



Pêches et Océans  
Canada

Fisheries and Oceans  
Canada

Sciences des écosystèmes  
et des océans

Ecosystems and  
Oceans Science

## **Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)**

---

**Document de recherche 2019/044**

**Région de la capitale nationale**

### **Gestion des ressources en période de changements climatiques : stratégie fondée sur les risques pour l'élaboration d'avis scientifiques qui tiennent compte du climat**

Daniel E. Duplisea<sup>1</sup>, Marie-Julie Roux<sup>1</sup>, Karen L. Hunter<sup>2</sup>, Jake Rice<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pêches et Océans Canada, Institut Maurice-Lamontagne, Mont-Joli (Québec)

<sup>2</sup>Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo (Colombie-Britannique)

<sup>3</sup>Pêches et Océans Canada, administration centrale – 200, rue Kent, Ottawa (Ontario)

---

## Avant-propos

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

### Publié par :

Pêches et Océans Canada  
Secrétariat canadien de consultation scientifique  
200, rue Kent  
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

<http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/>  
[csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca](mailto:csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca)



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2020  
ISSN 2292-4272

### La présente publication doit être citée comme suit :

Duplisea, DE, Roux, M-J, Hunter, KL, et Rice, J. 2020. Gestion des ressources en période de changements climatiques : stratégie fondée sur les risques pour l'élaboration d'avis scientifiques qui tiennent compte du climat. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2019/044. v +50. p

### *Also available in English :*

Duplisea, DE, Roux, M-J, Hunter, KL, and Rice, J. 2020. Resource management under climate change: a risk-based strategy to develop climate-informed science advice. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2019/044. v + 45 p.

---

## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ .....	v
1. INTRODUCTION .....	1
1.1.....JUSTIFICATION	1
1.2.....LES AVIS DESTINÉS AU MINISTÈRE SONT FONDÉS SUR LE RISQUE	3
2. UNE STRATÉGIE FONDÉE SUR LE RISQUE POUR ÉLABORER DES AVIS SCIENTIFIQUES CONDITIONNÉS PAR LE CLIMAT .....	8
3. DÉFINITION ET SUIVI DE L'ÉTAT DE L'ENVIRONNEMENT .....	11
3.1.....UTILISATION DU SYMBOLE E DANS LE PRÉSENT DOCUMENT	11
3.2.....CHOIX DES VARIABLES E	11
3.3.....CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES DE RÉFÉRENCE ( $E_{BASE}$ )	13
3.4.....ÉTAT DE L'ENVIRONNEMENT	14
4. CONDITIONNEMENT ENVIRONNEMENTAL DU RISQUE ET DES AVIS .....	15
4.1.....FACTEURS DE CONDITIONNEMENT PAR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	17
4.2.....CALENDRIER DE RÉDACTION DES AVIS SUR LES PÊCHES	20
5. PROCESSUS DÉCISIONNEL POUR L'ÉLABORATION D'AVIS CONDITIONNÉS PAR LE CLIMAT.....	25
6. DOMAINES D'AVIS LES PLUS SUSCEPTIBLES D'ÊTRE CONCERNÉS PAR LES CONSIDÉRATIONS LIÉES AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES .....	27
7. RÉSUMÉ .....	29
8. PROCHAINES ÉTAPES .....	30
9. RÉFÉRENCES CITÉES.....	31
ANNEXES.....	34
ANNEXE A : UNE STRATÉGIE FONDÉE SUR LE RISQUE VISANT À INTÉGRER LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES AUX ÉVALUATIONS DES STOCKS : EXEMPLE DANS LEQUEL LES DONNÉES ET LES CONNAISSANCES SUR LES PROCESSUS ABONDENT .....	34
Le modèle de population.....	34
Dépendance de la productivité envers l'environnement .....	34
Équivalence risque.....	35
Axes d'équivalence risque .....	35
ANNEXE B : UNE STRATÉGIE FONDÉE SUR LE RISQUE POUR INTÉGRER LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES À L'ÉVALUATION D'UN STOCK : EXEMPLE DE DONNÉES ET DE CONNAISSANCES SUR LES PROCESSUS MODÉRÉES	40
Dérivation d'une relation de production dépendante du climat .....	40
Exemple illustré.....	42
La projection .....	43
Avis conditionnés par les changements climatiques.....	46

---

Résumé .....	47
Méthodes d'utilisation pour influencer sur les avis lors d'un processus de consultation régionale .....	48
Références .....	48
ANNEXE C : CONDITIONNEMENT ENVIRONNEMENTAL DU RISQUE – FONDEMENT D'UN EXEMPLE À DONNÉES LIMITÉES	49
Renseignements disponibles .....	49
Démarche .....	49
ANNEXE D : DÉFINITION DES TERMES	50

---

## RÉSUMÉ

Actuellement, les changements climatiques dérèglent la structure et la fonction des écosystèmes aquatiques canadiens. Les avis scientifiques sur l'exploitation durable des ressources biologiques (en particulier des stocks de poissons) ne tiennent généralement pas compte des incidences potentielles des changements climatiques sur la faisabilité des objectifs à court terme (tactiques) ou à long terme (stratégiques). Nous présentons un cadre permettant de conditionner les avis scientifiques en vue d'une pêche durable prenant en compte les changements climatiques. Ce cadre reconnaît que l'ensemble des activités de gestion des ressources biologiques du Ministère est implicitement ou explicitement une forme de gestion des risques. Ainsi, il tente d'intégrer le conditionnement par les changements climatiques du profil de risque décisionnel. Cette méthode contraste avec une méthode purement mécaniste et causale qui intègre les changements climatiques comme moteurs ayant des liens connus avec les dynamiques biologiques, et qui produit des estimations de la taille et de la production du stock, notamment du signal d'effet de serre. Bien que notre méthode puisse comprendre également des relations mécanistes spécifiques associant le climat à la dynamique des ressources, elle va plus loin en quantifiant le risque cumulatif général de la prise de décisions en matière d'exploitation des ressources lié aux changements climatiques. En fait, cette méthode attire l'attention sur les énoncés de risque conditionné par le climat figurant dans les avis scientifiques plutôt que sur le perfectionnement des estimations prévisionnelles médianes de la production conditionnée par le climat, et estime qu'il s'agit du meilleur moyen pour que les avis généraux prennent en compte les changements climatiques. Il serait possible de déterminer un ensemble de facteurs de conditionnement par les changements climatiques en tenant compte des données et des connaissances sur les processus disponibles pour un stock, ainsi que de la mesure des écarts climatiques par rapport aux données de référence pendant la période de gestion et de la sensibilité des ressources aux changements climatiques. Ces facteurs pourraient être appliqués à des cas particuliers en fonction de critères de décision généraux, afin d'élaborer des avis sur l'équivalence risque dans le contexte des changements climatiques. Cette méthode présente des similarités partielles avec celle des États-Unis et de l'Australie, où l'on applique des tampons d'équivalence de risque aux avis sur les stocks afin de tenir compte de l'incertitude des données et du fondement technique de l'évaluation; ainsi, des méthodes de cette nature se sont déjà avérées opérationnelles dans d'autres pays.

---

# 1. INTRODUCTION

## 1.1. JUSTIFICATION

Au Ministère des Pêches et Océans Canada, les avis scientifiques pour la gestion des ressources biologiques consistent généralement à évaluer l'état d'une ressource et à déterminer l'effet d'une activité humaine sur l'état de cette ressource et les résultats de la gestion, selon l'objectif implicite ou explicite concernant l'état de la ressource à l'avenir. Une évaluation du risque associé au fait de ne pas atteindre l'objectif (ou aux options relatives à d'autres résultats, comme les divers niveaux de prises) est effectuée, et un avis est formulé en conséquence. Cette approche repose sur de nombreuses hypothèses, dont la plus pertinente pour le présent document est l'hypothèse selon laquelle l'environnement avec lequel la ressource (p. ex. un stock de poissons) interagit est constant ou varie de façon aléatoire sans tendance. Cependant, les changements climatiques sont un processus directionnel et non aléatoire qui peuvent modifier à la fois la variance et la moyenne de l'état des ressources et pourraient miner la fiabilité des avis de gestion des ressources qui ne tiennent pas compte des changements climatiques (appelés dans le présent document avis non conditionnés par les changements climatiques). Les changements climatiques influent sur la probabilité d'atteindre la plupart des objectifs (y compris la possibilité d'en rendre certains irréalisables) en modifiant, entre autres, la façon dont une ressource, comme un stock de poissons, réagit aux pressions comme la pêche, ce qui a effet sur sa résilience et son rétablissement après une perturbation. Au cours de la période actuelle de changements climatiques rapides, les mesures et les objectifs de gestion qui ont lieu à diverses échelles temporelles pourraient être touchés à divers degrés par le changement des variables climatiques environnementales influant sur la production des ressources biologiques. Par conséquent, la prise en compte des répercussions des changements climatiques pourrait modifier les avis et les décisions en matière de gestion des ressources. Il est donc prudent d'envisager des méthodes intégrant systématiquement les considérations climatiques à la formulation des avis scientifiques du Ministère. Les avis scientifiques tenant compte du climat peuvent différer ou non des avis traditionnels, mais à mesure que s'accumulent les preuves des répercussions des changements climatiques sur les écosystèmes marins, il devient de plus en plus nécessaire que les « meilleurs avis scientifiques disponibles » tiennent compte de la variation environnementale et des changements climatiques dans le processus de formulation des avis.

Un climat changeant introduit à la fois une tendance et une autocorrélation dans la moyenne et des changements de variance (variance généralement croissante) des conditions environnementales de l'écosystème, ce qui a effet sur l'état et la dynamique des ressources biologiques, et donc la ressource elle-même. Ces changements potentiels comprennent à la fois les écarts à court terme par rapport à la plage de variabilité naturelle observée (c.-à-d. les augmentations de l'ampleur ou de la fréquence des événements extrêmes) et les écarts à moyen et à long terme caractérisés par une autocorrélation spatiale et temporelle et, lorsqu'ils persistent pendant plusieurs années, des tendances directionnelles. La prise en compte des changements climatiques dans les avis entraînera un processus défini dans le présent document comme les avis scientifiques conditionnés aux changements climatiques (ACCC), au cours duquel les variables environnementales appropriées reflétant les changements climatiques et touchant la dynamique des ressources sont définies et associées à la composante d'évaluation du risque par l'intermédiaire de la dynamique de la réponse présumée ou modélisée.

Le processus d'ACCC exige des connaissances concernant la dynamique et la productivité d'une ressource et les variables environnementales qui peuvent avoir une incidence sur cette

---

dynamique; par exemple, il faut qu'il existe une preuve ou une connaissance du lien de cause à effet entre l'état actuel d'une ressource, son état potentiel à l'avenir et une ou plusieurs variables touchées par les changements climatiques. Une méthode consiste à intégrer cette connaissance des processus directement aux modèles utilisés pour l'évaluation des ressources. Cependant, les dangers d'une mauvaise spécification du modèle de cette méthode sont importants, en raison de l'incapacité à distinguer la cause de la corrélation (Sugihara *et al.* 2012) et du manque de connaissances sur la forme de la relation fonctionnelle, même lorsque les preuves de la causalité sont adéquates. Par conséquent, il est utile de considérer le conditionnement climatique non pas comme un moyen de fournir une explication mécaniste plus complète des processus biologiques qui peuvent réduire la variance due à la dégradation de l'environnement, mais comme un conditionnement de l'avis pour tenir compte du risque supplémentaire dû aux incidences potentielles des dégradations de l'environnement.

La différence entre les deux méthodes est subtile, mais importante. La première méthode est un exercice scientifique fondé sur les processus et axé sur les prévisions médianes de l'état futur des ressources. Les données empiriques et les connaissances fondées sur les processus jouissent d'une grande crédibilité, et les énoncés sur l'état futur des ressources sont probabilistes, mais considérés comme fiables. La deuxième méthode est une méthode fondée sur le risque qui met l'accent sur la façon dont l'incertitude quant aux probabilités d'atteindre les objectifs avec certains niveaux de risque présumés est estimée et communiquée dans l'avis sans nécessairement supposer que les mécanismes causaux contribuant aux risques sont suffisamment bien connus pour les représenter de façon mathématique. La première méthode s'intéresse à la **façon** dont les changements climatiques touchent les processus biologiques, tandis que la deuxième méthode attire l'attention sur les mesures de gestion, formulées en termes de risque, qui pourraient être mises en œuvre pour atténuer les répercussions des changements climatiques sur la ressource.

Le conditionnement par les changements climatiques renforce les énoncés d'incertitude, du fait de l'incertitude supplémentaire découlant de l'inclusion de variables climatiques dans les processus pertinents pour la formulation des avis. L'avantage de la méthode fondée sur le risque est que l'évaluation du risque, qui traite de l'incertitude de l'évaluation de l'état et de la dynamique des ressources, se traduit facilement en gestion du risque, qui traite des choix parmi les différentes options de gestion comportant des niveaux de risque acceptables. Un gestionnaire peut prendre des décisions plus claires fondées sur le niveau de risque associé à ses décisions et évaluer le rendement des options de gestion de façon plus fiable grâce au conditionnement au changement climatique, même si l'incertitude des résultats individuels est plus grande. Les options des avis peuvent alors refléter le changement de risque dû aux

Le conditionnement climatique pourrait avoir peu d'incidence sur certains avis comparativement à d'autres. Il se peut que la sensibilité des ressources aux conditions environnementales soit suffisamment faible ou que les incertitudes concernant d'autres processus soient si élevées que l'ajout de la complexité de la variabilité environnementale et du changement climatique au fondement des avis ne modifie pas de façon marquée les profils d'incertitude (c.-à-d. qu'aucune amélioration dans la gestion du risque des répercussions humaines ne peut être obtenue grâce au conditionnement climatique). Cependant, il existe des preuves importantes que les avis sur les répercussions des activités humaines sur les ressources biologiques sont souvent améliorés lorsqu'il est tenu compte des conditions environnementales et des changements climatiques (Busch *et al.* 2016; Fulton *et al.* 2016; Tomassi *et al.* 2017), ce qui signifie que l'étude des effets potentiels devrait être la méthode d'évaluation par défaut. Les avis ainsi conditionnés devraient mener à des stratégies résilientes face au climat pour la gestion des ressources biologiques.

---

## 1.2. LES AVIS DESTINÉS AU MINISTÈRE SONT FONDÉS SUR LE RISQUE

Chaque année, le Ministère produit de nombreux types de produits consultatifs reposant sur un fondement scientifique. La caractéristique commune de ces avis est qu'il s'agit essentiellement d'avis fondés sur le risque. Autrement dit, les avis comprennent l'estimation i) de l'état d'une ressource, ii) de la probabilité (ou du risque) que cette mesure de l'état soit déjà égale ou inférieure<sup>1</sup> à la condition de référence biologique pertinente et iii) de la probabilité (ou du risque) que l'état de la ressource soit égal ou inférieur aux conditions biologiques de référence dans un ou plusieurs autres scénarios de gestion (ou mesures des utilisateurs de la ressource). Lorsqu'une mesure de gestion est prise, aucune, certaines ou chacune des trois étapes peuvent ne pas être explicites, mais une hypothèse est formulée à propos de chacune d'elles. Les avis visent à éclairer les choix concernant les mesures à prendre dans l'avenir et donc, implicitement ou explicitement, la probabilité d'un état futur par rapport à une condition de référence. Il n'est pas toujours évident de savoir qu'il s'agit d'une forme d'analyse des risques, car les seuils ou les évaluations des ressources peuvent ne pas être désignés comme tels. Dans certains cas, l'exposé du risque peut être explicite, comme une fonction de densité de probabilité continue qui se situe au-dessus ou au-dessous d'un niveau de référence à mesure que la pression sur la ressource (p. ex. la pêche du stock) augmente, ou un tableau de décision associée au risque que d'autres mesures maintiennent le statu quo ou entraînent une situation égale ou supérieure au niveau de référence.

Ces méthodes courantes de présentation des risques peuvent être utilisées dans les avis sur les pêches, mais des avis fondés sur le risque sont également utilisés dans d'autres secteurs de compétence du MPO. Par exemple, le Programme de protection des pêches (PPP) peut suivre un protocole qui exige qu'une modification permanente de l'habitat du poisson soit compensée par une restauration de l'habitat ou une amélioration ailleurs qui soit de valeur égale. Les analystes qui fournissent un tel avis ou une directive auront estimé la productivité de l'habitat dans son état actuel, ou posé des hypothèses à cet égard, ainsi que la productivité de l'habitat après sa modification par un projet en particulier. Une différence entre les exemples relatifs au PPP et aux pêches est que les décisions du PPP exigent que la modification planifiée ou prévue soit traitée comme une estimation déterministe de la « perte », utilisée comme cible pour l'amélioration de l'habitat sur un autre site. L'analyste doit ensuite estimer ou déduire la productivité de l'autre site avant amélioration et estimer comment cette productivité devrait augmenter à mesure que l'habitat s'« améliore ». Le degré de compensation requis suppose implicitement que la productivité *accrue* doit être suffisante pour que le risque de ne pas atteindre cet objectif malgré la compensation proposée soit inférieur à 50 %. (Si ce risque était supérieur à 50 %, un déclin à long terme de la productivité de l'habitat correspondrait à un résultat acceptable.) Les estimations de la productivité actuelle et future à la fois de l'habitat qui sera modifié par l'ouvrage, l'entreprise ou l'activité (l'OEA est défini de manière précise dans la *Loi sur les pêches* [L.R.C. 1985, ch. F-14, mise à jour en avril 2016], à laquelle on ajoute les pêches – OEAF, annexe D) et à la fois de l'habitat qui sera amélioré par la compensation sont généralement traitées comme si elles étaient faites de façon déterministe. Seul le degré d'amélioration en tant que variance se traduit par une fonction du risque continu (plus l'habitat est amélioré, moins le risque de ne pas entièrement compenser les pertes est faible). Dans les contextes particulièrement riches en données, les estimations de la productivité actuelle et future des habitats touchés et des habitats améliorés peuvent également être vues sous un

---

<sup>1</sup> Cette approche s'applique également lorsque la question de gestion concerne le fait que la variable d'état dépasse un point de référence biologique. Cette question est plus susceptible d'être rencontrée dans les avis sur la qualité de l'habitat et de l'environnement que sur l'état de la population. Le reste de ce document s'articulera autour du contexte des populations : cela a toutefois pour but de rendre le raisonnement plus facile à suivre, et n'a pas pour objectif de restreindre le champ d'application du cadre.

---

angle probabiliste et un profil de risque reflétant mieux les incertitudes peut être estimé. Toutefois, les incertitudes relatives à la productivité sont fondées sur les tendances de variation historique des populations de poissons (ou d'autres variables reflétant la « qualité » de l'habitat selon le PPP) dans le type d'habitat où l'OEA doit avoir lieu et supposent par conséquent que les facteurs responsables de cette variation n'ont pas changé.

Les avis fondés sur le risque du Ministère sont fournis à au moins deux fins différentes :

Avis tactiques : avis scientifiques élaborés pour informer les gestionnaires des répercussions à relativement court terme d'une OEAF. Les avis tactiques sont les avis les plus fréquents dans le cadre des processus consultatifs récurrents. Les avis de même nature sont mis à jour avec de nouvelles valeurs au moins une fois tous les deux ou trois ans, par exemple pour l'établissement des quotas de pêche. Les avis tactiques ont pour but d'informer sur le risque de dépassement d'un seuil nocif préétabli relatif à l'épuisement des ressources qui pourrait découler d'un changement d'OEAF. Pour les pêches, cela comprend le risque qu'à mesure que les prises augmentent, un taux d'exploitation acceptable établi soit dépassé, ou que la biomasse reproductrice tombe en dessous d'un point de référence inférieur accepté.

Avis stratégiques : informent les gestionnaires des répercussions d'une OEAF sur une plus longue période que les avis tactiques. Les avis stratégiques pourraient informer les gestionnaires de la probabilité de maintenir une ressource à un niveau égal ou inférieur à un niveau cible (« sain ») au cours d'une période future ou de la possibilité d'atteindre ou de dépasser ce niveau au cours d'une période donnée, si des mesures de gestion précises sont prises ou des activités autorisées. Dans le secteur de la pêche, il pourrait s'agir de la probabilité qu'un stock de poissons dépasse une cible (comme la biomasse produisant le rendement maximal soutenu – RMS) sur deux générations, en fonction du taux d'exploitation autorisé chaque année. Dans les cas où les avis sont rarement mis à jour ou lorsque les répercussions de l'OEAF sont permanentes ou de longue durée (p. ex. modification ou destruction permanente de l'habitat), la distinction entre avis tactiques et stratégiques devient moins importante, souvent au détriment de l'évaluation des effets cumulatifs de plusieurs OEAF plus importantes.

Les avis stratégiques à long terme et ceux qui sont rarement mis à jour sont plus susceptibles de voir leur profil de risque conditionné par la modification du climat (A'mar *et al.* 2009, Brunel *et al.* 2010, Freon *et al.* 2005, Punt *et al.* 2013). Bien qu'il s'agisse d'une généralisation, ce n'est pas une règle, car certaines ressources biologiques peuvent être suffisamment vulnérables aux pressions environnementales à court terme dues au climat changeant pour qu'il y ait des répercussions sur les profils de risque des avis tactiques. Dans de tels cas, une compréhension approfondie des processus mettant en relation la productivité ou la dynamique spatiale et les variables environnementales, et de l'exactitude et de la précision des mesures environnementales correctes et de leurs relations avec la dynamique des ressources, est nécessaire pour produire des avis fiables (De Oliveira et Butterworth 2005, Deyle *et al.* 2013, Gjoestaeder *et al.* 2014). Une compréhension moins quantitative des effets d'un changement climatique sur une ressource peut être intégrée en utilisant d'autres moyens de déceler les incertitudes entourant l'estimation de l'état. Nous présentons des solutions pour les cas où des répercussions sont probables, mais où la compréhension fondée sur les processus fait défaut.

Dans le secteur des pêches, le cadre de l'approche de précaution (AP) (FAO 1996, MPO, 2006, fig. 1) combine les objectifs tactiques et stratégiques lors de la formulation d'avis scientifiques de gestion. Les avis sur la mortalité par pêche (F) à court terme résultant de l'augmentation des niveaux de prises (c'est-à-dire tactiques) sont formulés en fonction de points de référence à plus long terme du taux d'exploitation et, si nécessaire, d'objectifs de rétablissement (c'est-à-dire stratégiques). Trois caractéristiques du cadre de l'AP sont pertinentes dans le cadre des

---

considérations relatives aux ACCC : i) les avis indiquent habituellement la probabilité (ou le risque) qu'un stock se trouve dans l'une des trois zones d'état du stock (sain, de prudence ou critique) en fonction des prélèvements possibles, tant pour l'année en cours (tactiques) que pour l'année suivante (ou les quelques années suivantes) (également tactiques); ii) F s'accompagne d'une limite, quelle que soit l'importance de la biomasse du stock reproducteur (BSR) au cours d'une année donnée, afin de maintenir le stock dans la zone saine à l'avenir (tant tactiques que stratégiques); et iii) les valeurs des limites de B et F (qui déterminent les trois zones) sont supposées refléter des paramètres de productivité stables du stock (stratégiques).

Un tel cadre décisionnel fondé sur le risque est très pertinent pour élaborer des avis scientifiques tenant compte du climat et s'applique à tous les secteurs scientifiques du MPO, pourvu qu'un certain type de cibles précises (objectifs que la direction doit tenter d'atteindre ou de maintenir) ou de limites (conditions d'état des ressources ou pressions à éviter ayant une probabilité élevée) puisse reposer sur des données scientifiques fondées sur des données probantes et être défini explicitement par la direction ou implicitement par la loi ou une politique. Les avis scientifiques du Ministère sont essentiellement des avis fondés sur le risque avec des échelles de temps implicites, laissant entrevoir une définition opérationnelle de la pertinence des avis conditionnés par le climat pour la gestion des ressources biologiques :

***Les avis conditionnés par les changements climatiques (ACCC) prennent explicitement en compte les changements climatiques lors de l'estimation de la probabilité qu'un objectif soit atteint (p. ex. une population dépasse sa cible), en fonction d'une tendance spécifiée de mesures concernant un ouvrage, une entreprise, une activité ou une pêche (OEAP).***

La mise à jour des avis fondés sur le risque a lieu à différentes fréquences : annuelle, récurrente, périodique (pluriannuelle) ou ponctuelle et permanente (tableau 1). L'inclusion des changements climatiques dans les avis fondés sur le risque permet la prise en compte de l'ampleur et de la récurrence des écarts par rapport aux conditions environnementales de référence. Pour ce faire, il convient de préciser les conditions environnementales de référence qui servent de normes ou de point de référence concernant l'état de l'environnement, tout comme les cibles des propriétés comme la biomasse (B) et la mortalité par pêche (F) d'un stock et d'une pêche servent de normes concernant l'état et le niveau d'exploitation du stock. Cependant, il existe une différence importante quant au fait que la source des normes utilisées pour établir les conditions de référence (cibles et limites) de B et F est prévue par des politiques, la législation et des accords exécutoires (tels que le rendement maximal soutenu [RMS] de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer (UNCLOS) et l'Accord sur les stocks de poisson des Nations Unies). Ces normes sont interprétées de manière cohérente pour les stocks individuels, alors que les normes pour l'environnement sont destinées à délimiter l'éventail des conditions dans lesquelles nos connaissances du système et de sa dynamique ont été acquises. Cela signifie que le risque associé aux différentes options de gestion est fonction de l'état de « l'environnement actuel » par rapport à « l'environnement de référence », tout comme le risque associé aux différentes options de gestion est fonction de l'état de la ressource et de la pression exercée par l'homme par rapport à leurs conditions de référence respectives. Lorsque l'état de l'environnement n'est pas explicitement reconnu dans l'avis, celui-ci suppose *de facto* que les conditions environnementales pertinentes pour l'évaluation des ressources sont conformes à leurs normes respectives. Par conséquent, tant qu'il est possible qu'un environnement donné change, l'avis s'accompagne implicitement d'une date d'expiration. Par conséquent, la classification des avis en avis tactiques et stratégiques exige un énoncé d'expiration plus explicite. Le tableau 1 vise à donner des indications

---

concernant les délais de validité des avis et, par conséquent, concernant les dates d'expiration par rapport aux dates de formulation.

*Tableau 1 : Caractéristiques de certains vastes domaines d'activités d'avis scientifiques à Pêches et Océans Canada et probabilité que le conditionnement par les changements climatiques ait une incidence sur la composante fondée sur le risque des avis. [1] Les conditions considèrent les renseignements comme au moins moyens; [2] les limites supérieures dépendent de la durée de génération du stock; [3] maintien de la structure de l'écosystème pour soutenir sa fonction; [4] une mesure temporaire qui aura effet sur l'habitat; mais qui sera supprimée.*

	Type d'avis	Type principal d'OEAP	Objectifs et seuils [1]	Catégorie d'objectifs	Validité et expiration	Fréquence de mise à jour des avis	Possibilité que le conditionnement par les changements climatiques modifie le profil de risque
<b>Aquaculture</b>	Tactique et stratégique	Charge en éléments nutritifs, capacité de charge	Prévention de la détérioration des écosystèmes, optimisation de la production d'élevage	Parfois explicite, souvent quantitatif implicite	Entre 1 et 20 ans	Une fois	Possibilité
<b>Espèces aquatiques envahissantes</b>	Stratégique	Multiples	Prévention	Quantitatif explicite	Au besoin	Une fois, parfois plusieurs	Haute probabilité
<b>Méthodes écosystémiques (y compris plurispécifiques)</b>	Stratégique	Pêche	Abondance relative [3]	Quantitatif implicite ou explicite	~5 ans	> 5 ans	Possibilité
<b>Destruction et rétablissement de l'habitat du poisson [4]</b>	Tactique à stratégique	Perturbation de l'habitat	Production selon le statu quo	Quantitatif explicite	Entre 1 et 10 ans	Entre 1 et 10 ans	Possibilité
<b>Zones de protection marine et planification spatiale</b>	Stratégique	Multiples	Protection du statu quo	Quantitatif implicite par espèce	10 ans ou plus	Une fois	Haute probabilité
<b>Destruction permanente de l'habitat du poisson</b>	Stratégique	Destruction des habitats	Production selon le statu quo	Quantitatif explicite	Permanente	Une fois	Haute probabilité
<b>Mise en valeur des salmonidés</b>	Tactique et stratégique	Calendrier de production, dates de libération	Échappées cibles	Quantitatif explicite	Entre 1 et 5 ans	Une fois	Possibilité
<b>Planification du rétablissement d'une seule espèce</b>	Stratégique	Pêche	Points de référence et objectif de rétablissement de l'AP	Quantitatif explicite	Entre 5 et 15 ans	Entre 3 et 8 ans	Possibilité la plus élevée
<b>Évaluation des stocks d'une seule espèce</b>	Tactique	Pêche	Points de référence de l'AP	Quantitatif explicite	Entre 1 et 5 ans [2]	Entre 1 et 5 ans	Possibilité la moins élevée
<b>Espèces en péril</b>	Tactique et stratégique	Pêche, forces cumulatives	Objectifs de rétablissement	Quantitatif explicite	Entre 1 an et 3 générations	Une fois, parfois plusieurs	Possibilité la plus élevée

---

Le présent document vise à montrer la nature fondée sur le risque des avis scientifiques du MPO et la façon dont ils peuvent être naturellement élargis pour intégrer les effets des changements climatiques, d'une manière comparable à la façon dont tout autre facteur ayant une incidence sur le profil de risque de gestion serait pris en compte.

L'adoption d'un cadre cohérent de gestion des risques améliorera la prévision scientifique et de gestion et fournira un ensemble de règles pour l'élaboration d'ACCC visant à éclairer la prise de décisions. Idéalement, les avis visant à l'éclairer la prise de décisions devraient provenir d'évaluations fondées sur les processus de l'état des ressources et de la dynamique de réaction aux pressions exercées par l'OEAP : cela permettrait nécessairement de prévoir également de façon mécaniste les réactions de la ressource aux répercussions des changements climatiques. Ces deux évaluations sont généralement difficiles et souvent longues à réaliser, et parfois même impossibles à effectuer. Cependant, de plus en plus de données probantes démontrent que les répercussions possibles des changements climatiques sur les profils de risque peuvent être larges (Hollowed *et al.* 2013), car les écarts par rapport aux conditions environnementales de référence s'opposent aux hypothèses aléatoires sur les états environnementaux et contribuent à accroître l'incertitude des processus d'évaluation et de gestion. Si cette incertitude supplémentaire n'est pas prise en compte dans l'avis, les décideurs ne sont pas informés de façon fiable des risques associés aux options de gestion disponibles. Par conséquent, les stratégies d'élaboration d'ACCC doivent être solides, car elles seront généralement appliquées dans des situations où les connaissances sont limitées. Il est probable que les ACCC soient plus prudents que les avis conventionnels et qu'ils renoncent à un certain rendement (ou à d'autres occasions) dans des conditions « typiques ». Cependant, les ACCC appuieront une gestion améliorée du risque de pertes considérables attribuables à des changements faiblement quantifiés, mais potentiellement importants de la productivité des ressources liés au climat et à des contraintes climatiques pesant sur la dynamique des ressources (Brunel *et al.* 2010, Hilborn 2012).

## **2. UNE STRATÉGIE FONDÉE SUR LE RISQUE POUR ÉLABORER DES AVIS SCIENTIFIQUES CONDITIONNÉS PAR LE CLIMAT**

Notre objectif est de tenir compte des incidences potentielles de la variation environnementale et des changements climatiques sur la gestion des ressources biologiques, en quantifiant et en représentant l'incertitude due aux écarts environnementaux par rapport aux conditions de référence dans l'évaluation du risque lié à la pression humaine sur cette ressource.

L'équivalence risque des avis sur la gestion des ressources est un moyen de s'assurer que les décisions de gestion peuvent être vues comme un équivalent risque, malgré les différences entre les contextes consultatifs, le niveau de données, la dynamique des ressources, les modèles ou la connaissance des processus concernant la dynamique des ressources et l'évaluation de leur état actuel. L'équivalence risque aboutit à une application uniforme du risque pour la prise de décisions. Elle est appliquée aux avis scientifiques sur la gestion des pêches australiennes afin de faire face aux différents degrés d'incertitude des différents niveaux de richesse des données et des connaissances des processus et afin d'assurer la cohérence des avis, qu'ils s'appuient sur des évaluations riches ou pauvres en données (Fulton *et al.* 2016). L'équivalence risque est assurée par l'inclusion des « zones tampons », qui sont consignées directement dans la formulation des avis sur la gestion de l'activité de pêche (ou d'autres pressions sur une ressource). Les tampons sont destinés à réduire systématiquement le niveau d'activité recommandé, à mesure que l'incertitude de l'évaluation des risques pertinents augmente. La stratégie d'équivalence risque est donc conforme à l'approche de précaution (FAO 1996). Des stratégies d'équivalence risque sont également appliquées aux États-Unis, selon la politique en matière de pêche durable du pays (Punt *et al.* 2012).

La politique canadienne en matière de pêche durable est conforme au cadre de l'approche de précaution (AP) standard (MPO 2006). Tout comme la politique d'AP relative aux pêches a été élaborée sous forme de mise en œuvre sectorielle du concept beaucoup plus large d'application du principe de précaution dans la prise de décisions concernant les pressions exercées par diverses activités humaines (FAO 1996), le cadre spécifique d'AP du MPO pour les pêches peut facilement être étendu à la plupart des activités humaines gérées par le MPO (figure 1). L'évaluation de l'état d'une ressource en fonction de points de référence déterminés et du niveau d'activité humaine par rapport à des niveaux durables est décrite par les courbes de Kobe (FAO 1996) pour les pêches, qui peuvent aussi facilement être généralisées à différentes activités, car elles définissent un mode de gestion sûr (fig. 1). Ces diagrammes expliquent comment une activité humaine devrait être modifiée en fonction de l'évaluation de l'état de la ressource. Cela est illustré par le diagramme en bâtons relatif à l'AP du MPO, tandis que la courbe de Kobe présente les zones d'acceptabilité de l'état de la ressource et l'activité humaine entraînant la détérioration de la ressource en fonction des niveaux de référence établis.

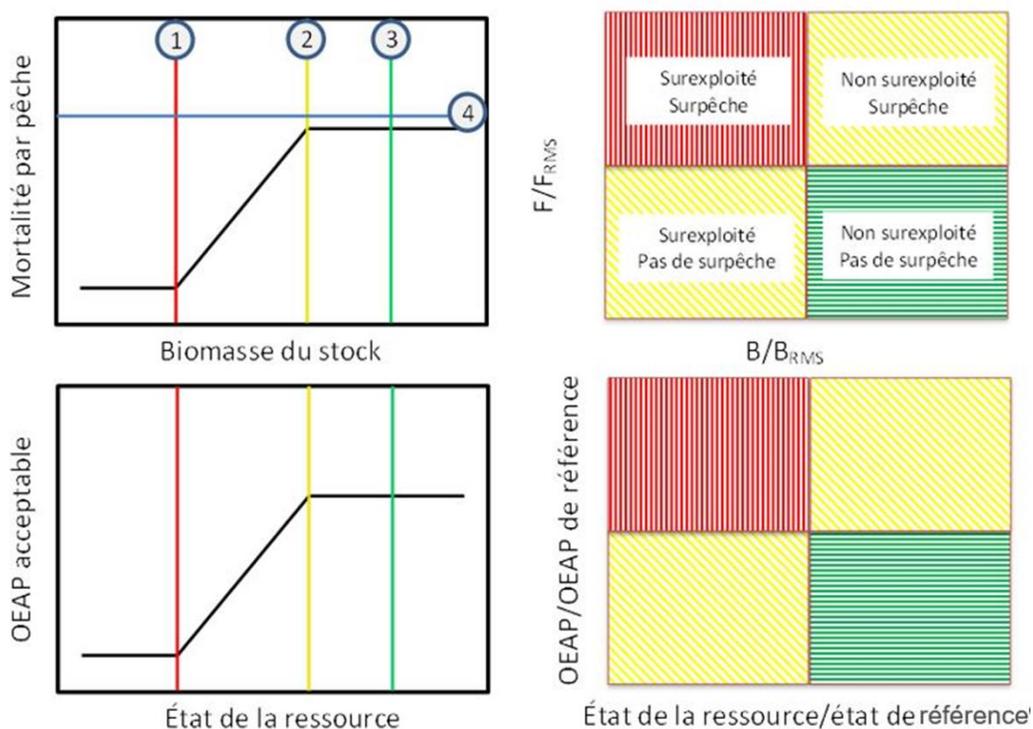


Figure 1 : Approche de précaution de Pêches et Océans Canada pour des pêches durables (en haut à gauche) étendue à tout type d'activité humaine dégradant une ressource biologique (en bas à gauche). Les lignes rouges (1), jaunes (2), vertes (3) et bleues (4) représentent respectivement le point de référence limite, le point de référence supérieur du stock, le point de référence cible et le point de référence limite de la mortalité par pêche concernant l'état des ressources. Le bâton rompu représente la règle pour la gestion de l'activité humaine compte tenu de l'évaluation de l'état de la ressource. À droite figurent les courbes de Kobe, qui reflètent les résultats de décisions antérieures et fournissent une vue d'ensemble des zones d'acceptabilité en fonction de l'évaluation de l'état des ressources et du niveau d'activité par rapport aux valeurs de référence acceptables. Les valeurs estimées peuvent également être présentées sur des courbes de Kobe. La partie supérieure gauche représente ainsi « une pression excessive et une ressource épuisée par rapport à la cible »; la partie supérieure droite représente une « pression excessive et une ressource non épuisée actuellement »; la partie inférieure gauche représente « une pression durable et une ressource épuisée »; et la partie inférieure droite représente « une pression durable et une ressource non épuisée ».

---

Sur le diagramme en bâtons, l'incertitude peut être représentée par la distance sur l'axe des abscisses entre le point de référence supérieur du stock (PRS) et le point de référence inférieur du stock (PRI). Le PRI représente la valeur en dessous de laquelle la probabilité de dommage grave ou irréversible est inacceptable (pour une évaluation de stock, la BSR en dessous de laquelle « la productivité est altérée<sup>2</sup> »). Le PRS peut représenter l'estimation de l'erreur concernant le PRI ou, en pratique, il peut simplement être un point intermédiaire entre le PRI et la cible. La taille du stock peut être évaluée à tout moment en fonction des points de référence, et le taux de mortalité par pêche peut être déterminé en appliquant la règle de contrôle des prises à l'estimation de la taille médiane du stock. Compte tenu des incertitudes liées aux paramètres d'estimation et de productivité, il est possible d'évaluer la probabilité d'atteindre l'objectif (p. ex. le point de référence cible) dans un délai donné et avec un certain niveau de risque.

Peu de directives systématiques ont été élaborées sur la façon d'adapter le cadre de l'AP lorsqu'un paramètre de population est différent des états antérieurs qui ont conditionné l'évaluation<sup>3</sup> : il s'agit d'un phénomène connu sous le nom de nonstationnarité de la production (voir toutefois MPO 2012). Bien que l'équivalence risque ait été considérée principalement comme un moyen de conditionner le risque à l'incertitude dans le cas des stocks s'accompagnant de différents niveaux de données, elle pourrait également être utilisée pour que les avis tiennent compte de la nonstationnarité de la production. Il existe d'importantes preuves (résumées dans la section 1.1) selon lesquelles les changements climatiques pourraient avoir d'effet sur divers paramètres de production des stocks. Par conséquent, les concepts d'équivalence risque pourraient être utilisés de la même façon au Canada lors de l'examen des répercussions des changements climatiques sur les avis de gestion de l'incidence humaine sur les ressources biologiques. Dans le cas particulier de l'évaluation des stocks de poissons d'une seule espèce, les facteurs de conditionnement par les changements climatiques pourraient s'appliquer aux niveaux de prises afin de s'assurer que les avis sont conditionnés par le climat à l'avenir.

Des exemples de la façon dont des avis sur l'évaluation des stocks d'une seule espèce conditionnés par le climat pourraient être élaborés sont présentés dans les annexes A à C.

L'élaboration de facteurs de conditionnement par les changements climatiques pour un éventail de conditions environnementales et d'état des stocks est le principal défi en matière d'élaboration d'ACCC généraux relatifs aux poissons. L'élaboration et l'application des facteurs de conditionnement par les changements climatiques deviennent de plus en plus importantes à mesure que les variables environnementales présentent deux caractéristiques : i) une forte probabilité de réagir au forçage climatique et ii) une probabilité démontrée ou présumée d'incidence sur la dynamique des ressources à l'avenir. Leur incidence sur la vulnérabilité d'une ressource au climat dépendra de la spécificité, de la susceptibilité et de la capacité d'adaptation (ou, en général, de la sensibilité) de la ressource, de l'ampleur, de la fréquence et de la récurrence des changements des variables environnementales au cours de la période visée par

---

<sup>2</sup> Expression tirée des critères d'évaluation du Marine Stewardship Council. Diverses instances utilisent diverses expressions pour qualifier ce point sur l'axe de la BSR, mais le concept est le même. L'« altération de la productivité » est un concept utile, car il peut facilement être généralisé à toute fonction spécifique des écosystèmes (y compris, mais pas exclusivement, à la « productivité ») fournie par une propriété structurelle des écosystèmes (y compris, mais pas exclusivement, la « biomasse » ou la quantité).

<sup>3</sup> La différence peut se situer dans la moyenne du changement de paramètre de population, mais il peut aussi y avoir des changements des caractéristiques plus élevées, comme la variance ou l'asymétrie du paramètre.

---

les avis, et du niveau de confiance dans les données disponibles pour évaluer tant la ressource que son état environnemental (CIEM 2017).

### 3. DÉFINITION ET SUIVI DE L'ÉTAT DE L'ENVIRONNEMENT

#### 3.1. UTILISATION DU SYMBOLE E DANS LE PRÉSENT DOCUMENT

Tout au long du présent document, le symbole E sera utilisé pour représenter l'environnement. Il se peut que l'écriture diffère parfois légèrement. [E] écrit entre crochets représente le concept de variables externes du stock, qui influe sur la production d'un stock. Une variable E (utilisation d'un E majuscule sans crochets) renvoie à la série chronologique de mesures quantitatives d'un forceur environnemental comme la température ou même d'une variable d'écosystème comme l'abondance des prédateurs qui a effet sur la productivité d'un stock. La variable E peut aussi être une sorte de vecteur combiné de variables E individuelles ou une variable composite de série chronologique, par exemple une composante principale. Une fois qu'une ou plusieurs variables E adéquates sont sélectionnées, le chercheur doit définir l'état de référence de cette variable, que nous appelons  $E_{base}$ .  $E_{base}$  représente donc les conditions auxquelles les états passés et futurs peuvent être comparés et souvent, mais pas toujours,  $E_{base}$  représente un ensemble de conditions externes du stock qui peuvent être considérées comme un état de référence ou « normal ».  $E_{base}$  est donc souvent la moyenne d'une période particulière de la série chronologique de la variable E et est donc un scalaire. Dans certains cas,  $E_{base}$  peut être un vecteur représentant des caractéristiques de la série chronologique de la variable E, p. ex. une moyenne de référence et une variance de référence (Landres *et al.* 1999); par conséquent,  $[E]_{base}$  représente l'ensemble des conditions environnementales de référence qui pourraient être multivariées et concerner différents moments de la même variable au cours d'une période de référence.

#### 3.2. CHOIX DES VARIABLES E

Nous désignons collectivement sous le nom de variables d'état environnemental E les variables environnementales possiblement touchées par les changements climatiques et qui touchent ou touchent possiblement l'état et la dynamique des ressources. Ensemble, les variables E et les conditions environnementales de référence ( $E_{base}$ ) fournissent une mesure de l'état de l'environnement propre à la ressource (rapport entre E et  $E_{base}$ ), utilisée pour surveiller les écarts environnementaux et conditionner le risque d'utilisation des ressources et les avis scientifiques connexes. La sélection d'une ou plusieurs variables E sera propre à chaque ressource ou écosystème et fonction i) de la disponibilité et de la qualité des données (y compris la résolution spatiale et temporelle), ii) de la probabilité et du taux relatif de changement des variables environnementales possibles sous l'effet du forçage climatique et iii) des relations et interactions potentielles entre les variables. En fonction de ces facteurs et de la ressource évaluée, il peut être utile de considérer une seule variable E ou un ensemble de plusieurs variables E et de leurs caractéristiques statistiques pertinentes. Dans la plupart des cas, les variables E devront être spatialement réduites à la zone de gestion des ressources (pour inclusion dans l'analyse des risques).

En matière de pertinence aux fins de suivi et de détection des changements climatiques, l'Organisation météorologique mondiale recommande un ensemble de variables pertinentes, possibles et rentables à recueillir (Bojinski *et al.* 2014, OMM 2018), tandis que les sources documentaires définissent généralement quatre variables environnementales principales pour les ressources et écosystèmes aquatiques : température de l'eau, pH, concentration en oxygène et disponibilité/production primaire des éléments nutritifs (Pörtner *et al.* 2014; Henson *et al.* 2017). Un consensus s'est formé quant aux paramètres environnementaux des eaux

---

marines et douces canadiennes qui changent ou qui sont les plus susceptibles de changer (MPO 2013 a, b, c, d). Les paramètres océaniques les plus susceptibles de changer dans les trois océans comprenaient la température, la salinité, la concentration d'oxygène, les paramètres de la glace de mer, la stratification, le pH, la circulation et le niveau de la mer.

La définition complète d'une ou de plusieurs variables E propres à une ressource est une tâche importante, mais lors de l'élaboration de méthodes, les concepts sous-jacents peuvent être représentés par une seule variable E telle que la température, quantifiée comme un paramètre central de tendance (p. ex. la température annuelle moyenne) (voir les annexes A et B). Bien que l'utilisation d'une seule variable environnementale bien mesurée et bien corrélée avec d'autres variables puisse servir de point de départ fiable, l'objectif final devrait être que la variable E tienne compte explicitement du caractère multidimensionnel du climat et de l'environnement (en incluant plusieurs variables environnementales) et des fluctuations de la moyenne et de la variation (et des corrélations entre ces variables) sur une échelle annuelle et intra-annuelle (c'est-à-dire, saisonnière). Il convient de noter que le cadre dont il est question ici ne favorise pas l'atténuation du problème de l'équivalence risque et des changements climatiques; il s'agit plutôt d'une simplification pragmatique permettant de faire des progrès face aux limites typiques des données disponibles, de la compréhension du système et des outils analytiques.

Les caractéristiques statistiques d'ordre supérieur de la distribution d'une variable, comme la variance, l'asymétrie et l'aplatissement, peuvent être aussi importantes que les paramètres des périodes centrales (moyennes ou médianes) pour définir E et  $E_{base}$ . Une variable unique comme la température peut représenter l'influence nette de plusieurs facteurs environnementaux pour une ressource ou être la seule variable disponible de façon constante dans les séries chronologiques historiques pour une région donnée. En tout état de cause, lorsqu'on tente d'évaluer les écarts par rapport à un espace environnemental de référence pour une ressource, les moyennes annuelles ou les valeurs absolues des variables seules peuvent ne pas être aussi importantes pour la ressource que les variations pendant les périodes (ou saisons) critiques. En effet, la dynamique des ressources biologiques (p. ex. les processus liés à la productivité ou à la disponibilité des ressources, y compris la réussite du recrutement et les changements de déplacements et de distribution) peut être fonction, par exemple, de l'ampleur des écarts de température pendant une période donnée ou de la durée du moment où une plage particulière de températures est atteinte pendant le cycle annuel, ou de ces deux éléments. Les connaissances des plages optimales propres à chaque étape de vie (ou optima saisonnière) et des seuils de tolérance sont susceptibles d'accroître l'utilisation significative des variables E, selon la propriété d'intérêt, et devraient toujours être prises en compte dans le choix des variables E. Par exemple, si l'état des ressources est évalué en fonction des recrues annuelles à l'âge de trois ans, le choix des variables E devra refléter les conditions environnementales qui influent sur la réussite du recrutement au cours de la période de prérecrutement de trois ans.

Si un vecteur de variables environnementales individuelles est préférable ou jugé plus approprié, le vecteur peut être déterminé en supposant les effets indépendants (additifs ou multiplicatifs) de l'ensemble des variables environnementales ou leur distribution de probabilité conjointe (Nadeau et Fuller 2015). Dans les deux cas, la pondération des différentes variables peut être justifiée, si l'information est disponible, afin de tenir compte des différences d'exposition des ressources et de sensibilité aux différents facteurs. Les distributions de probabilité conjointes servent à saisir les changements potentiels dans les relations entre les variables au fil du temps et à assouplir l'hypothèse d'indépendance. Elles reposent toutefois sur des hypothèses de répartition des différentes variables prises en compte. La réduction dimensionnelle fondée sur des méthodes d'ordination appropriées ou sur des statistiques de chevauchements climatiques sera utile pour assurer la parcimonie de la définition des variables

---

environnementales et le suivi de l'état de l'environnement (rapport  $E/E_{base}$ ) d'une ressource. Les statistiques de chevauchement peuvent aussi servir à éviter le calcul de la moyenne ou de la réduction des variables indépendantes ayant des tendances différentes (p. ex. faible changement de l'une et changement important de l'autre; Nadeau et Fuller 2015).

Quelle que soit l'approche et la méthode adoptées, les chercheurs devront consacrer du temps et des efforts à la détermination et à l'acquisition d'une compréhension empirique et fondée sur les processus des facteurs environnementaux spécifiques les plus pertinents pour définir et surveiller l'état de l'environnement de leurs systèmes et ressources d'intérêt. L'objectif du présent document est de souligner que les variables  $E$  peuvent être unidimensionnelles ou multidimensionnelles, et qu'elles se composent à la fois de caractéristiques différentes et d'aspects différents des mêmes variables environnementales.

### 3.3. CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES DE RÉFÉRENCE ( $E_{base}$ )

On suppose *de facto* que les organismes sont adaptés aux variations climatiques historiques là où elles se produisent (Scholander *et al.* 1950). Si ce n'est pas le cas (par exemple dans le cas des populations reliques post-glaciaires), les conditions se situent au moins dans l'aire de répartition habitable. Par conséquent, la variance historique des variables  $E$  devrait être utilisée comme un point de référence lors de la prise de toute décision relative aux changements climatiques. Les conditions de référence des variables  $E$  ( $E_{base}$ ) sont définies par la fréquence, l'ampleur et l'évolution dans le temps des variations des variables  $E$ , ainsi que par le degré de certitude de la mesure ou la modélisation de chaque variable  $E$ . Les interactions locales des moyennes à long terme, la variation et la corrélation de plusieurs variables superposées aux cycles saisonniers déterminent  $E_{base}$ , ce qui façonne ensuite et régule possiblement les tendances biologiques et écologiques des ressources. Ces conditions constituent donc « la norme environnementale et biologique » d'évaluation de l'état et de la variation des ressources. L'introduction des considérations relatives aux changements climatiques permet de cerner les conditions environnementales qui s'écartent des tendances des variables  $E_{base}$ , y compris les nouveaux extrêmes et la variance réduite ou amplifiée dans le temps et l'espace.

La variable  $E_{base}$  n'est pas un concept nouveau (Landres *et al.* 1999), mais un concept qui devient explicite et nécessaire si l'on veut tenir compte des changements climatiques [ $E$ ] dans le processus d'évaluation et de gestion des ressources. La variable  $E_{base}$  fait toujours partie intégrante des évaluations conventionnelles des stocks, mais elle est rarement traitée explicitement. On suppose plutôt que la variation environnementale est aléatoire, de variance stable, et qu'il est peu probable d'améliorer les calculs et les avis en incluant une manifestation explicite de [ $E$ ] dans l'évaluation de l'état des ressources. Même lorsque cette hypothèse est rejetée et que certaines variables environnementales sont incluses de manière analytique dans l'évaluation (Pepin *et al.* 2018), les conditions environnementales de référence sont rarement précisées. Au lieu de cela, l'environnement est traité comme une covariable ou une variance dynamique de la dynamique des stocks, et les avis visent soit à surveiller la variation environnementale, soit à essayer de l'anticiper sur un an ou deux. Les paramètres de la dynamique des populations de l'évaluation sont généralement constants, et l'influence de l'environnement est ajoutée aux calculs de l'évaluation sous forme d'un ou plusieurs facteurs indépendants de la dynamique des populations, dont les effets sur la dynamique sont limités par la structure du modèle. En définissant la variable  $E_{base}$ , la méthode des ACCC tient compte de l'influence des variables environnementales comparativement aux conditions environnementales observées pendant la période (ou un sous-ensemble de la période totale) au cours de laquelle les données ont été recueillies et les paramètres de dynamique des ressources ont été estimés. Si les conditions environnementales demeurent à l'intérieur des conditions de  $E_{base}$ , on prévoit que les avantages d'ajouter aux avis un paramètre de complexité

---

environnementale seront faibles. Puisque la variable  $[E]$  actuelle ou prévue diffère de plus en plus de  $[E]_{\text{base}}$ , son incidence potentielle pourrait ne pas être bien cernée si elle est simplement utilisée comme covariable  $E$  dans les analyses tactiques alors qu'en réalité, plusieurs facteurs de la dynamique d'une ressource pourraient être visés. D'où l'utilisation d'une méthode plus stratégique consistant à subordonner les avis en matière de ressources aux conditions climatiques.

Nous avons déterminé deux façons de définir directement la variable  $E_{\text{base}}$  en ce qui a trait aux ensembles de données sur l'état des ressources :

1. Si la norme biologique (état de référence de  $B$  et  $F$ ) est sélectionnée en choisissant un ensemble d'années où la ressource était considérée comme « saine » et où la pression imposée (comme la pêche) était « acceptable », alors toutes les conditions environnementales pendant ces années définissent nécessairement les conditions environnementales « standard » de la ressource ( $E_{\text{base}}$ ). Si cette contrainte relative aux conditions environnementales est jugée indésirable du point de vue opérationnel, il convient alors également de réexaminer attentivement le fondement du choix des valeurs de référence concernant l'état des ressources ( $B$ ) et les pressions ( $F$ ) en fonction des années où les conditions étaient considérées comme « normales » ou « acceptables ».
2. Si les normes biologiques (points de référence biologiques – MPO 2006) sont déterminées de manière analytique par des méthodes telles que l'ajustement de la relation stock-recrutement ( $S$ - $R$ ), les années comportant des points  $S$ - $R$  aux écarts exceptionnels avec la relation ajustée peuvent être utilisées pour déterminer les années où la dynamique des stocks est anormalement élevée ou faible (selon le signe de l'écart). Une vérification des valeurs aberrantes pour évaluer si les conditions environnementales au cours de ces années étaient hors norme pour la ressource (en utilisant toute méthode acceptable de détection statistique des valeurs aberrantes) devrait être effectuée. Si des valeurs aberrantes sont détectées, la variable  $E_{\text{base}}$  correspondrait aux conditions environnementales délimitées par les valeurs aberrantes, mais les exclurait. Si aucune valeur aberrante n'est détectée, il incombe à l'enquêteur d'évaluer les tendances et les relations entre les données environnementales en vue de déterminer les conditions de référence des paramètres et des lieux d'intérêt. Cependant, si aucune valeur aberrante n'est détectée dans la relation entre l'état de la ressource et les variables touchées par l'environnement (p. ex. valeurs aberrantes dans  $R$  compte tenu de la BSR), la plage des conditions environnementales pendant toute la période à partir de laquelle les données  $S$ - $R$  ont été recueillies devient la variable  $E_{\text{base}}$ .

Dans les cas où l'on dispose de données limitées, c'est-à-dire uniquement d'une série chronologique courte et récente de données environnementales (p. ex. les cinq dernières années), les connaissances empiriques tirées d'études expérimentales ou d'autres études indépendantes peuvent servir à déterminer la variable  $E_{\text{base}}$ . Par exemple, une plage de températures (mode, médiane et valeurs minimales/maximales) déterminée en laboratoire comme étant optimale pour la croissance peut être utilisée pour établir la variable  $E_{\text{base}}$  de la ressource jusqu'à ce que d'autres observations environnementales soient disponibles. La même information peut être déduite à partir d'une compréhension empirique ou mécaniste établie pour une ressource parente ou similaire dans un autre système (parent ou similaire).

### **3.4. ÉTAT DE L'ENVIRONNEMENT**

L'état environnemental d'une ressource peut être normalisé sous la forme d'un rapport d'écart par rapport aux conditions de référence ( $E/E_{\text{base}}$ ), tout comme dans de nombreux contextes

---

consultatifs où le rapport entre B et  $B_{lim}$  ou  $B_{rms}$  (même chose pour F) est indiqué dans l'avis. Pour cette raison, il est important de tenir compte de la variation de  $E_{base}$ . En règle générale, une estimation ponctuelle d'un état de référence moyen (p. ex. Bréf) est utilisée pour exprimer les écarts relatifs (ou plus rarement, absolus) des valeurs d'état annuelles par rapport à la référence, même s'il est prévu qu'un état « sain » (ou de prudence ou critique) présente naturellement une certaine variation (souvent importante) par rapport à la moyenne (qui est considérée comme l'objectif de gestion). Il en va de même pour le niveau de référence d'une activité humaine (p. ex. Fréf). Un débat important peut avoir lieu concernant les limites acceptables des rapports entre l'état des ressources et l'activité humaine (par exemple B et F) en fonction de leurs objectifs, mais cette question devrait être opposée à toute méthode visant à intégrer les considérations liées aux changements climatiques aux évaluations et avis (FAO 2016, Garcia et Rice 2018).

Dans le cas de la valeur  $E_{base}$ , il faut tenir compte à la fois de la forme et de l'ampleur de la variation par rapport à la moyenne. Cela s'explique par le fait que la plage de variation environnementale n'est pas toujours uniforme ou normale. Les variables environnementales peuvent être fortement faussées en raison de l'asymétrie naturelle des propriétés physiques ou biologiques – par exemple, dans certaines parties de l'Atlantique nord-ouest, la température des eaux ne peut pas refroidir de plus de quelques degrés que la moyenne avant de geler, alors que dans les lacs, les échantures ou les eaux superficielles peuvent être plus chaudes de plusieurs degrés que la « moyenne » lors des étés chauds. Il conviendrait donc d'envisager des méthodes statistiques plus complexes pour exprimer les écarts par rapport aux distributions faussées ou limitées de  $E_{base}$ . Idéalement, l'incertitude de tous les états de référence (état de la ressource de référence, niveau de référence de l'activité humaine et état environnemental de référence) devrait être évaluée et propagée à l'ensemble de l'évaluation du risque.

#### 4. CONDITIONNEMENT ENVIRONNEMENTAL DU RISQUE ET DES AVIS

La méthode d'évaluation du risque sur laquelle se fondent les ACCC proposés quantifie la probabilité  $P$  qu'une ressource soit à un état donné par rapport à des points de référence établis (p. ex.  $B/B_{rms}$ ) et quantifie le niveau d'une activité humaine par rapport aux niveaux acceptables (p. ex.  $F/F_{rms}$ ). Dans le cas de cette méthode, l'état réel de la ressource est inconnu, mais il y existe suffisamment de données pour estimer l'état de la ressource avec certains seuils de confiance ou pour exprimer son état par rapport à certains points de référence. Ainsi, pour qu'un niveau de pression et qu'un objectif maintiennent de l'état de la ressource B au-dessus d'un certain seuil de référence (p. ex. un point de référence de la biomasse  $B_{réf}$ ) :

$$Risque = P(B > B_{réf})$$

Cette évaluation du risque correspond à l'axe des ordonnées de la figure A1.1 (annexe A) et est liée à la gestion du risque, qui traite du niveau de risque acceptable associé aux différents objectifs de gestion (p. ex. chacun des trois panneaux de la figure A1.1 [annexe A]). La relation entre la probabilité qu'une ressource soit à un état donné et le niveau d'une activité humaine gérée (p. ex. l'axe des abscisses sur la figure A1.1 [annexe A]) est ce que nous appelons le profil de risque. Ce profil quantifie la réaction de la ressource à la pression humaine et décrit un ensemble d'options de gestion pour l'ajustement de la mortalité par pêche pour atteindre un objectif, en tenant compte de l'incertitude de l'évaluation de l'état de la ressource. Le conditionnement environnemental du risque consiste d'abord à ajuster le profil de risque en tenant compte de l'incertitude de la dynamique des ressources due à l'écart environnemental par rapport aux conditions de référence (c.-à-d.  $E/E_{base}$ ). Deuxièmement, il examine les effets (potentiels ou réalisés) sur l'état et la dynamique des ressources dans l'espace tactique et stratégique.

---

Les écarts environnementaux par rapport aux conditions de référence exerceront une pression directe ou indirecte supplémentaire sur la ressource, ce qui pourrait influencer sur le risque d'atteindre les objectifs de gestion à court terme ou dans les délais prévus. En fonction de leur fréquence, leur ampleur et leur directionnalité, les fluctuations environnementales peuvent contribuer au biais et à l'incertitude de la dynamique des ressources (incertitude du processus), de la réaction modélisée de la ressource à la pression humaine (incertitude du modèle et de l'estimation) et de la variabilité de l'échantillonnage et de l'information (incertitude d'observation). Cependant, bien qu'il soit possible de déterminer ou d'anticiper les sources potentielles d'incertitude, la quantification de l'ampleur de leurs effets est loin d'être simple. C'est pourquoi les ACCC sont axés sur le profil de risque, c'est-à-dire sur la relation qui existe entre la probabilité qu'une ressource soit à un état donné et le niveau d'activité humaine, plutôt que de supposer chaque aspect d'incertitude qui ne peut pas être résolu de manière analytique dans les délais nécessaires aux processus consultatifs.

Dans l'espace quantitatif, le profil de risque découle de la réaction modélisée de la ressource aux pressions qui s'exercent sur elle. Les évaluations classiques des ressources considèrent généralement l'activité humaine gérable, comme la pêche, comme la pression dominante (et *de facto*, la seule) sur la ressource, et les réactions sont modulées par des changements de certaines propriétés dynamiques de la ressource (p. ex. le recrutement ou la composition par âge ou par taille). Les profils de risque conditionnés par l'environnement (comme le montre la figure A1.1 [annexe A]) correspondent au profil de risque standard multiplié par les facteurs de conditionnement par les changements climatiques, qui sont soit estimés, soit calculés approximativement (en fonction des données disponibles et des connaissances des processus) et forment la base des avis. Si le conditionnement environnemental aboutit à un facteur de conditionnement par les changements climatiques différent d'un autre, le maintien d'un niveau de risque souhaité pour l'objectif de gestion des ressources nécessitera un ajustement du niveau d'activité humaine (p. ex.  $F$ ) par rapport aux niveaux de référence (p. ex.  $F_{rms}$ ). Puisque les dégradations de l'environnement peuvent avoir des répercussions positives ou négatives sur la ressource (c.-à-d. correspondre à des conditions plus ou moins favorables), les facteurs de conditionnement par les changements climatiques peuvent adopter des valeurs positives ou négatives. Par conséquent, lorsque les conditions environnementales sont favorables à une ressource, des niveaux élevés d'activité humaine (p. ex. prises ou effort de pêche) seront associés à de faibles niveaux de risque de ne pas atteindre les objectifs de gestion à court terme. Dans de tels cas, l'application d'une pénalité aux changements rapides de l'activité humaine peut permettre d'éviter des sauts importants d'intensité des pressions et de risques lorsqu'il n'est pas certain que les conditions environnementales favorables persisteront dans le temps. Toutefois, à moins que ces pénalités ne soient appliquées de manière asymétrique, avec des pénalités beaucoup plus fortes pour les augmentations de pression que pour les diminutions, elles affaibliront ou retarderont également les réactions face à la détérioration des conditions environnementales. L'utilisation de pénalités asymétriques peut assurer une certaine prudence dans la formulation des ACCC, tandis que le conditionnement environnemental du risque garantira que les effets des changements climatiques sur les ressources biologiques sont facilement détectés et intégrés au processus d'évaluation et de gestion des ressources.

Le conditionnement du risque par les changements climatiques peut nécessiter différentes méthodes et démarches en fonction de plusieurs facteurs :

- la disponibilité des données;
- les connaissances des processus;
- la méthode d'évaluation des ressources;
- l'incertitude des processus et des observations;

- 
- l'ampleur des écarts de E par rapport à  $E_{base}$ ;
  - la sensibilité de la ressource à [E].

L'urgence d'élaborer des avis scientifiques tenant compte du climat sera conditionnée par :

- la fréquence de récurrence des écarts importants de E par rapport à  $E_{base}$ ;
- l'indication d'un changement d'orientation des écarts  $E/E_{base}$ ;
- l'objet et la validité (expiration) de l'avis;
- le type d'objectifs de gestion et le temps alloué pour les atteindre;
- le niveau de risque acceptable de ne pas atteindre les objectifs de gestion;
- le temps de renouvellement de la ressource;
- la sensibilité actuelle de l'état de la ressource et sa capacité d'adaptation aux dommages admissibles (dans le cas de répercussions négatives des changements climatiques).

Les travaux futurs d'élaboration des ACCC pourraient porter sur l'élaboration de facteurs de conditionnement par les changements climatiques qui s'appliqueraient à un large éventail des considérations susmentionnées.

#### **4.1. FACTEURS DE CONDITIONNEMENT PAR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES**

Les profils de risque conditionnés par l'environnement peuvent être calculés dans le modèle d'évaluation, en fonction d'une ou plusieurs relations fonctionnelles entre une ou plusieurs composantes de la dynamique des ressources et des variables E pertinentes. Dans de tels cas, les facteurs de conditionnement par les changements climatiques sont des valeurs quantitatives estimées en comparant différents scénarios de modélisation à différentes hypothèses de dépendance de la dynamique des ressources envers  $E/E_{base}$  (voir les exemples de données abondantes et modérées des annexes A et B). Lorsque les effets environnementaux sur la dynamique des ressources ne sont pas connus ou qu'il n'existe pas de méthode d'évaluation acceptée pour établir un lien entre l'état des ressources et l'activité humaine (p. ex données faibles ou lacunes dans les connaissances), mais qu'on dispose d'un ensemble d'indicateurs pour évaluer le risque, les facteurs de conditionnement par les changements climatiques peuvent être calculés de manière approximative à l'aide de cotes semi-quantitatives catégoriques (facteurs de conditionnement par les changements climatiques catégoriques ou déduits) fondées sur des données relatives à la sensibilité des ressources pondérées par l'ampleur du changement par rapport aux conditions environnementales de référence ( $E/E_{base}$ ) (c'est-à-dire l'exposition au changement) et le degré de confiance dans les données disponibles pour l'évaluation (figure 2) (voir exemple à l'annexe C). La sensibilité des ressources à la dégradation de l'environnement peut être déterminée approximativement à l'aide de cotes de sensibilité issues des évaluations de la vulnérabilité aux changements climatiques, en tenant compte des attributs du cycle biologique et des connaissances spécialisées de la sensibilité des ressources à la variation environnementale, des connaissances empiriques sur la capacité d'adaptation et les seuils de tolérance à des variables E spécifiques provenant d'études expérimentales, ou des données et renseignements présumés disponibles pour des ressources et des écosystèmes semblables et comparables.

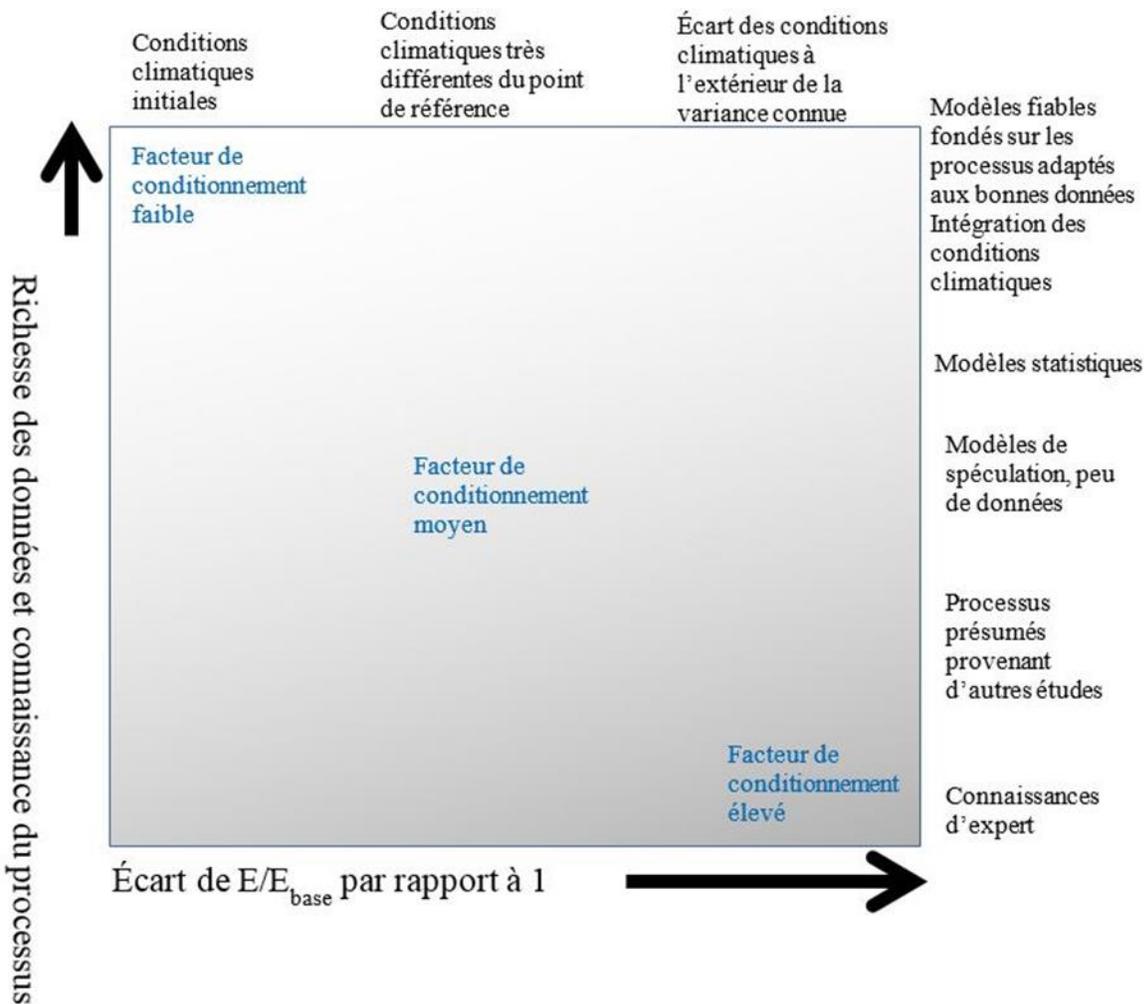


Figure 2 : Représentation de la façon dont les facteurs conditionnant les avis peuvent changer en fonction de l'ampleur des écarts  $E/E_{base}$  par rapport à 1 et de la quantité de données et de connaissances des processus disponibles pour déterminer les répercussions des changements climatiques sur la ressource. L'incertitude augmente avec l'ampleur du changement de  $E/E_{base}$  (de gauche à droite sur le plan horizontal) et augmente également avec la diminution de la qualité des données/des évaluations (de haut en bas sur le plan vertical). Il s'agit d'une représentation concernant des ressources aux sensibilités similaires aux changements climatiques qui évite la représentation d'un troisième axe. Il est donc important de tenir compte de la sensibilité de la dynamique des ressources aux changements climatiques. Les cotes d'incertitude le long de ces axes peuvent être utilisées comme moyen de déterminer les facteurs de conditionnement par les changements climatiques pour un grand nombre de données, de situations de modélisation et de scénarios de changements climatiques.

Différentes méthodes de spécification ou d'estimation des facteurs de conditionnement par les changements climatiques (semi-quantitatives et par déduction jusqu'à entièrement quantitatives) peuvent être mises en œuvre comme étapes progressives pour s'assurer que l'incertitude découlant d'un changement environnemental est facilement intégrée à l'examen de risques et aux avis scientifiques connexes, même si la connaissance des processus de dépendance de la dynamique des ressources envers  $E$  est incomplète. À mesure que la compréhension fondée sur les processus des relations entre les variables  $E$  et la dynamique des ressources ainsi que les évaluations analytiques s'améliorent dans l'ensemble, la capacité à estimer quantitativement les facteurs de conditionnement par les changements climatiques

---

lors de l'évaluation augmente. L'hypothèse d'une relation linéaire entre l'état de la ressource et l'état de l'environnement est la toute première étape à mettre en œuvre si les données sont limitées. Des améliorations progressives de la méthode fondée sur les facteurs de conditionnement par les changements climatiques sont possibles lorsque de nouvelles connaissances sur la réaction de la ressource aux conditions environnementales, aux pressions humaines ou aux autres relations deviennent disponibles.

À l'heure actuelle et dans la plupart des cas, on peut s'attendre à ce que l'information requise pour déterminer pleinement les relations solides entre l'état de l'environnement et l'état des ressources ou les composantes dynamiques soit incomplète. Néanmoins, la mise en œuvre systématique d'un conditionnement environnemental du risque permettra aux décideurs d'utiliser les connaissances limitées disponibles et orientera l'acquisition de connaissances et de données afin d'obtenir des facteurs de conditionnement par les changements climatiques plus fiables et d'améliorer la confiance dans les avis scientifiques conditionnés par le climat.

L'espace bidimensionnel, qui se compose d'un axe de données et de connaissance des processus et d'un axe représentant l'ampleur de l'écart climatique par rapport à la situation de référence (figure 2), peut représenter la première et la principale étape pour déterminer les facteurs de conditionnement par les changements climatiques et élaborer des avis scientifiques conditionnés par le climat. Toutefois, les facteurs de conditionnement par les changements climatiques déterminés dans un espace bidimensionnel doivent également tenir compte, de manière intrinsèque ou extrinsèque, de la sensibilité à [E], car elle détermine l'ampleur de la réaction de la dynamique des ressources face à [E] (et donc les valeurs des facteurs de conditionnement par les changements climatiques). La prise en compte intrinsèque de la sensibilité des ressources se produit lorsqu'il existe un modèle statistique fonctionnel et des relations entre la dynamique des ressources, la pression humaine et les variables E. Dans de tels cas, l'ampleur de la réaction de la dynamique des ressources face à E est déterminée dans le modèle et est implicitement prise en compte dans l'estimation des facteurs de conditionnement par les changements climatiques. La prise en compte extrinsèque de la sensibilité des ressources s'applique lorsqu'il n'y a pas de modèle statistique ou de relation statistique. Dans de tels cas, les facteurs bidimensionnels de conditionnement par les changements climatiques sont ajustés (p. ex. l'utilisation de cotes de sensibilité semi-quantitatives des ressources) pour tenir compte de l'ampleur de la dépendance de la dynamique des ressources envers E. Ainsi, contrairement aux méthodes d'équivalence risque élaborées et mises en œuvre aux États-Unis et en Australie, où seul l'axe vertical (fig. 2) (abondance des données et des connaissances sur les processus) est officiellement pris en compte, la détermination des facteurs de conditionnement par les changements climatiques est en fait un processus tridimensionnel qui ne nécessite pas d'inclure explicitement des mécanismes relatifs à ces changements temporels. Par exemple, le fait de permettre à la mortalité naturelle de varier dans le temps au cours du processus d'estimation pourrait peut-être refléter les changements de la mortalité causés par l'augmentation de la température due aux changements climatiques. Puisqu'on s'attend à ce que la plupart des facteurs liés au climat comportent des autocorrélations ou aient des corrélations entre eux dans le temps, s'il existe des corrélations entre les variables environnementales et les paramètres de la population, les projections et les avis tactiques à court terme pourraient bien refléter les considérations liées aux changements climatiques simplement en intégrant certains paramètres variant dans le temps. Ce type de modèles supprime essentiellement la dimension de l'axe horizontal (fig. 2) si l'on pense que le paramètre variant dans le temps représente des changements de dynamique dus aux changements climatiques. Les modèles de paramètres variant dans le temps, cependant, ne spéculent généralement pas profondément sur la cause de la variance (ce qui est considéré comme un point fort) et les paramètres variant dans le temps deviennent un modèle de tri des erreurs de processus. Les modèles d'erreur de traitement et à effets

---

aléatoires sont actuellement en vogue et sont pratiques, dans le sens où ils n'ont pas besoin de préciser les sources d'erreur et où ils s'adaptent bien aux données. En tant que tels, cependant, ils sont peu éloignés des modèles statistiques de représentation fondée sur la modélisation des processus (figure 2), car ils fournissent une compréhension moins grande des processus, peuvent être biaisés (Auger-Méthe *et al.* 2016) et peuvent encore exiger un conditionnement le long de l'axe données/connaissances.

#### **4.2. CALENDRIER DE RÉDACTION DES AVIS SUR LES PÊCHES**

Le Secteur des sciences du MPO formule des avis scientifiques sur un large éventail d'OAP afin de protéger de nombreux éléments de l'écosystème aquatique ou d'en assurer l'utilisation durable (tableau 1). La variation environnementale sur des échelles temporelles allant d'une fréquence interannuelle à un siècle peut avoir une incidence sur bon nombre de ces combinaisons de pressions et d'états, offrant de nombreuses possibilités pour que la variation et les changements climatiques soient pris en compte par les avis. Même si l'on considère uniquement la gestion des pêches de capture, il existe de nombreux besoins et de nombreuses possibilités en matière d'avis sur les pêches conditionnés par le climat. Le tableau 2 illustre certaines des interactions possibles entre la pression, l'état et l'échelle temporelle.

Tableau 2 : Composantes d'un avis standard d'évaluation des pêches et réflexion visant à montrer comment elles sont touchées par les changements climatiques à différentes échelles temporelles et quelles sont les stratégies que la science ou la gestion pourraient adopter pour y réagir (conditionnement).

Composante	Variable	Échelle temporelle	Incidence possible	Réaction possible de conditionnement climatique
État	Biomasse du stock reproducteur	Annuelle	Les changements climatiques pourraient entraîner des changements de la taille selon l'âge variant d'une cohorte à l'autre.	Rendre le poids selon l'âge conditionnel au rapport $E/E_{base}$ l'année de production de la cohorte, afin de gérer le risque de ne pas avoir une biomasse mature adéquate disponible pour le frai chaque année.
		Pluriannuelle	Les conditions océanographiques propices au frai changent tant sur le plan de l'étendue que sur celui de l'emplacement.	Rendre la BSR cible qui doit rester à la fin de la pêche conditionnelle au rapport $E/E_{base}$ , afin que suffisamment de reproducteurs soient disponibles pour saturer le volume adéquat pour le frai et gérer le risque de compromettre le recrutement, puisque la quantité de recrues nécessaires change.
		Plusieurs dizaines d'années	La composition des espèces et la productivité primaire changent, de sorte que les relations dans le réseau trophique évoluent dans l'écosystème.	Réévaluer les besoins d'un nouvel ensemble de prédateurs de niveau trophique supérieur sur les niveaux trophiques moyens, et le bas de l'approvisionnement en nourriture pour le système, de sorte que les nouveaux niveaux d'échappée établis pour les espèces fourragères permettent de gérer le risque de manque de proies pour tous les besoins des prédateurs.
Pression	Mortalité par pêche	Annuelle	La mortalité hivernale devient plus variable à mesure que l'état des glaces hivernales devient moins prévisible.	Rendre M conditionnel au rapport $E/E_{base}$ dans les évaluations annuelles des stocks avec un objectif constant Z. Par conséquent, F amortit les répercussions du changement climatique sur Z.
		Pluriannuelle	Le stock se regroupe de plus en plus parce que l'espace d'habitat convenable diminue en raison de la dégradation de l'environnement.	Rendre la relation F/effort dans les évaluations des stocks conditionnelle au rapport $E/E_{base}$ (espace d'habitat convenable) de manière à tenir compte de l'évolution de q dans l'avis sur les quotas annuels et à gérer ainsi la surexploitation du stock.
		Plusieurs dizaines d'années	Une tendance importante à long terme se dégage pour les recrues par reproducteur en raison de le changement de l'environnement.	Élaborer une règle de contrôle des prises qui tient compte de la tendance du rapport $E/E_{base}$ et ajuste le taux de prises cible à cette tendance dans l'incidence des conditions environnementales sur la productivité du stock, ce qui permet de gérer le risque de compromettre le recrutement.
Évaluation du risque		Annuelle	Les espèces protégées, capturées	Avec des taux de prises accessoires proportionnels à l'effort de la pêche cible, établir

Composante	Variable	Échelle temporelle	Incidence possible	Réaction possible de conditionnement climatique
			en tant que prises accessoires, entrent dans la zone de pêche les années où les conditions environnementales sont favorables.	un plafond total de l'effort conditionnel au rapport $E/E_{base}$ , de manière à réduire proactivement l'effort lorsque les conditions favorables à des prises accessoires importantes se produisent, ce qui permet de gérer le risque de dépasser la tolérance des prises accessoires pour une espèce protégée.
		Pluriannuelle	La composition des espèces dans une pêche plurispécifique évolue car les conditions privilégiées par les différentes espèces changent à des rythmes différents.	Rendre la tolérance au risque de dépassement le taux d'exploitation durable de l'espèce la moins favorisée par la tendance environnementale plus stricte que la tolérance au risque pour les autres espèces du complexe afin de gérer le risque collectif que tous les taux de récolte ne soient pas durables.

Envisager un écart positif de la température de l'eau qui a eu effet sur la distribution spatiale d'un stock de poissons et, par conséquent, possiblement modifier la capturabilité du relevé, la capture par unité d'effort (CPUE) commerciale et les indices d'abondance correspondants qui servent d'intrants pour l'évaluation du stock. Dans ce cas, le changement environnemental peut influencer sur les estimations de l'état des stocks en introduisant potentiellement des biais et des erreurs d'observation dans les estimations de l'abondance par rapport aux valeurs antérieures de la série chronologique. Les mêmes changements peuvent ou non avoir effet sur la dynamique des stocks telle qu'elle a été mise en œuvre par calcul dans l'évaluation du stock, mais l'utilisation de ce point de données pour fournir des avis introduira des inexactitudes relatives au niveau de prises conseillé. Si la valeur est traitée comme une estimation absolue de la taille du stock, le quota conseillé pour Fréf serait alors biaisé dans le même sens, alors que si elle était traitée comme un indice relatif de la taille du stock, mais ajoutée à une série chronologique d'estimations relatives, elle biaiserait l'estimation de la tendance de manière optimiste dans le cas d'un biais positif et de manière pessimiste dans le cas d'un biais négatif.

Les conseils tactiques relatifs à ce stock seront formulés en fonction du risque calculé que le stock soit dans un état donné par rapport à ses points de référence et à son niveau de prises actuel (espace opérationnel sûr =  $P$ ) en supposant une variation environnementale aléatoire dans les limites de la plage de variabilité naturelle du stock). Le risque supplémentaire lié à l'état du stock conditionné par l'environnement serait ajusté pour tenir compte de l'incertitude de l'état de l'environnement ( $E/E_{base}$ ), l'objectif étant que le stock soit dans le même état que les points de référence et le niveau de prises actuel (espace opérationnel sûr =  $P^{CC}$  tenant compte des effets environnementaux sur l'état du stock proportionnellement à la sensibilité du stock aux variations de température, à l'ampleur du changement de température par rapport au niveau de référence et à la confiance dans les données disponibles pour évaluer l'état environnemental). En fonction des facteurs de conditionnement par les changements climatiques (différence factorielle entre  $P$  et  $P^{CC}$ ), les avis tactiques relatifs au stock peuvent consister en des mises en garde reconnaissant l'incertitude due à un écart à court terme par rapport aux conditions environnementales de référence et une confiance moindre dans l'estimation ponctuelle de l'état du stock cette année-là, ou peuvent être des profils de risque comprenant un taux de prises réduit ou une échappée supérieure pour une tolérance donnée dans les conditions environnementales prévues pendant la période consultative. Il pourrait y avoir une recommandation en faveur d'un effort de surveillance accru.

---

Penchons-nous maintenant sur un écart positif identique de la température de l'eau se produisant cinq années de suite, avec des changements notables de distribution des stocks et de capturabilité des relevés. On soupçonne que le changement de distribution a déclenché des changements d'interactions communautaires influant sur la productivité des stocks. Dans ce cas, on s'attend à ce que les changements environnementaux nuisent à la fois l'état récent des stocks et leur dynamique. Les avis tactiques sur cinq ans doivent tenir compte de la fréquence et de la récurrence des écarts par rapport aux conditions environnementales de référence, ainsi que du développement des connaissances au cours des cinq dernières années (processus d'apprentissage amorcés aux cours des années précédentes, à la suite de la prise en compte explicite de la variabilité environnementale dans l'évaluation). Dans ce cas, une méthode fondée sur des scénarios pourrait quantifier comment les changements liés à l'environnement des hypothèses de productivité des stocks et de capturabilité des relevés lors de l'évaluation des stocks influenceront sur le profil de risque (c.-à-d. la différence entre le risque standard et le risque conditionné par l'environnement). Les avis tactiques relatifs au stock tiendraient compte du biais croissant ou de l'incertitude croissante attribuable aux écarts répétés par rapport aux conditions environnementales de référence et pourraient avoir commencé à explorer, à tester et même à adopter d'autres spécifications relatives aux hypothèses de capturabilité et de productivité du stock dans le modèle d'évaluation. Les avis stratégiques pourraient être élaborés en projetant des scénarios dans le futur et en évaluant l'évolution de la réaction de la ressource à différents niveaux de prises et selon différentes hypothèses de capturabilité et de productivité en cas de changement persistant des températures. La rapidité avec laquelle les changements sont apportés à la stratégie et aux objectifs de gestion du stock dépendra de la solidité des preuves accumulées au fur et à mesure (à la fois la quantité et la cohérence des preuves, en particulier la compréhension fondée sur les processus de la persistance des changements environnementaux et sur le fait que les changements environnementaux ont réellement des répercussions sur la dynamique du stock).

Si le même écart positif de température de l'eau est constamment détecté sur une période d'une décennie ou plus, par exemple, le Secteur des sciences du MPO devrait recalculer les points de référence des stocks, qui pourraient alors être un nouveau régime de productivité des stocks et la preuve de répercussions des changements climatiques, et devrait entamer le dialogue avec les autres secteurs du MPO et les clients externes des avis sur les stocks afin d'évoquer les répercussions des résultats. Ce dialogue comprendra probablement aussi la répétition d'une évaluation de la stratégie de gestion (ESP) ou d'autres analyses à l'appui de la stratégie de gestion en place, et servira de fondement aux modifications appropriées des points de référence, des taux de prises et des autres mesures de gestion de la stratégie qui pourraient être concernés (p. ex. dates d'ouverture et de fermeture, allocations géographiques ou par flotte). En tenant compte explicitement des écarts de température par rapport aux conditions de référence dans le cadre du processus d'évaluation des risques aux échelles annuelle, pluriannuelle et décennale, la stratégie d'ACCC pourrait permettre au Secteur des sciences : 1) de détecter et de surveiller rapidement l'incidence potentielle des changements climatiques sur la ressource; 2) de tenir facilement compte de l'incertitude liée à la dégradation de l'environnement lors de la formulation des avis scientifiques à plusieurs échelles temporelles; 3) d'entreprendre des recherches et des activités d'enrichissement des connaissances sur les effets de la dégradation de l'environnement sur la dynamique et l'état des stocks; 4) de remettre facilement en question les hypothèses d'évaluation des stocks, en tenant compte des nouvelles conditions environnementales; 5) d'orienter, lorsque les preuves sont suffisantes, les révisions de la stratégie de gestion afin de refléter les nouvelles conditions environnementales.

Cette méthode fondée sur le risque pour tenir compte de la dégradation de l'environnement à diverses échelles temporelles dans les avis scientifiques devrait s'appliquer largement dans de nombreux domaines de compétence partielle ou totale du Ministère, afin de tenir compte des

changements climatiques dans ces types d'avis. Un exemple précis de ces considérations dans le contexte d'un avis d'évaluation des pêches est présenté au tableau 3. Il est clair que chaque cas dépendra du contexte et que l'opérationnalisation nécessitera une expertise précise et prendra en compte le contexte consultatif.

*Tableau 3 : Risques liés au climat à différentes échelles temporelles et dans différents types d'avis en matière de gestion des pêches. Les changements climatiques modifieront les avis différemment en fonction de l'échelle temporelle à laquelle ils sont destinés et des conséquences possibles de l'inclusion ou non de considérations climatiques.*

Durée	Risques	Analyse (toutes les puces <i>possibles</i> , peu de puces <i>certaines</i> )
Courte	Quotas erronés 1) Trop élevés – surexploitation. 2) Trop faible – occasion manquée.	<p><u>Processus</u> <u>possiblement utilisés</u> a) Évolution de la croissance, du recrutement et de la survie. b) Évolution de la distribution.</p> <p><u>Conséquences de l'évaluation</u> a) Calcul de la moyenne de la variation biologique. b) Évolution de la CPUE et des indices de relevé.</p> <p><u>Amélioration du traitement de l'évaluation</u> a) Utilisation d'estimations annuelles plus précises. b) Ajustement des indices de changement de « l'espace occupé ».</p> <p><u>Exigences pour réaliser des améliorations</u> a) Relation étroite entre les caractéristiques environnementales et les paramètres d'évaluation. b) L'espèce a des préférences définies en matière d'habitat.</p> <p><u>Nouvelles lacunes possibles en matière d'évaluation en cas de traitement insuffisant</u> Augmentation de la variance bien plus qu'élimination de l'imprécision et des biais. Surinterprétation des répercussions des changements de l'environnement sous la forme de la gamme du variable environnementale lorsque la relation est faible.</p>
Pluriannuelle	Comme pour une durée courte; retard de détection des changements de trajectoires	<p><u>Processus</u> <u>possiblement utilisés</u> Comme à court terme, mais les changements sont brusques et persistants.</p> <p><u>Conséquences de l'évaluation</u> La plupart des conséquences à court terme. Plus la pertinence des changements apportés aux points de référence de gestion.</p> <p><u>Amélioration du traitement de l'évaluation</u> Mesures à court terme. Nouveau calcul des points de référence de gestion.</p> <p><u>Exigences pour réaliser des améliorations</u> La relation entre les caractéristiques environnementales et les paramètres d'évaluation doit permettre de détecter les non-linéarités et les points de basculement. Estimation de plusieurs ensembles de points de référence plus exigeants en matière de données. Les changements persistants de la répartition de l'espèce pourraient nécessiter des ajustements de la surveillance des pêches et des relevés. Trouver des indicateurs environnementaux fiables des changements de productivité progressifs.</p>

		<p><u>Nouvelles lacunes possibles en matière d'évaluation en cas de traitement insuffisant</u></p> <p>Discréditer les repères de gestion s'ils sont modifiés trop tôt (fausses alarmes).</p> <p>Les risques de gestion liés aux retards de passage d'un régime d'avis à un autre sont très asymétriques (d'élevés à faibles, de faibles à élevés).</p> <p>Il se peut que les « régimes » ne soient que des configurations de système stables multiples, mais différentes, de sorte que chaque « régime » est unique.</p>
Plusieurs dizaines d'années	<p>Les tendances liées à l'environnement sont confondues avec les tendances induites par la pêche.</p> <p>Relocalisation de la pêche au fil du temps (évolution des prises accessoires et des incidences sur l'habitat).</p>	<p><u>Processus possiblement utilisés</u></p> <p>a) À des endroits spécifiques, les paramètres de population indiquent le gradient de changement.</p> <p>b) Changements de la communauté des prédateurs, des proies et des concurrents.</p> <p>c) Le stock peut changer d'aire de répartition pour rester dans les limites d'une période environnementale appropriée.</p> <p><u>Conséquences de l'évaluation</u></p> <p>a) Une interprétation confuse des résultats de l'évaluation pourrait surestimer ou sous-estimer le rôle de la pêche dans les tendances des stocks.</p> <p>b) Tous les paramètres dépendant de la densité doivent faire l'objet d'une évaluation minutieuse.</p> <p>c) Les limites spatiales des évaluations devront être réévaluées régulièrement.</p> <p><u>Amélioration du traitement de l'évaluation</u></p> <p>a) Capacité à dissocier les facteurs climatiques et liés aux pêches.</p> <p>b) Utilisation accrue de modèles multiespèces et fondés sur la taille.</p> <p>c) Préférences en matière d'habitat connues et limitées.</p> <p><u>Exigences pour réaliser des améliorations</u></p> <p>a) Relation étroite nécessaire entre les caractéristiques environnementales et les paramètres d'évaluation.</p> <p>b) Surveillance multiespèces/des écosystèmes et modèles rigoureux.</p> <p>c) Modèles océanographiques permettant de prédire les tendances temporelles des habitats.</p> <p><u>Nouvelles lacunes possibles en matière d'évaluation en cas de traitement insuffisant</u></p> <p>De nombreuses relations fonctionnelles seront prédites en dehors de la plage des données de paramétrage.</p> <p>Les comportements de pêche sont susceptibles de changer autant que les stocks et auront une incidence sur de NOMBREUX flux de données.</p>

## 5. PROCESSUS DÉCISIONNEL POUR L'ÉLABORATION D'AVIS CONDITIONNÉS PAR LE CLIMAT

Il existe plusieurs démarches et méthodes pour élaborer des ACCC. Le choix des démarches et des méthodes doit tenir compte de l'ensemble des connaissances et des données disponibles, de la réaction des ressources aux changements climatiques (déterminée par l'ampleur des écarts environnementaux par rapport aux conditions de référence et la sensibilité des ressources) et du type d'avis tactiques et stratégiques nécessaires (figures 3 et 4). Nous avons

fourni un diagramme général présentant le processus de réflexion qui peut être suivi lors de l'élaboration d'ACCC.

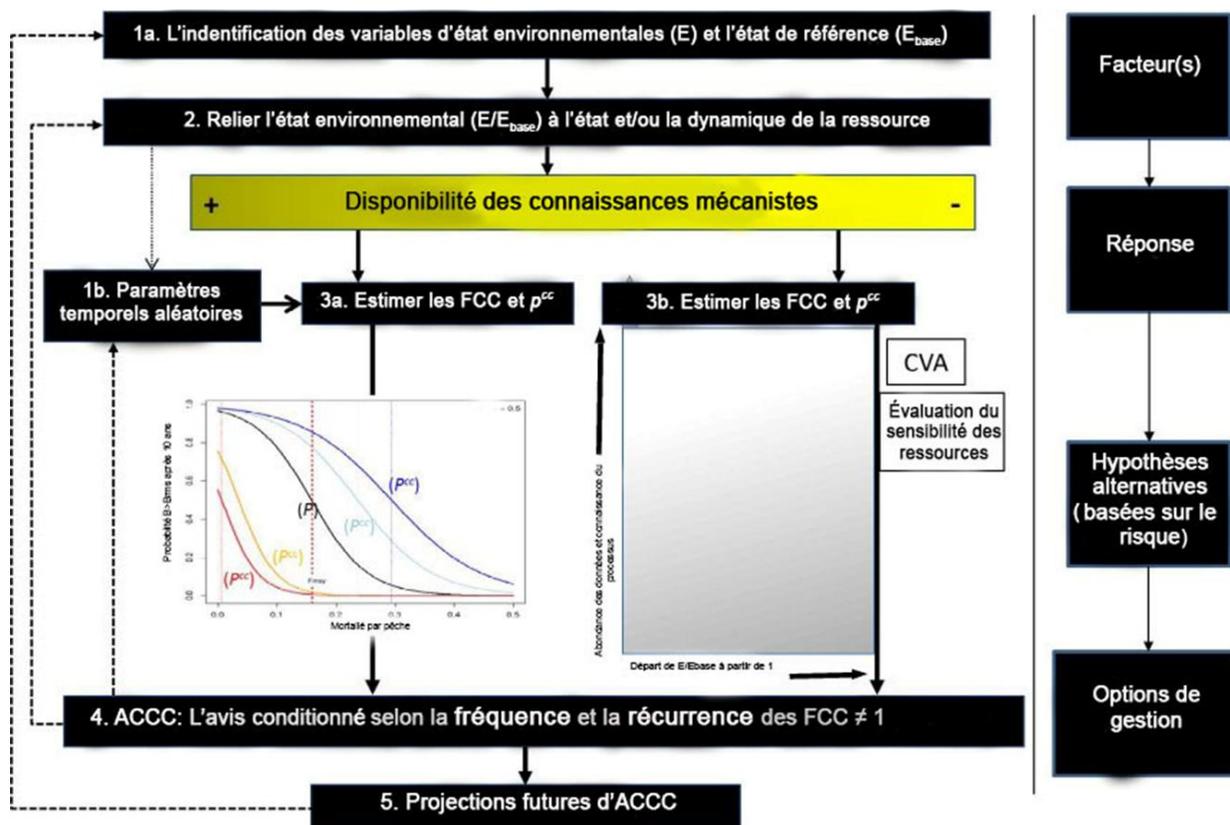


Figure 3 : Étapes définissant le processus de réflexion pour l'élaboration d'une stratégie visant à fournir des avis conditionnés par les changements climatiques (à gauche), avec les composantes clés (à droite). Les flèches pleines représentent un processus progressif. Les flèches discontinues représentent un processus itératif. La flèche en pointillés (paramètres variant dans le temps) représente une étape fondée sur des hypothèses a priori.

Les figures 3 et 4 illustrent un processus progressif pour l'élaboration d'avis conditionnés par le climat. Les exemples de mise en œuvre d'ACCC sur les pêches fournis dans le présent document (annexes A et B) sont principalement expliqués pour les pêches gérées par contrôle des extrants, p. ex. les pêches fondées sur un TAC. L'application de ces méthodes aux pêches faisant l'objet d'un contrôle des intrants (p. ex. les pêches du homard de la côte Est sont gérées par nombre de permis et de casiers, par saisons de pêche et par restrictions de taille) est possible, mais des éléments peuvent être ajoutés. Par exemple, l'avis doit tenir compte de la façon dont les mesures de contrôle des intrants influent sur le stock (p. ex. BSR et R en fin d'année) et, selon le modèle d'évaluation, des extrants (p. ex. ampleur des prises), ainsi que de la façon dont les changements climatiques peuvent modifier à la fois le contrôle des intrants (p. ex. effort dans le temps et l'espace) et l'état du stock. Ces changements peuvent rendre encore plus complexes les avis conditionnés par les changements climatiques relatifs aux pêches faisant l'objet d'un contrôle des intrants. Cela peut entraîner des changements de durée de la saison ou du nombre de permis ou de casiers. Les interactions entre les contrôles des intrants peuvent ne pas conduire directement aux extrants, de sorte qu'il sera nécessaire pour les évaluateurs qui connaissent le mieux les particularités d'une pêche et la biologie d'un stock

de déterminer quels types de contrôles pourraient être les plus appropriés à la gestion d'équivalence risque dans le contexte des changements climatiques.

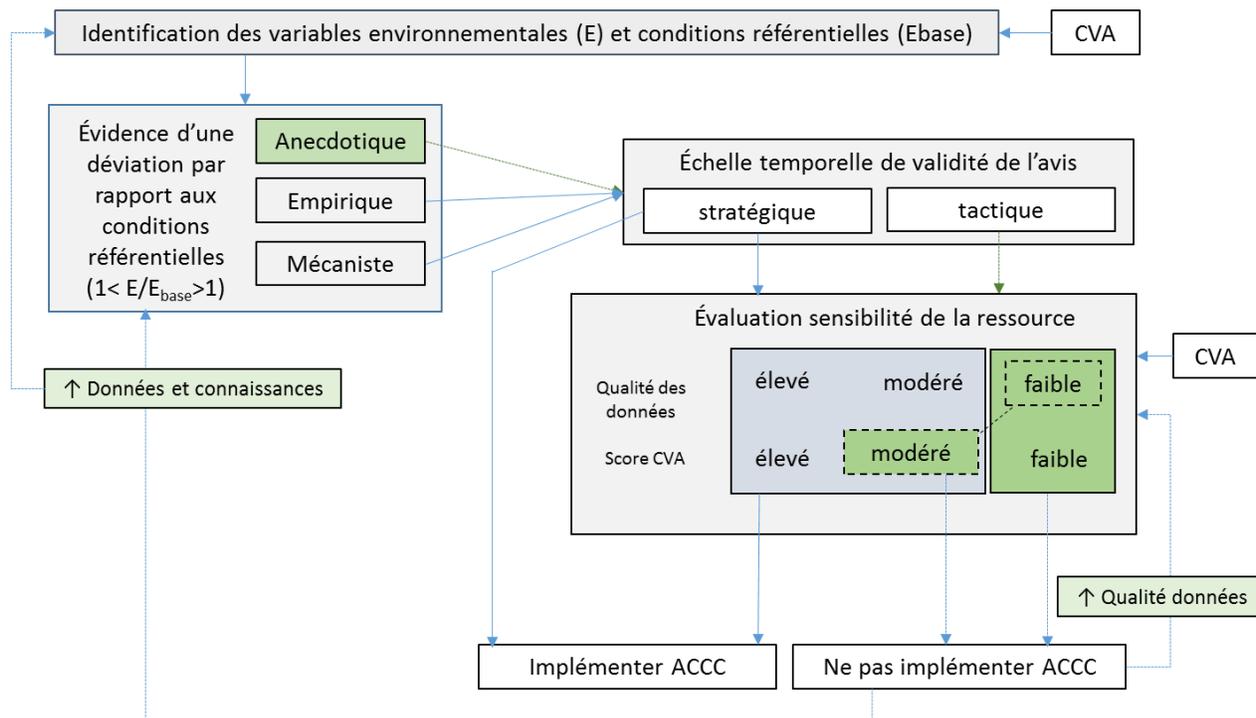


Figure 4 : Processus décisionnel visant à déterminer quand et comment élaborer et mettre en œuvre des avis conditionnés par les changements climatiques (ACCC) relatifs à une ressource, compte tenu des connaissances de base pour l'évaluation de l'état de l'environnement, de la nature des avis demandés, de la qualité des données et de la sensibilité des ressources. L'information sur les pressions provenant des évaluations existantes de vulnérabilité climatique peut être utile pour déterminer les variables environnementales pertinentes (E), tandis que l'information sur la sensibilité provenant des évaluations de vulnérabilité climatique peut être utilisée pour évaluer la sensibilité des ressources. La mise en œuvre des ACCC peut être déclenchée par toute preuve d'écart par rapport aux conditions environnementales de référence (anecdotiques, empiriques ou mécanistes) et être la fondation par défaut de tous les avis stratégiques. Pour ce qui est des avis tactiques, la décision de mettre en œuvre les ACCC peut être fondée sur l'évaluation de la sensibilité des ressources et la qualité et la disponibilité des données. Une sensibilité élevée peut déclencher automatiquement la mise en œuvre des ACCC, nonobstant la qualité des données. Une sensibilité modérée ou faible peut mener à la mise en œuvre des ACCC si la qualité des données est élevée à modérée. Si les preuves d'écart par rapport aux conditions environnementales de référence sont anecdotiques et que la sensibilité des ressources est faible ou modérée et fondée sur des données de faible qualité, il se peut que l'information et les preuves soient insuffisantes pour mettre en œuvre les ACCC. Dans de tels cas, la nécessité d'accroître les données et les connaissances disponibles pourrait être clairement énoncée dans l'avis.

## 6. DOMAINES D'AVIS LES PLUS SUSCEPTIBLES D'ÊTRE CONCERNÉS PAR LES CONSIDÉRATIONS LIÉES AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Dans la pratique, les avis sur l'évaluation des stocks sont le plus souvent élaborés en vue de la présentation d'avis tactiques. Les incertitudes de l'évaluation des stocks à cette échelle sont généralement liées à deux composantes de la productivité, c'est-à-dire le recrutement et la mortalité. Ces deux facteurs sont habituellement fortement influencés par les conditions locales à des échelles temporelles de moins d'un an. Dans un tel cas, il est peu probable qu'un signe de changement climatique soit l'incertitude prédominante. En outre, les évaluations des pêches

---

relatives aux stocks les plus importants sont généralement répétées tous les 1 à 5 ans, lorsque les données observées depuis l'évaluation précédente sont mises à jour. Pour ces raisons, **il est sans doute moins probable que le conditionnement par les changements climatiques des avis d'évaluation tactique des stocks de poissons soit considérablement différent des avis de référence ou de départ, à condition que les situations de départ soient examinées à intervalles appropriés.** Cela rend d'autant plus importante la reconnaissance du fait que les composantes stratégiques de l'avis sont plus susceptibles d'être touchées par les changements climatiques. Par conséquent, le conditionnement par les changements climatiques devrait continuer d'être pris en compte dans tous les cas où les effets des changements climatiques sont plausibles, afin de s'assurer au moins que les points de référence ou de départ demeurent solides ou qu'ils soient révisés à des intervalles pertinents en fonction de la biologie du stock et de la dégradation de l'environnement. Dans d'autres secteurs du Ministère (tableau 1), les avis sont souvent davantage axés sur des objectifs stratégiques ou sur la prise de décisions ponctuelles qui sont difficilement réversibles et, par conséquent, plus susceptibles de nécessiter un conditionnement de leur profil de risque aux changements climatiques.

Les aspects les plus stratégiques des avis sur l'évaluation des stocks fondés sur le risque sont ceux pour lesquels les considérations relatives aux changements climatiques peuvent être prises en compte de façon utile, même si les facteurs de conditionnement par les changements climatiques ne sont pas considérés comme nécessaires pour les avis tactiques à court terme. Le cadre de l'approche de précaution (MPO 2006) comporte des points de référence limites, des points de référence supérieurs du stock, une cible implicite et une règle de contrôle des prises. Tous ces points de référence sont des domaines où les changements climatiques peuvent être plus susceptibles d'être pris en compte, y compris le point de référence supérieur du stock et les points de référence cibles. Par exemple, si un stock se rétablit vers une cible avec une échéance proposée de 10 à 15 ans, cette cible a été établie en fonction de considérations stratégiques et le délai de rétablissement a été établi en fonction de l'hypothèse d'une dynamique de productivité stable du stock, et donc d'un environnement stable. Les changements climatiques peuvent être importants à des échelles décennales, et les estimations des risques à ces échelles temporelles doivent tenir compte des répercussions des changements climatiques. Pour ce faire, on pourrait modifier de manière pertinente le profil de risque du stock en fonction de la trajectoire de rétablissement, en ajustant la cible ou le délai pour l'atteindre, ou en utilisant une combinaison de ces mesures stratégiques. Le point de référence supérieur du stock peut également être un domaine où les considérations liées aux changements climatiques pourraient modifier le niveau cible, même pour les stocks actuellement dans la zone saine. Si le climat devient plus ou moins favorable pour le stock, les objectifs de rendement comme  $B_{rms}$  pourraient également être plus ou moins élevés et plus ou moins susceptibles d'être atteints en raison de la dynamique des populations, même si la pêche reste bien gérée en matière de taux d'exploitation.

Un autre domaine des avis d'évaluation des stocks où des considérations relatives aux changements climatiques pourraient être prises en compte serait le travail de simulation tel que l'ESP. Le modèle opérationnel de base (modèle de dynamique des stocks fondé sur les processus) utilisé dans les ESP représente généralement les conditions actuelles fondées sur l'ajustement des paramètres du modèle aux ensembles de données sur les pêches. La stratégie de pêche élaborée dans une ESP est testée en fonction des conditions du modèle opérationnel, mais il est utile d'avoir d'autres modèles d'exploitation plus ou moins plausibles afin de tester l'efficacité des stratégies de pêche en fonction de la plage de plausibilité. Si les stratégies sont censées fonctionner dans de nombreuses conditions et pendant une période relativement longue, alors les modèles opérationnels alternatifs qui intègrent les signes des changements climatiques pourraient être des tests de résistance utiles pour une ESP. Il appartiendra aux

---

participants et aux scientifiques impliqués dans le processus d'une ESP particulière de décider de l'importance d'adopter une procédure de gestion conditionnée par les changements climatiques ou d'envisager des procédures de gestion robustes face aux changements climatiques et testées au moyen de modèles opérationnels qui tiennent compte des changements climatiques.

## 7. RÉSUMÉ

Puisque le taux actuel des changements climatiques a des répercussions sur l'environnement aquatique du Canada, il n'est plus acceptable de supposer que les niveaux antérieurs de production piscicole ou les états sains et critiques demeureront perpétuellement identiques. L'adoption d'une stratégie d'élaboration d'avis conditionnés par les changements climatiques est donc importante pour l'évaluation des stocks de poissons, et des stratégies semblables sont susceptibles de devenir bientôt une considération importante pour d'autres secteurs du Ministère qui ont besoin d'avis fondés sur le risque pour la gestion des ressources biologiques.

Les avis du Ministère sont souvent fournis pour des raisons tactiques à court terme, en particulier aux fins de la gestion des prises, mais ils peuvent aussi être à plus long terme ou stratégiques. Il est important de comprendre les délais de validité des avis afin de déterminer comment le conditionnement aux changements climatiques est susceptible d'influer sur les avis. Ironiquement, puisque le présent document met l'accent sur les effets des changements climatiques sur les avis d'évaluation des stocks, les avis tactiques en matière d'évaluation des stocks sont susceptibles d'être un domaine de gestion moins souvent concerné directement par les changements climatiques au sein du Ministère. Cela s'explique en partie par la nature à court terme des avis sur l'état des stocks et les prises annuelles, et en partie par la codification du processus consultatif d'évaluation des stocks qui prévoit déjà des mises à jour régulières des méthodes d'évaluation et des points de référence, souvent plusieurs fois pendant la durée de génération du stock géré. L'analyse répétée de l'état et de la tendance des stocks repose sur une certaine adaptation à l'environnement en évolution au cours du cycle de mise à jour. Cependant, ce fait n'est pas universel : par exemple, lorsque la fréquence de mise à jour de l'évaluation est proche de la durée de génération du stock ou lorsqu'une variable E change très rapidement en raison des non-linéarités et des effets de seuil des répercussions climatiques. Les composantes stratégiques des avis en matière d'évaluation des stocks, comme certains types de points de référence ou de stratégies de gestion à long terme, sont toutefois plus susceptibles de nécessiter un conditionnement par les changements climatiques, afin de tenir compte des incertitudes supplémentaires qu'un changement climatique introduit en matière d'évaluation et de gestion.

Les avis scientifiques concernant la gestion des ressources biologiques au Ministère sont fondés sur le risque, que ce risque soit connu ou non et qu'il soit énoncé explicitement ou non. Ainsi, le conditionnement du risque associé aux décisions aux hypothèses de changements climatiques devient un moyen opérationnel de tenir compte des changements climatiques dans plusieurs secteurs. Les profils de risque des décisions relatives à l'évaluation des stocks de poissons dans le contexte des changements climatiques ont été examinés ici, mais cette méthode pourrait également s'appliquer à différents secteurs et à tout facteur susceptible de modifier le champ des risques (p. ex. les changements écosystémiques). Dans les cas où les données abondent, par exemple l'évaluation des stocks à l'aide d'un modèle fondé sur les processus, l'élaboration de profils de risque est traçable, même si cela n'est généralement pas simple. En disposant d'hypothèses plausibles sur les répercussions des changements climatiques sur la production et/ou la dynamique d'un stock, il devient relativement simple de conditionner les profils de risque (et les avis) aux changements climatiques. Il n'existe pas de modèles mécanistes permettant d'élaborer entièrement les profils de risque pour la plupart des

---

stocks de poissons et des autres ressources biologiques gérées par le MPO. Dans les situations où les connaissances sur les processus ou les données sont limitées, il est possible d'élaborer des facteurs semi-quantitatifs ou catégoriques de conditionnement par les changements climatiques pour formuler des avis conditionnés par les changements climatiques jusqu'à ce qu'on dispose de plus de données et de connaissances sur les processus. Cette approche est un moyen d'ajuster l'avis « standard », qui devrait tenir compte des changements de productivité et du risque d'atteindre les objectifs en raison d'autres facteurs comme la qualité des données ou les changements climatiques.

L'élaboration de facteurs de conditionnement par les changements climatiques devrait faire l'objet de recherches plus ciblées au cours des prochaines années. La charge de travail serait réduite si ces facteurs de conditionnement pouvaient être disponibles pour des catégories de stocks et étaient associés au degré hypothétique d'évolution des variables environnementales due aux changements climatiques. Ces deux voies devraient être examinées.

Un examen plus poussé des variables environnementales appropriées relatives à un stock correspondant à la nature des avis requis contribuera à améliorer les avis tenant compte du climat. Des évaluations de vulnérabilité climatique ont déjà été élaborées pour de nombreuses espèces et de nombreux stocks gérés par le Ministère, et ce travail constitue un réservoir de connaissances sur lequel on peut s'appuyer pour améliorer le conditionnement des avis par les changements climatiques. Les travaux futurs d'élaboration d'avis conditionnés par le climat au sein du Ministère devraient tenir compte des travaux déjà réalisés en matière d'intégration de variables externes aux évaluations des stocks (Pepin *et al.* 2018), aux évaluations de la vulnérabilité des espèces et aux facteurs de conditionnement par les changements climatiques.

## 8. PROCHAINES ÉTAPES

Le présent document jette les bases d'une stratégie fondée sur le risque visant à intégrer la variation environnementale et les changements climatiques à la formulation des avis scientifiques relatifs à la gestion des ressources biologiques au sein du Ministère. L'opérationnalisation de cette stratégie dans un certain nombre d'exemples d'études de cas constituera une prochaine étape évidente et importante. Nous considérons les travaux suivants comme prioritaires afin de tester, valider et rendre pleinement opérationnelle la stratégie :

1. Évaluation de la sensibilité des stratégies de gestion des pêches déjà en place et comparaison aux autres spécifications  $E/E_{base}$ .
2. Démonstration et mise en œuvre de la stratégie dans des exemples aux données limitées, y compris la définition des facteurs de conditionnement par les changements climatiques en fonction des données sur le cycle biologique, d'information empirique tirée d'études expérimentales ou de connaissances spécialisées.
3. Évaluation du rendement des facteurs de conditionnement par les changements climatiques à l'aide de l'information provenant de systèmes riches en données pour lesquels on dispose d'une compréhension au moins partielle de la réaction de la dynamique des ressources au rapport  $E/E_{base}$ .
4. Collaboration avec les clients des avis (tant ministériels qu'externes) afin de définir un ensemble de règles relatives aux ACCC, y compris concernant les composantes des avis et les recommandations associées aux différents facteurs de conditionnement par les changements climatiques et leur fréquence d'occurrence.
5. Essais de simulation des facteurs de conditionnement par les changements climatiques et de leurs conséquences sur les ACCC et les pêches.

---

## 9. RÉFÉRENCES CITÉES

- A'mar, Z.T., Punt, A.E. and Dorn, M.W. 2009. The impact of regime shifts on the performance of management strategies for the Gulf of Alaska Walleye Pollock (*Theragra chalcogramma*) fishery. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 66, 2222–2242.
- Auger-Méthé, M., Field, C., Albertsen, C.M., Derocher, A.E., Lewis, M.A., Jonsen, I.D. and Flemming, J.M. 2016. State-space models' dirty little secrets: even simple linear Gaussian models can have estimation problems. *Nature Scientific Reports*, 6: 26677.
- Bojinski, S., Verstraete, M., Petersen, T.C., Richter, C., Simmons, A. and Zemp, M. 2014. The concept of essential climate variables in support of climate research, applications and policy. *Bulletin of the American Meteorological Society* 95: 1431-1443.
- Brunel, T., Piet, G.J., van Hal, R. and Rockmann, C. 2010. Performance of harvest control rules in a variable environment. *ICES Journal of Marine Science* 67, 1051–1062.
- Busch, D.S., Griffis, R., Link, J., Abrams, K., Baker, J., Brainard, R.E., Ford, M., Hare, J.A., Himes-Cornell, A., Hollowed, A., Mantua, N.J., McClatchie, S., McClure, M., Nelson, M.W., Osgood, K., Peterson, J.O., Rust, M., Saba, V., Sigler, M.F., Sykora-Bodie, S., Toole, C., Thunberg, E., Waples, R.S. and Merrick, R. 2016. Climate science strategy of the US National Marine Fisheries Service. *Marine Policy* 74, 58-67.
- De Oliveira, J.A.A. and Butterworth, D.S. 2005. Limits to the use of environmental indices to reduce risk and/ or increase yield in the South African anchovy fishery. *African Journal of Marine Science* 27, 191–203.
- Deyle, E.R., Fogarty, M., Hsieh, C. Kaufman, L., MacCall, A.D., Munch, S.B., Perretti, C.T, Ye,H. and G. Sugihara. 2013. Predicting climate effects on Pacific sardine. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110(16): 6430–6435.
- DFO. 2012. Proceedings of the National Workshop for Technical Expertise in Stock Assessment (TESA): Maximum Sustainable Yield (MSY) Reference Points and the Precautionary Approach when Productivity Varies; December 13-15, 2011. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Proceed. Ser. 2012/055.
- FAO. 1996. Precautionary approach to fisheries. Part 2: scientific papers. Prepared for the Technical Consultation on the Precautionary Approach to Capture Fisheries (Including Species Introductions). Lysekil, Sweden, 6–13 June 1995. (A scientific meeting organized by the Government of Sweden in cooperation with FAO). FAO Fisheries Technical Paper. No. 350, Part 2. Rome, FAO. 1996. 210p.
- FAO. 2016. Report of the Expert Meeting on Improving Progress Reporting and Working Towards Implementation of Aichi Biodiversity Target 6. FAO (Rome), SCBD (Montreal), IUCN-CEM-FEG (Brussels): 42 p.
- Freon, P., Cury, P., Shannon, L. and Roy, C. 2005. Sustainable exploitation of small pelagic fish stocks challenged by environmental and ecosystem changes: a review. *Bulletin of Marine Science* 76, 385–462.
- Fulton, E., Punt, A., Dichmont, C., Gorton, R., Sporcic, M., Dowling, N., Little, L., Haddon, M., Klaer, N., C. Smith, D. 2016. Developing risk equivalent data-rich and data-limited harvest strategies. *Fisheries Research* 183, doi.org/10.1016/j.fishres.2016.07.004
- Fulton, E.A., Punt, A.E., Dichmont, C.M., Gorton, R., Sporcic, M., Dowling, N., Little, L.R., Haddon, M., Klaer, N. and Smith, D.C. 2016. Developing risk equivalent data-rich and data-limited harvest strategies. *Fisheries Research*. 183: 574-587.

- 
- Garcia, S.M. and Rice, J. 2018. Aichi biodiversity target 6: scientific assessment of progress towards target 6. IUCN-CEM-FEG. 57 pp.
- Gjøsæter, H., Bogstad, B., Tjelmeland, S. and Subbey, S. 2014. A retrospective evaluation of the Barents Sea capelin management advice. *Marine Biology Research* 11, 135–143.
- Henson, S.A., Beaulieu, C., Ilyina, T., John, J.G., Long, M., Séférian, R., Tjiputra, J. and Sarmiento, J.L. 2017. Rapid emergence of climate change in environmental drivers of marine ecosystems. *Nature Communications* doi.org/10.1038/ncomms14682
- Hilborn, R. 2012. The evolution of quantitative marine fisheries management 1985-2010. *Natural Resource Modeling* 25, 122-144 [doi.org/10.1111/j.1939-7445.2011.00100.x](https://doi.org/10.1111/j.1939-7445.2011.00100.x)
- Hollowed, A.B., Barange, M., Beamish, R.J., Brander, K., Cochrane, K., Drinkwater, K., Foreman, M.G.G., Hare, J.A., Holt, J., Ito, S.-I., Kim, S., King, J.R., Loeng, H., MacKenzie, B.R., Mueter, F.J., Okey, T.A., Peck, M.A., Radchenko, V.I., Rice, J.C., Schirripa, M.J., Yatsu, A. and Yamanaka, Y. 2013. Projected impacts of climate change on marine fish and fisheries. *ICES Journal of Marine Science* 70, 1023-1037 doi.org/10.1093/icesjms/fst081.
- ICES. 2017. Report of the ICES/PICES Workshop on Regional climate change vulnerability assessment for the large marine ecosystems of the northern hemisphere (WKSICCME-CVA), 19-22 July 2017, ICES Headquarters, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2017/SSGEPD:23. 67pp.
- Landres, PB, Morgan, P, Swanson FJ. 1999. Overview of the use of natural variability concepts in managing ecological systems. *Ecological Applications* 9:1179-1188.
- MPO. 2006. Stratégie de pêche en conformité avec l'approche de précaution. Secr. Can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2006/023.
- MPO. 2013a. Évaluation fondée sur les risques des impacts et des menaces que les changements climatiques présentent pour les infrastructures et les systèmes biologiques qui relèvent du mandat de Pêches et Océans Canada – Grand Bassin Aquatique du Pacifique. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2013/016.
- MPO. 2013b. Évaluation fondée sur les risques des impacts et des menaces que les changements climatiques présentent pour l'infrastructure et les systèmes biologiques qui relèvent du mandat de Pêches et Océans Canada – grand bassin aquatique de l'Arctique. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Rép. des Sci. 2012/042.
- MPO. 2013c. Évaluation fondée sur les risques des impacts et des menaces que les changements climatiques présentent pour l'infrastructure et les systèmes biologiques qui relèvent du mandat de Pêches et Océans Canada – Grand bassin aquatique de l'Atlantique. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Rép. des Sci. 2012/044.
- MPO. 2013d. Évaluation fondée sur les risques des impacts et des menaces que les changements climatiques présentent pour l'infrastructure et les systèmes biologiques qui relèvent du mandat de Pêches et Océans Canada – Grand bassin aquatique d'eau douce. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2013/011.
- Nadeau, C.P. and Fuller, A.K. 2015. Accounting for multiple climate components when estimating climate change exposure and velocity. *Methods in Ecology and Evolution* 6, 697–705.
- Pepin, P., King, J. Holt, C., Gurney-Smith, H., Shackell, N., Hedges, K., Bundy, A. 2020. Intégration des considérations relatives aux changements climatiques, océanographiques et écologiques dans les évaluations des populations: examen du processus de consultation scientifique de Pêches et Océans Canada. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2019/043. In press.
-

- 
- Pörtner, H.-O., Karl, D.M., Boyd P.W., Cheung W.W.L., Lluich-Cota S.E., Nojiri Y., Schmidt D.N. and Zavalov, P.O. 2014: Ocean systems. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 411-484.
- Punt, A.E., A'mar, T., Bond, N.A., Butterworth, D.S., de Moor, C.L., De Oliveira, J.A.A., Haltuch, M.A., Hollowed, A.B. and Szuwalski, C. 2013. Fisheries management under climate and environmental uncertainty: control rules and performance simulation. *ICES Journal of Marine Science* 71, 2208–2220 [doi.org/10.1093/icesjms/fst057](https://doi.org/10.1093/icesjms/fst057).
- Punt, A.E., Siddeek, M. S. M., Garber-Yonts, B., Dalton, M., Rugolo, L., Stram, D., Turnock, B.J. and Zheng, J. 2012. Evaluating the impact of buffers to account for scientific uncertainty when setting TACs: application to red king crab in Bristol Bay, Alaska. *ICES Journal of Marine Science* 69, 624- 634, [doi.org/10.1093/icesjms/fss047](https://doi.org/10.1093/icesjms/fss047).
- Scholander, P.F., Hock, R., Walters, V., Johnson, F. & Irving, L. 1950. Heat regulation in some arctic and tropical mammals and birds. *Biological Bulletin* 99, 237–258.
- Sugihara, G., May, R., Ye, H., Hsieh, C.H., Deyle, E., Fogarty, M. and Munch, S. 2012. Detecting causality in complex ecosystems. *Science*, 1227079.
- Tommasi, D., Stock, C.A., Hobday, A.J., Methot, R., Kaplan, I.C., Eveson, J.P., Holsman, K., Miller, T.J., Gaichas, S., Gehlen, M., Pershing, A., Veclimate changehi, G.A., Msadek, R., Delworth, T., Eakin, C.M., Haltuch, M.A., Séférian, R., Spillman, C.M., Hartog, J.R., Siedlecki, S., Samhuri, J.F., Muhling, B., Asch, R.G., Pinsky, M.L., Saba, V.S., Kapnick, S.B., Gaitan, C.F., Rykaczewski, R.R., Alexander, M.A., Xue, Y., Pegion, K.V., Lynch, P., Payne, M.R., Kristiansen, T., Lehodey, P., Werner, F.E. 2017. Managing living marine resources in a dynamic environment: The role of seasonal to decadal climate forecasts. *Progress in Oceanography* 152, 15-49.

[World Meteorological Organization. \(2018, April 18\) Essential Climate Variables.](#)

---

## ANNEXES

### **ANNEXE A : UNE STRATÉGIE FONDÉE SUR LE RISQUE VISANT À INTÉGRER LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES AUX ÉVALUATIONS DES STOCKS : EXEMPLE DANS LEQUEL LES DONNÉES ET LES CONNAISSANCES SUR LES PROCESSUS ABONDENT**

Voici un exemple d'évaluation d'un stock pour lequel un modèle analytique a été ajusté au stock. Cet ajustement du modèle fournit des estimations des paramètres de productivité des stocks et de leurs écarts. Les points de référence peuvent être calculés à partir de l'ajustement du modèle. Le modèle peut être projeté vers l'avenir et la probabilité que la biomasse du stock soit égale ou supérieure à un point de référence pour un taux de pêche donné peut être déterminée.

Le conditionnement climatique se fait en comparant les risques associés à la non-réalisation d'un objectif durant une certaine période dans des conditions de référence avec le même risque dans des conditions de changements climatiques. La partie clé de cet exemple est que la connaissance des processus de la variable climatique sur le processus de productivité du poisson est connue ou supposée. L'avis d'équivalence risque conditionné par le climat représente alors la mesure dans laquelle la pêche doit être modifiée (à la hausse ou à la baisse) pour atteindre l'objectif de gestion au cours de la même période et avec le même niveau de risque.

#### **Le modèle de population**

Un modèle bayésien de production excédentaire a été adapté à un stock de poisson de fond adapté à l'eau froide et dont la productivité est relativement faible. Les particularités de l'ajustement du modèle n'ont pas d'importance pour les besoins actuels, simplement parce que nous avons appliqué une méthode qui correspond à des données fondées sur des conditions passées (état de référence), puis estime la probabilité d'atteindre un objectif d'état du stock à l'avenir en fonction de ce conditionnement de référence. Le stock de poissons de fond choisi se trouve à l'extrémité sud de son aire de répartition et, par conséquent, on sait que l'augmentation des températures causée par les changements climatiques devrait avoir une incidence négative sur la production du stock. Les intrants relatifs à ce stock et cette température remontent à 1990 et cette série de données peut être utilisée pour déterminer non seulement la production de référence, mais aussi les points de référence et les effets du climat sur la production.

Le conditionnement climatique de l'avis est le conditionnement au risque de ne pas atteindre un objectif dans le cadre d'un régime de productivité influencé par les changements climatiques et la façon de gérer l'activité de pêche afin de maintenir la probabilité de mettre en œuvre l'avis.

#### **Dépendance de la productivité envers l'environnement**

Idéalement, il existe une connaissance des processus ou au moins une base statistique pour établir un lien entre la productivité des stocks (P) et l'environnement (E). Cet élément pourrait être intégré à la projection du modèle de plusieurs façons. Il peut s'agir d'un simple changement de P en fonction de E dès le début d'une projection. E peut changer graduellement au cours d'une période et cette dépendance temporelle serait incluse. E pourrait également avoir un effet différemment sur les sous-paramètres de P. Par exemple, E peut influencer la croissance différemment du recrutement ou de la mortalité naturelle. Nous supposons que les évaluateurs des stocks possèdent les meilleures connaissances pour savoir comment modéliser les répercussions de E sur P : le fait étant simplement qu'il existe une relation entre E et P qui peut être précisée.

---

Dans le présent exemple, nous avons supposé que le taux de croissance intrinsèque est une fonction de la température ambiante moyenne de l'eau. Cela peut s'exprimer essentiellement comme une anomalie par rapport aux conditions passées prenant la forme d'un simple rapport entre la température historique moyenne et la période des données utilisées pour ajuster le modèle. Le paramétrage d'un modèle de production est pratique, car il englobe de nombreux processus de productivité. Toutefois, il convient de noter que ce paramétrage peut aussi être une faiblesse, selon la façon dont E touche différentes composantes de E.

## Équivalence risque

L'équivalence risque consiste à maintenir le même niveau de risque dans le cas d'une décision de gestion consistant à ne pas atteindre un objectif, quelle que soit la méthode (Fulton 2016). Toutefois, l'équivalence risque peut également s'appliquer au maintien des niveaux de risque des décisions de gestion lorsque la productivité d'un stock change. Par exemple, si un stock devient plus productif qu'auparavant, il pourrait soutenir un niveau de prises plus élevé tout en maintenant le même niveau de risque de ne pas atteindre un objectif (BSR inférieure à  $B_{cible}$  ou  $B_{pa}$ ). Nous utilisons l'équivalence risque de cette manière en ce qui concerne les répercussions des changements climatiques sur la productivité des stocks.

Il s'agit d'une utilisation légèrement différente du terme, car nous nous préoccupons d'ajuster les mesures de gestion en fonction des changements de régime de productivité plutôt que d'essayer d'aligner les mesures de gestion pour prendre des mesures semblables en fonction des différents niveaux de lacunes de données. Il serait concevable d'envisager ces différents axes d'équivalence risque.

## Axes d'équivalence risque

En Australie, l'équivalence risque consiste principalement à appliquer de manière cohérente le risque de ne pas atteindre les objectifs lorsque les méthodes de calcul du risque diffèrent en raison des méthodes d'évaluation appliquées. Un autre axe d'équivalence risque est l'application cohérente du risque lorsque de nouveaux facteurs ont une influence sur la productivité des stocks. Dans ce dernier cas, l'équivalence risque ne vise pas à créer une équivalence au cours de la même période historique, mais une équivalence entre la période passée et une période future où un facteur comme les changements climatiques aura une incidence sur la productivité future d'un stock.

La figure A1.1 présente un scénario de référence pour un stock et quatre autres scénarios liés à des changements de température à long terme. Puisque  $B_{rms}$  est une cible, mais que les évaluations sont incertaines et qu'un stock bien géré varie encore autour de sa cible en raison de la variation aléatoire de nombreux facteurs biologiques, il y a un risque implicite de 50 % d'être au-dessus ou au-dessous de ce point dans un scénario de bonne gestion. La courbe logistique  $F_s$  avec une probabilité de 0,5 est donc représentée par des lignes verticales pour chaque scénario. La stratégie de pêche à équivalence risque tenant compte des moyennes de température à long terme peut être considérée comme la différence entre la courbe de changements climatiques et la courbe de référence  $F$  avec une probabilité de 0,5. Ainsi, pour le scénario le plus chaud,  $F_{50}$  est de 0,034, alors que pour le scénario de départ, cette valeur est d'environ 0,157. Cela signifie que dans le cas du scénario aux températures les plus chaudes, la mortalité par pêche appliquée au stock est cinq fois inférieure à la valeur de départ pour la même probabilité d'atteindre  $B_{rms}$  au bout de 10 ans. Ainsi, l'application cohérente du risque dans ce scénario de changement de température ne permettrait qu'une pêche limitée.

Il convient également de noter que les courbes de la figure A1.1 représentent la distribution de probabilité cumulative complète (inverse) de l'atteinte de l'objectif (probabilité élevée de réussite

---

pour  $F = 0$ , décroissante à mesure que  $F$  augmente). Cela permet d'utiliser cette méthode dans les cas où, même en cas d'absence de pêche, le stock peut tout de même ne pas atteindre un état conforme à l'objectif (peut-être que  $B \geq B_{rms}$ , lorsque le stock a fait l'objet d'une surpêche par le passé et n'est pas complètement rétabli), en utilisant simplement une valeur  $Y$  inférieure à 1,0 à l'intersection avec  $X$  (peut-être 0,65, ce qui traduit une probabilité de 65 % que  $B = B_{rms}$  sans pêche) et lorsque les courbes penchent toujours systématiquement alors que  $F$  devrait hypothétiquement augmenter. De même, si l'on sait que certaines des relations entrant dans l'estimation du profil de risque sont asymétriques ou plati-kurtiques, les deux ramifications de la fonction de densité de probabilité autour de sa caractéristique centrale n'ont pas à être symétriques. La courbure des ramifications peut différer de quelque façon que ce soit selon les données disponibles, et cette connaissance peut être transférée directement dans les estimations des risques.

La simple connaissance des processus de  $E$  sur  $P$  intégrée à cet exemple riche en données (éq. 1) permet une application claire des avis à équivalence risque conditionnés par le climat. Dans la plupart des cas, cependant, la courbe de risque de référence ne peut pas être représentée aussi clairement et il n'y aura pas de connaissance aussi parfaite du processus d' $E$  sur  $P$ ; néanmoins, conceptuellement, les mêmes idées sous-tendraient toute application. C'est-à-dire qu'il y a une valeur  $P$  de référence, un objectif pour le stock et une activité qui peut être contrôlée (OEAP). La probabilité d'atteindre un objectif est fonction de  $P$  et de l'OEAP. Les changements climatiques touchent alors  $P$  et, pour maintenir la même probabilité d'atteindre l'objectif, le niveau de l'OEAP doit changer. Notamment dans le cas de données de plus en plus imparfaites ou incomplètes, une certaine manière systématique d'utiliser les données disponibles est essentielle si l'on veut avoir la moindre chance d'élaborer des avis fondés sur le risque de manière cohérente et transparente. Nous devons donc élaborer des règles générales pour 1) déterminer la probabilité de référence d'atteindre l'objectif d'une OEAP et 2) déterminer comment modifier la probabilité en fonction des répercussions des changements climatiques sur  $P$ .

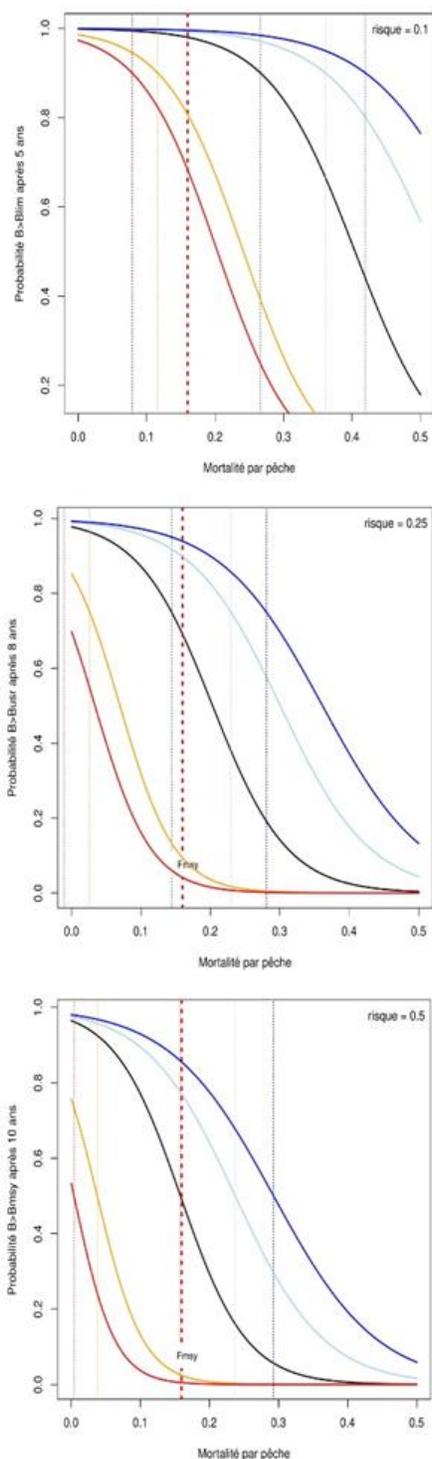


Fig. A1.1 : Probabilité qu'un stock atteigne un point de référence lorsque le  $\tau_{10}$  de croissance du stock est influencé par une variable climatique externe (température). La courbe  $0,1$  représente la température la plus chaude, la courbe bleue la plus froide et la courbe noire la température de référence. La valeur  $F_{rms}$  du scénario de référence est représentée sur le graphique par la ligne verticale épaisse discontinue.  $F_{rms}$  est une référence courante de mortalité par pêche qui ne devrait pas être dépassée. Les valeurs d'équivalence risque  $F$  en fonction de différents régimes de températures sont indiquées par les lignes verticales colorées correspondantes.

Le tableau A1.1 présente les avis d'équivalence risque permettant à la pêche afin d'atteindre un objectif. Par exemple, l'avis de référence (température de 5,2 °C) sur la mortalité par pêche pour que la biomasse dépasse le point de référence supérieur du stock ( $B > B_{prs}$ ) au bout de 8 ans. Cela correspondra à une prise spécifique chaque année au cours de la période de projection. Toutefois, si la température de fond se réchauffe et atteint 5,33 °C pendant toute la période de projection de huit ans, si l'avis relatif à la mortalité par pêche conserve le même objectif et le même délai pour l'atteindre, on constaterait une baisse de plus de six fois par rapport au point de référence, soit 0,023.

*Tableau A1.1 : Niveaux d'équivalence risque F pour l'atteinte de certains objectifs courants en matière de pêche dans des conditions climatiques différentes caractérisées par la température de fond. C'est le résultat d'une projection à partir du modèle bayésien conjoint a posteriori de production de biomasse adapté aux poissons de fond recherchant l'eau froide et de la déduction d'une relation de cause à effet entre la température et le taux de croissance intrinsèque en tant que multiplicateur de celui-ci.*

Température	Objectif	Délai pour atteindre l'objectif (années)	Risque acceptable de ne pas atteindre l'objectif	F
Situation de référence (5,20 °C)	$B > B_{lim}$	5	0.1	0.267
Froide (5,0 °C)	$B > B_{lim}$	5	0.1	0.357
Très froide (4,55 °C)	$B > B_{lim}$	5	0.1	0.413
Chaude (5,33 °C)	$B > B_{lim}$	5	0.1	0.121
Très chaude (5,66 °C)	$B > B_{lim}$	5	0.1	0.077
Situation de référence (5,20 °C)	$B > B_{prs}$	8	0.25	0.148
Froide (5,0 °C)	$B > B_{prs}$	8	0.25	0.227
Très froide (4,55 °C)	$B > B_{prs}$	8	0.25	0.285
Chaude (5,33 °C)	$B > B_{prs}$	8	0.25	0.023
Très chaude (5,66 °C)	$B > B_{prs}$	8	0.25	0.000
Situation de référence (5,20 °C)	$B > B_{rms}$	10	0.5	0.157
Froide (5,0 °C)	$B > B_{rms}$	10	0.5	0.236
Très froide (4,55 °C)	$B > B_{rms}$	10	0.5	0.293

---

<b>Température</b>	<b>Objectif</b>	<b>Délai pour atteindre l'objectif (années)</b>	<b>Risque acceptable de ne pas atteindre l'objectif</b>	<b>F</b>
Chaude (5,33 °C)	$B > B_{rms}$	10	0.5	0.034
Très chaude (5,66 °C)	$B > B_{rms}$	10	0.5	0.004

Cet exemple riche en données montre comment des options de prises (ou de mortalité par pêche) tenant compte du climat peuvent être fournies aux gestionnaires. Plusieurs scénarios plausibles pourraient être élaborés pour refléter ce conditionnement climatique. Le scénario simple choisi ici comme changement brusque de régime de productivité n'est peut-être pas le plus plausible.

---

## ANNEXE B : UNE STRATÉGIE FONDÉE SUR LE RISQUE POUR INTÉGRER LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES À L'ÉVALUATION D'UN STOCK : EXEMPLE DE DONNÉES ET DE CONNAISSANCES SUR LES PROCESSUS MODÉRÉS

L'exemple qui suit porte sur un stock de poissons de fond adapté à l'eau froide pour lequel peu de données sont disponibles évoluant dans un environnement qui se réchauffe. On suppose qu'il existe un indice d'abondance relative, une série chronologique annuelle des prises et des mesures annuelles d'une variable environnementale qui a une incidence sur la productivité des stocks et qui refléterait également les changements climatiques. Il n'existe pas de modèle analytique adapté à ce stock; toutefois, un modèle est obtenu en séparant de la pêche les composantes naturelles de la production, puis en supposant une relation de cause à effet entre ces composantes naturelles de la productivité et une variable environnementale. Les données utilisées dans le cadre de cette méthode sont largement disponibles pour un grand nombre d'espèces gérées par le MPO.

### Dérivation d'une relation de production dépendante du climat

Le moyen le plus simple de déterminer la productivité d'un stock est la valeur de départ :

$${}^gP_t = R_t + G_t + ND_t + C_t \quad \text{équation 1}$$

Où la production brute au cours de l'année t ( ${}^gP_t$ ) est égale au recrutement de la biomasse pendant l'année t ( $R_t$ ), ajouté à la croissance moyenne de la biomasse de tous les individus au cours de t ( $G_t$ ), ajouté à la perte de biomasse due à la mort naturelle (hors pêche) ( $ND_t$ ), ajouté à la biomasse des prises pendant la période ( $C_t$ ). Il s'agit de la forme la plus simple de comptabilisation de la biomasse au fil du temps pour les pêches.

La production nette ( ${}^nP_t$ ) est la somme totale des gains ( $R_t$  et  $G_t$ ) moins les pertes ( $ND_t$  et  $C_t$ ) et peut être estimée à partir des données comme la biomasse ( $B_t$ ) au début d'une période moins la biomasse au début de la période précédente :

$${}^nP_t = R_t + G_t + ND_t - C_t = B_{t+1} - B_t = \Delta B \quad \text{équation 2}$$

Nous pouvons modifier davantage cette équation de manière à séparer les processus naturels touchant la production de ceux induits par l'homme (la pêche) :

$${}^nP_t = \Delta B + C_t = R_t + G_t + ND_t \quad \text{équation 3}$$

Pour montrer que  $\Delta B$  comme mesure de la production nette ajoutée aux prises est égale à la somme totale des autres composantes de la productivité naturelle. Nous appelons cette nouvelle quantité production naturelle nette ( ${}^nNP_t$ ) et nous avons des estimations de toutes les variables du côté gauche de l'équation s'il existe une série chronologique de l'indice de la biomasse et une déclaration des prises.

Les composantes de la productivité naturelle que sont le recrutement, la croissance et la mortalité naturelle sont considérées comme étant fonction de deux facteurs : la biomasse du stock à un moment t et les variables environnementales ou écosystémiques externes :

$${}^nP_t = f(B_t, E_t) \quad \text{équation 4}$$

Où  $E_t$  est considérée comme une variable de forçage environnemental sur la production. Comme nous disposons d'une estimation annuelle de  $B_t$  dans cette situation, nous pouvons normaliser la production par cette biomasse pour obtenir un taux donné de production naturelle nette qui est alors purement fonction d'une variable environnementale.

$$\frac{{}^nP_t}{B_t} = f(E_t) \quad \text{équation 5}$$

---

Dans le texte qui suit, on se réfère à <sup>N</sup>P/B en utilisant simplement P/B. Dans le présent exemple, il s'agit d'une relation linéaire, mais il pourrait s'agir de toute autre relation non linéaire. Une équation du deuxième degré peut être une relation utile, car elle traduit un optimum écologique de processus de production.

Cette relation ajustée est ensuite utilisée pour prédire comment la production du stock changera avec la variable environnementale en faisant une projection à partir de la dernière année de données et en fournissant une prévision des prises et du climat. Il s'agit d'une hypothèse de stabilité qui établit un lien entre tous les processus de productivité et le forcer environnemental au cours d'une année; il est donc peu probable qu'elle soit utile comme variable explicative de la biomasse dans le cadre des avis à court terme, mais il est utile de montrer la directionnalité du processus de production dans le contexte des changements climatiques et comment cela pourrait compenser les prises.

Données requises :

- une série chronologique de relevés de biomasse de la population recrutée et reproductrice;
- une série chronologique des débarquements totaux;
- une série chronologique des indices environnementaux;
- ces séries correspondent dans le temps certaines années.

Hypothèses :

- Le relevé est un échantillon représentatif de la population recrutée et reproductrice.
- La série des prises représente la mortalité totale par pêche du stock.
- La capturabilité du relevé est connue ou estimée en fonction des connaissances spécialisées (p. ex. 0,5).
- Il n'y a pas de dépendance à la densité dans le processus de productivité.

Autres intrants :

- Définition d'une période de référence, p. ex. d'un ensemble d'années au cours desquelles les prises ont été considérées comme adéquates et relativement stables et l'indice de relevé a également été relativement stable. Ce n'est pas strictement nécessaire pour faire une projection, mais cela sert à définir un point de référence, c'est-à-dire un objectif. Si l'on ne veut pas définir d'objectif, la gestion des stocks est par définition ponctuelle et il importe peu que des changements climatiques se produisent ou non, puisqu'il n'y a pas d'objectif de gestion.
- Une projection de la variable touchant la production qui reflète les changements climatiques.
- Un scénario de prises futures.

Extrants :

Cette relation peut être projetée à l'infini. Ce qu'il convient de faire dans ce contexte, c'est de déterminer combien de temps il faudrait pour atteindre un objectif donné, compte tenu des niveaux de prises et du niveau de dégradation de l'environnement. Il s'agit d'une mesure déterministe qui suppose que la médiane est correcte; par conséquent, s'il a fallu cinq ans pour atteindre l'objectif en fonction du statu quo avec le signal environnemental, la probabilité d'atteindre cet objectif en cinq ans est en fait de 50 %. Ceci est approprié pour une cible, mais pas pour un point de référence limite, par exemple. Une meilleure procédure serait d'effectuer la projection avec incertitude. Les incertitudes qui entreraient en jeu seraient le signal

environnemental projeté, l'incertitude de la relation entre l'environnement et la production du stock et la capturabilité du relevé.

### Exemple illustré

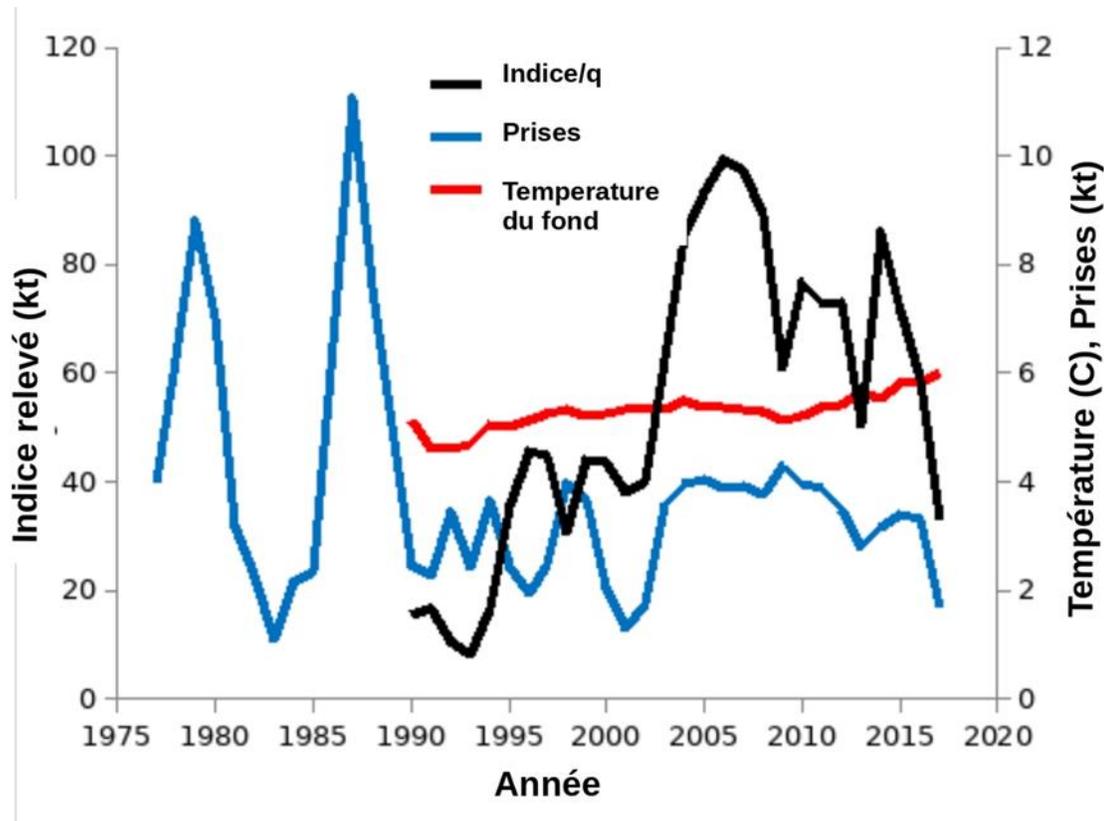


Figure A2.1 : Projection de la biomasse du stock (à partir de 2018) en fonction des prises de la période de référence et d'une réalisation de la température échantillonnée de manière aléatoire des cinq années de données les plus récentes (2013-2017). La ligne horizontale est l'indice de biomasse de la période de référence, qui est considérée comme une cible. La ligne verticale marque le début de la projection.

L'indice de prises du relevé (figure A2.1) est considéré comme un bon indice de biomasse relative pour ce stock. La biomasse est exprimée en kt de biomasse de la surface balayée et est considérée comme une estimation de la biomasse minimale chalutable. Pour faire le calcul de P/B, il faut inclure les prises et, par conséquent, l'estimation de la biomasse de l'étude devrait être ajoutée à l'estimation théorique absolue afin qu'elle ait la même échelle que les prises. Dans ce cas, on a supposé que  $q = 0,5$ , c'est-à-dire que le relevé sous-estime de 50 % la biomasse réelle du stock. Ce n'est pas strictement nécessaire, car P/B est une mesure relative de la production, mais si l'indice de relevé est d'une ampleur beaucoup plus réduite que les prises, les prises domineront dans le numérateur et l'objectif est de faire en sorte que ces facteurs d'échelle du numérateur et du dénominateur s'annulent mutuellement. Par conséquent, une valeur  $q$  qui place approximativement l'indice des prises et celui du relevé sur la même échelle devrait être envisagée.

Le signal de température semble relativement stable, mais c'est la température de l'eau au fond d'un canal profond qui ne varie pas beaucoup et de petits changements qui peuvent avoir effet sur la production. Plus l'eau du fond est chaude, plus la production de l'espèce est mauvaise. La température est une variable qui sous-tend d'autres aspects comme l'hypoxie, car une eau

de fond plus chaude est associée à une plus grande hypoxie. Des températures plus chaudes peuvent être positives pour d'autres espèces concurrentes, ce qui accroît l'incidence de la température, mais sur d'autres aspects de la production. De plus, une petite variation de la température de l'eau au fond indique souvent un changement plus important de la température de la surface de la mer, ce qui peut être beaucoup plus important pour d'autres composantes du système ayant une incidence sur ce stock.

Malgré la faible variation de la température de l'eau au fond, il existe une faible incidence de la température sur NP/B (fig. A2.2).

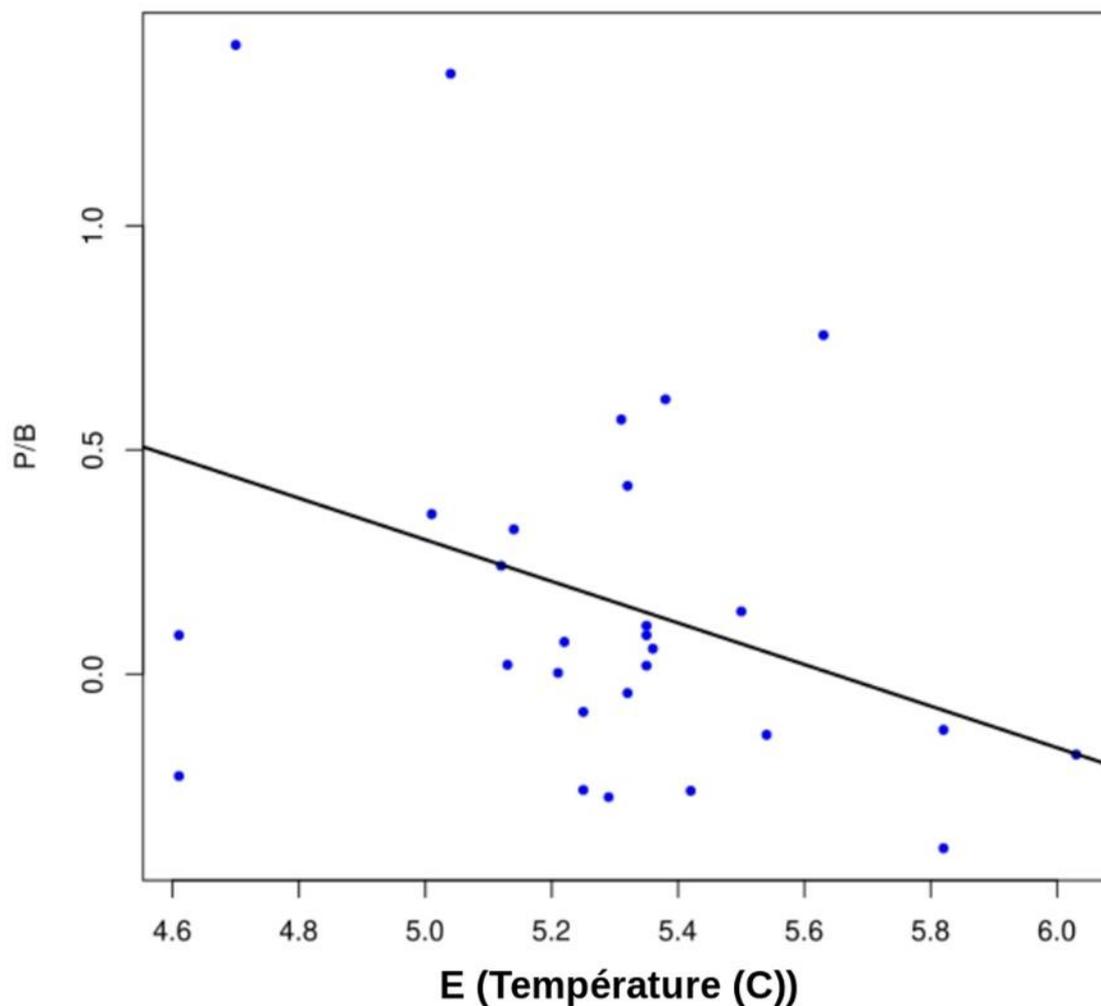


Figure A2.2 : Rapport entre NP/B et la température de l'eau au fond pour un stock de poissons de fond. Cela suppose une capturabilité de relevé de 0,5 et que tous les poissons tués aient été inclus dans les données sur les débarquements.

### La projection

La biomasse du stock a ensuite été projetée dans l'avenir en utilisant des prises estimatives pour la période de référence (2,545 kt/an) et en supposant que la température de fond soit revenue à celle de la période de référence (5,2 °C).

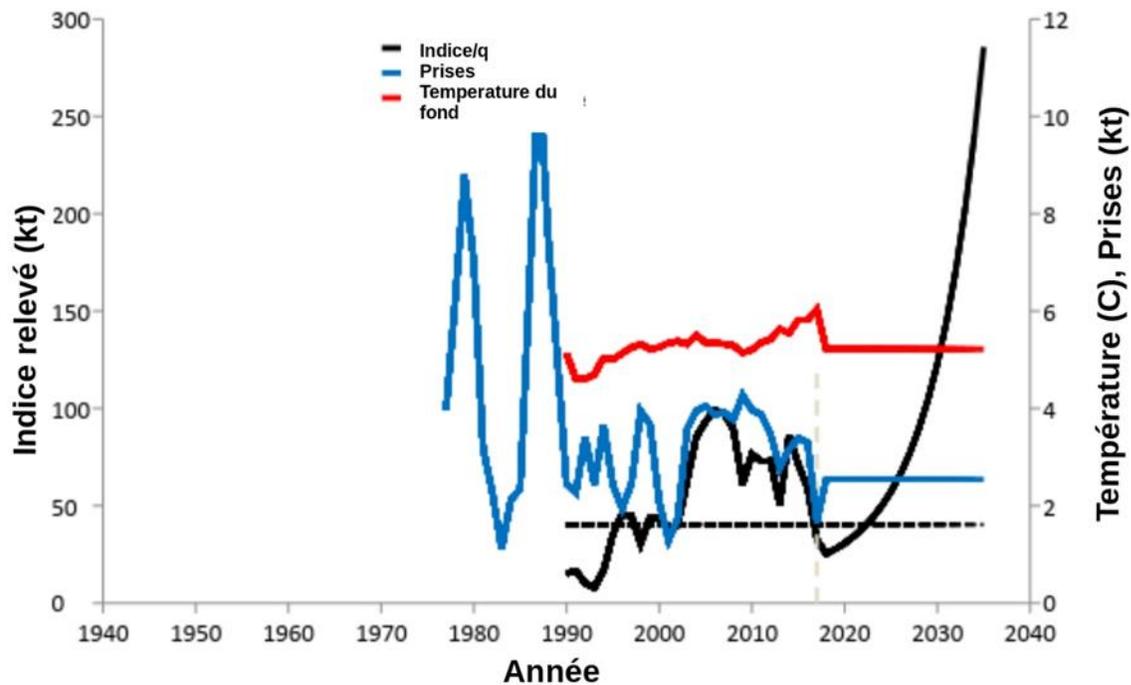


Figure A2.3 : Projection de la biomasse du stock (à partir de 2018) en fonction des prises de la période de référence et de la température de la période de référence. La ligne horizontale est l'indice de biomasse de la période de référence, qui est considérée comme une cible. La ligne verticale marque le début de la projection.

La biomasse projetée a dépassé l'objectif visé pour 2022 selon ces hypothèses de prises et de température. C'est le scénario idéal où les prises sont faibles et l'eau se refroidit à ce qui semblerait être un niveau optimal (fig. A2.3).

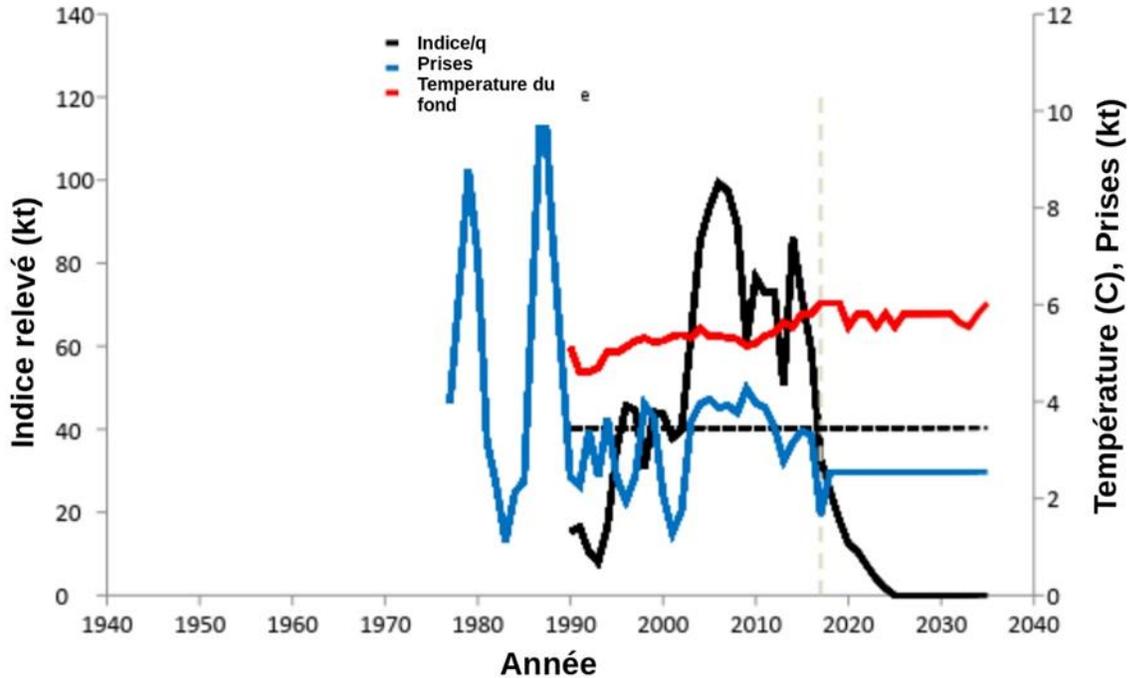


Figure A2.4 : Projection de la biomasse du stock (à partir de 2018) en fonction des prises de la période de référence et d'une réalisation de la température échantillonnée de manière aléatoire des cinq années de données les plus récentes (2013-2017). La ligne horizontale est l'indice de biomasse de la période de référence, qui est considérée comme une cible. La ligne verticale marque le début de la projection.

Une projection des prises pendant la période de référence et une seule réalisation de la température au cours des cinq dernières années (figure A2.4) montrent que le stock devrait disparaître d'ici 2025 environ d'après le niveau des prises de la période de référence si les données de température les plus récentes demeurent les mêmes pendant cette période.

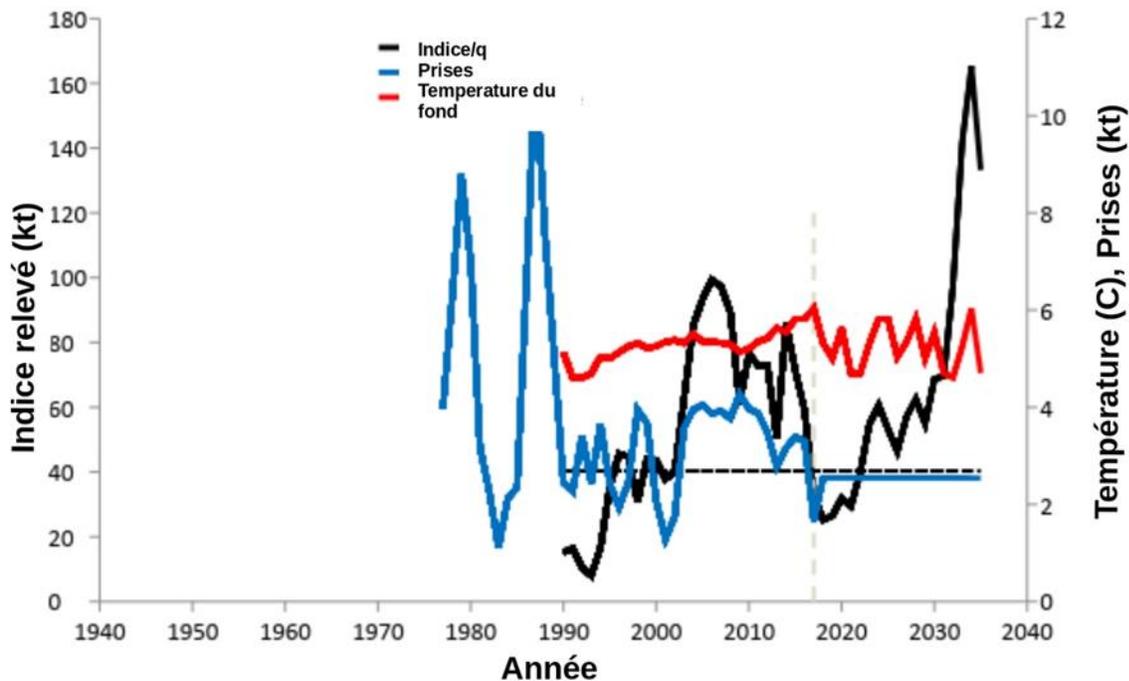


Figure A2.5 : Projection de la biomasse du stock (à partir de 2018) en fonction des prises de la période de référence et d'une réalisation de la température échantillonnée de manière aléatoire pour toutes les années de données (1990-2017). La ligne horizontale est l'indice de biomasse de la période de référence, qui est considérée comme une cible. La ligne verticale marque le début de la projection.

Un scénario dans lequel la température à venir a été rééchantillonnée de manière aléatoire à partir de toutes les températures observées précédemment (fig. A2.5) a montré que la biomasse augmenterait considérablement si les prises étaient du niveau de la période de référence.

Cette simple projection peut être faite pour n'importe quelle combinaison de prises et de température. Ces valeurs se compensent l'une l'autre, ce qui rend plus apparente l'équivalence risque aux changements climatiques des prises. Les courbes de Kobe de ces scénarios mettent en évidence les répercussions de la pêche dans différents scénarios climatiques lors de la définition de zones d'exploitation sûres pour la pêche (fig. A2.6).

### Avis conditionnés par les changements climatiques

Grâce à un objectif cible, au délai souhaité pour l'atteindre et à une projection de température dans l'avenir, on peut déterminer le taux de prises qui permettra de l'atteindre par cette méthode simple. Cependant, si l'objectif et le temps restent les mêmes, la seule chose qui peut être modifiée pour atteindre l'objectif compte tenu de la température prévue est la capture autorisée. Par conséquent, l'avis d'équivalence risque dans le cadre des changements climatiques est le TAC qui permettra d'atteindre l'objectif en même temps que le scénario de référence. Dans certains scénarios (les plus) réalistes de changements climatiques (p. ex. la température observée au cours des cinq dernières années) pour ce stock à l'aide de cette méthode, aucun TAC ne permettra d'atteindre les objectifs, pas même un moratoire. Dans un tel cas de figure, l'avis pourrait conseiller de réduire le TAC aussi bas que possible et de continuer à surveiller à la fois la biomasse du stock et la température. Si la température continue d'augmenter et que la biomasse du stock diminue pendant un nombre répété

d'années, il serait sage d'envisager 1) de modifier le niveau de référence (c.-à-d. de modifier les points de référence) et 2) de se préparer à une disparition commerciale efficace du stock.

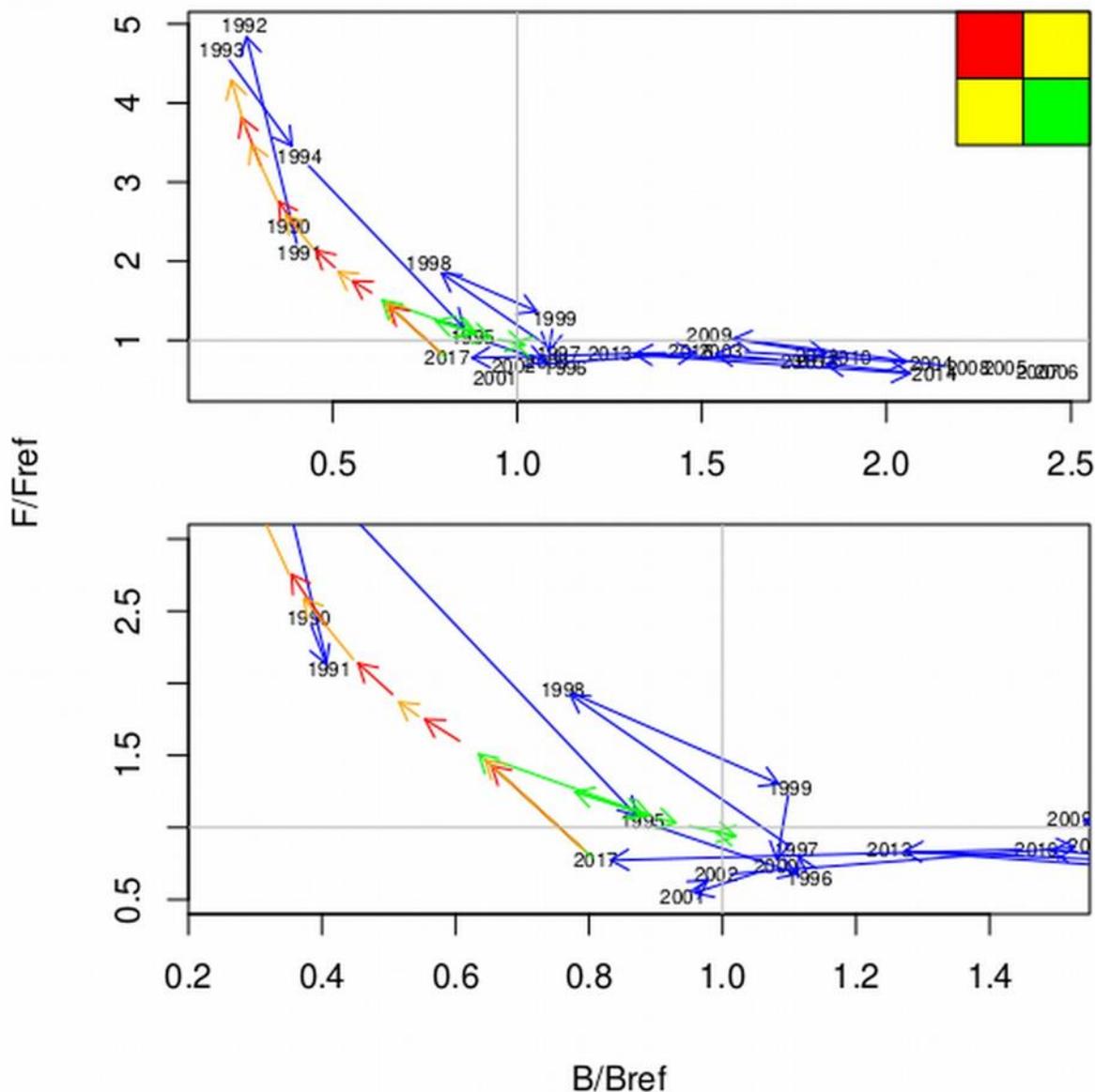


Figure A2.6 : Courbe de Kobe avec une variable thermique colorée reflétant la température et présentant la série chronologique de la mortalité par pêche relative divisée par la mortalité par pêche de la période de référence et la biomasse relative divisée par la biomasse de la période de référence. Les quatre zones représentent des zones à risque où la couleur verte est considérée comme la zone la plus sûre tandis que la couleur rouge représente la zone la moins sûre. Les flèches rouges (température de l'eau en hausse), orange (température de l'eau au cours de l'année récente) et vertes (eau froide) représentent trois réalisations des projections des stocks en fonction de scénarios de changements climatiques.

## Résumé

Ces données modérées permettent de formuler des hypothèses concernant la variabilité du processus de production d'un stock, mais l'incidence de certaines de ces hypothèses peut être atténuée en incluant l'incertitude à venir. Il est relativement facile de coder R. Même s'il s'agit d'un modèle de population supposant une relation d'équilibre de l'environnement de production,

---

il a été tiré des hypothèses les plus simples et des données qui sont généralement disponibles pour de nombreux stocks gérés par le MPO. De telles méthodes permettent de formuler des avis en matière d'exploitation des stocks conditionnés par le climat.

### **Méthodes d'utilisation pour influencer sur les avis lors d'un processus de consultation régionale**

La figure A2.6 montre comment l'inclusion de la variable climatique (température de fond) dans les projections aurait effet sur l'état futur du stock tel que le représente la courbe de Kobe. En d'autres termes, les températures plus chaudes montrent que le stock s'enfonce de plus en plus dans la zone rouge, tandis que des températures plus fraîches combinées à un niveau de pêche au statu quo peuvent ramener le stock dans la zone verte. Il incomberait aux évaluateurs des stocks et aux océanographes physiques présents à la réunion du processus de consultation régionale relatif à ce stock d'attribuer des probabilités aux scénarios climatiques futurs et de faire des projections en conséquence. Si l'objectif est de déplacer le stock dans la zone verte de la courbe de Kobe (décision de gestion), compte tenu de la probabilité d'une projection climatique donnée, l'évaluateur du stock devra déterminer le niveau approprié de réduction de la pêche pour atteindre l'objectif de gestion à un niveau de risque donné dans le contexte des changements climatiques.

### **Références**

Fulton, E., Punt, A., Dichmont, C., Gorton, R., Sporcic, M., Dowling, N., Little, L., Haddon, M., Klaer, N., Smith, D. (2016). Developing risk equivalent data-rich and data-limited harvest strategies. Fisheries Research. 183. 10.1016/j.fishres.2016.07.004.

---

## **ANNEXE C : CONDITIONNEMENT ENVIRONNEMENTAL DU RISQUE – FONDEMENT D'UN EXEMPLE À DONNÉES LIMITÉES**

La section qui suit concerne une ressource halieutique hypothétique (stock) pour laquelle les données sont insuffisantes ou pour laquelle il n'existe pas de modèle analytique accepté pour quantifier la dynamique du stock (et donc la réaction du stock à la pression de pêche ou à la dégradation de l'environnement).

### **Renseignements disponibles**

- Série chronologique de données sur les prises commerciales (dépendantes de la pêche) et de données d'abondance relative des prises par unité d'effort (CPUE).
- Une période de référence convenue pour le stock (ainsi que les niveaux de référence correspondants pour les données de capture et d'abondance relative).
- Un ensemble d'objectifs de gestion (dans ce cas : maintenir le statu quo = mêmes prises que les années précédentes).
- Une série chronologique de données sur la température moyenne annuelle.
- Les caractéristiques du cycle biologique et les cotes de sensibilité connexes.
- Les résultats d'anciennes études expérimentales laissant entendre qu'il existe une plage de températures préférée pour le stock.
- Une matrice décisionnelle mettant en relation l'ampleur du changement d'état de l'environnement ( $E/E_{base}$ ) et le niveau de confiance associé à l'information disponible pour l'évaluation et l'examen des risques découlant de la raison présentée aux figures 2 et 3 du document principal.

### **Démarche**

1. Calculer le risque lié à l'atteinte de l'objectif de gestion dans l'espace de risque en tenant compte de l'incertitude de l'indice CPUE (p. ex. coefficient de variation annuel et hypothèse de distribution normale) et des divers niveaux de prises.
2. Estimer l'état de l'environnement (p. ex. écart de température par rapport aux valeurs de température de référence).
3. Estimer la sensibilité du stock aux changements de température en fonction du cycle biologique empirique et de l'information sur la plage de températures préférée.
4. Faire plusieurs estimations de la sensibilité par cote correspondante sur la matrice décisionnelle (pondération) et les normaliser pour obtenir un facteur de conditionnement par les changements climatiques semi-quantitatif ou catégorique.
5. Conditionner le profil de risque à l'environnement en multipliant les valeurs de risque standard par le facteur de conditionnement par les changements climatiques.
6. Idéalement, les conseils devraient être fondés sur un certain nombre de scénarios plausibles résultant de différents facteurs de conditionnement par les changements climatiques.

---

## ANNEXE D : DÉFINITION DES TERMES

**Avis conditionnés par les changements climatiques (ACCC)** : avis fournis de manière conventionnelle pour une activité (p. ex. niveau du TAC pour un stock de poissons), mais qui a été conditionné en fonction des répercussions proposées des changements climatiques sur les échelles temporelles que l'avis concerne. C'est-à-dire que le risque inhérent à l'avis a été modifié (ou non) après une évaluation des répercussions des changements climatiques sur le risque.

**Facteurs de conditionnement par les changements climatiques** : facteurs qui sont des multiplicateurs des avis d'évaluation (TAC, F) ou éventuellement des estimations de l'état des stocks qui tiennent compte des répercussions des changements climatiques sur la productivité ou l'état futur du stock et qui influent sur les avis fondés sur le risque.

**PCRA** : pêches commerciales, récréatives ou autochtones, selon la définition tirée directement de la *Loi sur les pêches*.

**EVC** : analyse de la vulnérabilité des espèces.

**E** : une ou plusieurs variables environnementales et valeurs associées ou séparées qui reflètent les changements climatiques et touchent la ressource biologique. E est toujours une série chronologique quantitative.

**[E]** : symbole utilisé pour représenter le concept des variables externes du stock qui influent sur la productivité du stock.

**E<sub>base</sub>** : une valeur de référence pour une variable E qui représente les conditions de référence pour la comparaison des états passés et futurs des stocks. La formule  $E/E_{base}$  est parfois utilisée comme moyen de représenter un état environnemental à un moment donné par rapport à l'état de référence.

**Condition de référence** : les conditions biologiques ou environnementales qui caractérisent la période d'adaptation du modèle ou la période de référence à laquelle les états futurs peuvent être comparés.

**Équivalence risque** : une stratégie permettant de s'assurer que le risque de ne pas atteindre un objectif compte tenu d'une OEAP est similaire du fait des différences de disponibilité des données, de la connaissance des processus et des changements de productivité d'une ressource biologique résultant des changements climatiques.

**Profil de risque** : un terme général pour décrire comment le risque de ne pas atteindre un objectif au cours d'une période donnée change avec l'intensité ou l'échelle de l'OEAP. Un profil de risque peut être explicite et peut être décrit comme une courbe continue ou peut rester un lien conceptuel avec le risque de ne pas atteindre un objectif ou de connaître un mauvais résultat qui peut être modifié en gérant une activité humaine.

**OEA** : ouvrage, entreprise ou activité, selon la définition tirée directement de la *Loi sur les pêches*.

**OEAP** : un terme tiré de ce document qui décrit la pêche dans le cadre d'un OEA comme une activité potentiellement nuisible pour l'état de la ressource.