---|---|---|--|---|---------------------------------------|
| Petites centrales hydroélectriques (type non précisé) | Incidence des déchets sur l'environnement | Pollution de l'eau en raison des agents biocides ou antialissures | Effet négatif sur la qualité de l'eau et l'écosystème | Utiliser des composés biodégradables. | IEA, 1998 dans Abbasi et Abbasi, 2012 |
| Énergie solaire | Répercussions des déchets de l'énergie solaire sur l'environnement | Effets terrestres des déchets | | | Xu et coll., 2018 |
| Énergie solaire | Répercussions sur l'environnement | Diverses répercussions sur les humains et l'environnement | Biodiversité, approvisionnement en eau, sols, santé humaine et utilisation des terres | | Hernandez et coll., 2014 |
| Énergie solaire | Répercussions sur l'environnement | Diverses répercussions sur les humains et l'environnement | Écosystèmes terrestres, habitat, écosystèmes aquatiques, approvisionnement en eau, agriculture | | Hernandez et coll., 2019 |
| Énergie éolienne (les deux) | Incidence sur terre et au large sur les espèces sauvages, le climat, les humains (dérangement), l'environnement | Effets directs et indirects des structures sur divers récepteurs | Collisions et changements de comportement chez les oiseaux et les chauves-souris, érosion du sol, changement du microclimat, dérangement, perturbation des espèces marines, champs électromagnétiques, déforestation | S.O. | Dai et coll., 2015 |
| Énergie éolienne (les deux) | Incidence sur les espèces sauvages sur terre et au large | Défis préliminaires liés à l'évaluation des effets cumulatifs | Évaluations ne portant pas spécifiquement sur des effets particuliers | Éléments et défis à considérer à l'avenir | Gill et Hein, 2022 |

| | | | | | |
|-----------------------------|---|---|--|---|---------------------------|
| Énergie éolienne (les deux) | Incidence sur terre et au large sur les espèces sauvages, le climat, les humains (dérangement), l'environnement | Effets directs et indirects des structures sur divers récepteurs | Bruit, incidence visuelle sur les humains, mortalité et changements de comportement chez les oiseaux et les chauves-souris, changements du climat, effets de sillage | Améliorer les politiques. | Leung et Yang, 2012 |
| Énergie éolienne (les deux) | Incidence des éoliennes terrestres et extracôtières sur la biodiversité | Divers effets directs et indirects sur la mortalité et entraînant l'évitement | P. ex., perte d'habitat, activités humaines, migration, fragmentation, collisions, effet de barrière, pollution, cascade trophique, espèces envahissantes, changements hydrodynamiques, collisions avec des bateaux, champs électromagnétiques | Mettre en œuvre de mesures compensatoires pour la biodiversité, effectuer un suivi rigoureux, renforcer les politiques et la réglementation. | Bennun et coll., 2021 |
| Énergie éolienne (les deux) | Incidence des éoliennes terrestres et extracôtières sur les oiseaux | Structures provoquant des collisions | Écologie des oiseaux, choix de l'emplacement et aménagement des sites d'éoliennes | Améliorer la sélection des sites, tenir compte des changements d'éclairage (éoliennes sont éclairées), mettre hors service les éoliennes non utilisées. | Drewitt et Langston, 2008 |
| Énergie éolienne (les deux) | Perturbations visuelles dues à la présence d'éoliennes | Les structures sont des perturbations visuelles pour les humains. | Acceptabilité des projets en raison des perturbations visuelles | S.O. | Ladenburg, 2015 |

| | | | | | |
|--------------------------------|--|--|---|---|--|
| Énergie éolienne (extracôtère) | Incidence des parcs éoliens extracôtiers sur la température à la surface terrestre | Causes opérationnelles de changements microclimatiques | Changements de température terrestre et précipitations | Des travaux de recherche supplémentaires sont nécessaires. | Wang et Prinn, 2011 |
| Énergie éolienne (extracôtère) | Incidence des éoliennes extracôtères sur les oiseaux | Causes de mortalité/d'évitement liées au comportement | Collisions, changements de comportement | S.O. | Desholm et Kalert, 2005 |
| Énergie éolienne (extracôtère) | Incidence des éoliennes extracôtères sur les oiseaux | Causes de mortalité/d'évitement liées au comportement | Déplacements (délogement), collisions | Utiliser des indices de déplacement. | Furness et coll., 2013 |
| Énergie éolienne (extracôtère) | Incidence des éoliennes extracôtères sur les oiseaux | Mortalité due au niveau d'abondance des proies | Diminution des harengs en raison du bruit causé par la construction | Adopter une approche de précaution pour établir le calendrier et la durée des travaux de battage de pieux, mettre en place un suivi à long terme. | Perrow et coll., 2011 |
| Énergie éolienne (extracôtère) | Incidence des éoliennes extracôtères sur les oiseaux | Structures entraînant un évitement | Changements de comportement | Cartographier les voies migratoires et utiliser des appareils de télédétection. | Masden et coll., 2009; Plonczkier et Simms, 2012 |

| | | | | | |
|---------------------------------|---|--|--|---|---|
| Énergie éolienne (extracôtière) | Incidence des éoliennes extracôtières sur les oiseaux | Causes de mortalité/d'évitement liées au comportement/aux structures | Collisions, changements de comportement | Concevoir l'aménagement et faire des changements opérationnels en conséquence; comprendre le comportement (des oiseaux) et l'environnement. | Croll et coll., 2022 |
| Énergie éolienne (extracôtière) | Incidence des éoliennes extracôtières sur les oiseaux | Causes de mortalité/d'évitement liées au comportement/aux structures | Perte d'habitat, collisions, effet de barrière, perturbations | Réduire les incertitudes dans les évaluations environnementales. | |
| Énergie éolienne (extracôtière) | Incidence des éoliennes extracôtières sur l'environnement | Causes de mortalité/d'évitement liées au comportement/aux structures | Perte d'habitat, collisions, effet de barrière, perturbations, etc. | Utiliser un logiciel de modélisation à code source libre. | Gusatu et coll., 2021 |
| Énergie éolienne (extracôtière) | Incidence des éoliennes extracôtières sur l'environnement et les activités humaines | Effets directs et indirects des structures sur divers récepteurs | Plus de 100 facteurs de production d'incidence (effets cumulatifs) | Prendre en compte tous les effets. | Bureau of Ocean Energy Management, 2019, 2020 |
| Énergie éolienne (extracôtière) | Incidence des éoliennes extracôtières sur | Diverses causes directes et indirectes | Changements dans l'océanographie, le plancton, les communautés benthiques, les | Utiliser des modèles/effectuer des | Michel et coll., 2013 |

| | | | | | |
|---------------------------------|---|---|---|---|----------------------------|
| | l'environnement et les activités humaines | | espèces sauvages et les ressources socioéconomiques | recherches plus approfondies. | |
| Énergie éolienne (extracôtière) | Incidence des éoliennes extracôtières sur le marsouin commun | Causes de mortalité/d'évitement liées au comportement | Changements de l'habitat, bruit | Mettre en œuvre des mesures de dissuasion. | Tougaard et coll., 2005 |
| Énergie éolienne (extracôtière) | Incidence des éoliennes extracôtières sur le marsouin commun | Effets indirects ou des structures ou sur le comportement (évitement ou mortalité) | Changements de l'habitat, collisions directes, bruit | S.O. | Mann et Teilmann, 2013 |
| Énergie éolienne (extracôtière) | Incidence des éoliennes extracôtières sur les espèces sauvages | Effets à diverses étapes de la construction, de l'exploitation et de la mise hors service | Divers facteurs de production d'incidence, notamment la construction, les champs électromagnétiques, le bruit | Éviter certaines zones, utiliser des relevés, prendre des mesures de compensation, prévoir les effets négatifs, prendre des mesures visant à réduire au minimum les perturbations et les effets négatifs. | Goodale et Milman, 2016 |
| Énergie éolienne (extracôtière) | Incidence des éoliennes extracôtières sur les poissons et les mammifères aquatiques | Bruit causant des changements de comportement | Bruit causé par la construction et l'exploitation | Éviter les périodes de reproduction/fraie, mettre en place un rideau de bulles d'air, effectuer le suivi des populations, entrer les éoliennes extracôtières dans les | David, 2006; Kikuchi, 2007 |

| | | | | | |
|---------------------------------|--|---|--|--|--|
| | | | | bases de données sur le bruit. | |
| Énergie éolienne (extracôtière) | Incidence des éoliennes extracôtières sur les espèces sauvages | Causes de mortalité/d'évitement liées aux structures ou au comportement pendant la construction, l'exploitation et la mise hors service | Prendre en compte les récepteurs et les facteurs de stress : mammifères marins, poissons, tortues, oiseaux, pêches, habitat, champs électromagnétiques, ressources visuelles, transport, ressources culturelles, milieu acoustique, risques géologiques, météorologie, climat, déchets, tourisme, etc. | Inscrit, mais S.O. | MMS, 2007 |
| Énergie éolienne (extracôtière) | Incidence des éoliennes extracôtières sur les espèces sauvages | Effets associés aux étapes de la construction et de la mise hors service | Altération de l'habitat, destruction du benthos, bruit, vibrations, champs électromagnétiques, collisions, compétition, prédation, disponibilité des ressources alimentaires, évitement | Continuer le suivi et la recherche. | Gill, 2005 |
| Énergie éolienne (terrestre) | Incidence du bruit des éoliennes terrestres sur les humains | Bruit produit par les éoliennes | Désagrément, perturbation du sommeil, autres effets potentiels sur la santé | S.O. | Pederson et Waye, 2004; Colby et coll., 2009; Bolin et coll., 2011 |
| Énergie éolienne (terrestre) | Incidence des parcs éoliens terrestres sur la température à la surface terrestre | Causes opérationnelles de changements microclimatiques | Changements de température terrestre | Des travaux de recherche supplémentaires sont nécessaires. | Wang et Prinn, 2010; Zhou et coll., 2012 |

| | | | | | |
|------------------------------|---|--|---|---|---|
| Énergie éolienne (terrestre) | Incidence des éoliennes terrestres sur les chauves-souris | Causes de mortalité liées aux structures ou au comportement | Collisions | Changer les vitesses de démarrage, les angles du rotor; utiliser des ultrasons pour brouiller l'écholocation; comprendre l'écologie des chauves-souris. | Durr et Bach, 2004; Szweczak et Arnett, 2006; Arnett et coll., 2008; Cryan, 2008; Baerwald et coll., 2009; Cryan et Barclay, 2009 |
| Énergie éolienne (terrestre) | Incidence des éoliennes terrestres sur la biodiversité | Causes potentielles de mortalité des oiseaux et des chauves-souris | En général, les cas de collision avec des éoliennes et les autres facteurs de mortalité n'ont pas été étudiés sous l'angle des effets cumulatifs. | S.O. | Tosh, Montgomery et Reid, 2014 |
| Énergie éolienne (terrestre) | Incidence des éoliennes terrestres sur les oiseaux | Causes de mortalité liées à la morphologie | Propension morphologique des espèces à voler dans les zones de collision | S.O. | Herrera-Alsina et coll., 2013 |
| Énergie éolienne (terrestre) | Incidence des éoliennes terrestres sur les oiseaux | Structures entraînant un comportement d'évitement, ou causant la mortalité ou des collisions | Aménagement des éoliennes, collisions, changements de comportement chez les oiseaux, écologie et comportement des oiseaux | Modéliser les interactions des oiseaux avec les parcs éoliens, arrêter les éoliennes de façon saisonnière, améliorer la planification des sites, mieux comprendre les aversions chez les espèces sauvages et la | Winkelman, 1985; Winkelman, 1992; Still et coll., 1997; Larsen et Madsen, 2000; de Lucas et coll., 2004; |

| | | | | | |
|------------------------------|--|---|--|--|--|
| | | | | planification de la gestion adaptative. | Madsen et Boertmann, 2008; Smallwood et coll., 2010; Pearce-Higgins et coll., 2008; Sugimoto et Matsuda, 2011; Carrete et coll., 2012; Marques et coll., 2014; Scottish Natural Heritage, 2018 |
| Énergie éolienne (terrestre) | Incidence des éoliennes terrestres sur les oiseaux et les chauves-souris | Structures entraînant un comportement d'évitement ou causant la mortalité | Collisions, déplacements, perturbations, altération de l'habitat, perte d'habitat, évitement, effet des barrière, mortalité directe ou indirecte de la faune ailée | Modéliser les interactions des oiseaux et des chauves-souris avec les parcs éoliens; améliorer la sélection des sites, l'aménagement des parcs éoliens; élaborer de meilleures politiques, lignes directrices; augmenter le financement; mettre au point des données spatiales; échanger des renseignements. | Hotker et coll., 2006; Laranjeiro et coll., 2018; Jansen et coll., 2023 |

| | | | | | |
|------------------------------|--|---|---|--|--|
| Énergie éolienne (terrestre) | Incidence des éoliennes terrestres sur les oiseaux et les chauves-souris | Causes de mortalité liées aux structures ou au comportement chez les espèces nocturnes | Collisions, changements de comportement | Augmenter le nombre de relevés visuels; utiliser les données de radars, de radiotélémétrie, des études de capture-recapture; faire de la surveillance acoustique, des analyses d'ADN; et effectuer le suivi de la faune ailée pendant les différentes étapes de la construction. | Kunz et coll., 2007 |
| Énergie éolienne (terrestre) | Incidence des éoliennes terrestres sur la faune terrestre | Structures entraînant un évitement | Changements de comportement, altération de l'habitat | Comprendre les mécanismes, utiliser les connaissances locales. | Eftestol et coll., 2023 |
| Énergie éolienne (terrestre) | Perturbations visuelles et du paysage | Les structures sont des perturbations visuelles pour les humains et des perturbations du paysage. | Acceptabilité des projets en raison des perturbations visuelles; changements de l'aménagement matériel, des combinaisons de multiples projets éoliens ou des types de perturbations visuelles | Limiter les rencontres; élaborer des politiques pour la planification. | Ladenburg et Dahlgard, 2012; White Consultants, 2013 |