



## APPLICATION D'UN CADRE POUR ÉVALUER LA VULNÉRABILITÉ DES COMPOSANTES BIOLOGIQUES À TROIS CATÉGORIES D'HYDROCARBURES (DIESEL ET ESSENCE; MAZOUT C; BITUME DILUÉ) DANS L'ENVIRONNEMENT MARIN DE LA RÉGION DU PACIFIQUE



Figure 1. Déversement de l'île Bligh – Garde côtière canadienne

### Contexte :

Dans le cadre de l'initiative canadienne du Système de sécurité de classe mondiale pour les navires-citernes (SSCMNC), un cadre national a été élaboré pour déterminer les organismes biologiques marins les plus vulnérables aux déversements d'hydrocarbures provenant des navires (Thornborough et al. 2017). L'application de ce cadre dans la région du Pacifique (Hannah et al. 2017) et la mise à jour de 2022 sur l'application du cadre dans la région du Pacifique (MPO 2023) ont permis de cerner 27 groupes biologiques très vulnérables à tous les types d'hydrocarbures, les herbes marines, le foin/les plantes grasses des marais salés, les loutres de mer et les cétacés à fanons étant les plus vulnérables. L'évaluation précédente dans la région du Pacifique considérait tous les types d'hydrocarbures comme un tout (Hannah et al. 2017); cependant, on s'attend à ce que certaines espèces réagissent différemment aux divers types d'hydrocarbures. Il a été recommandé d'évaluer séparément la vulnérabilité de chaque type d'hydrocarbures en vue de définir davantage les effets (MPO 2017). Ces travaux permettront de peaufiner les évaluations des espèces en fonction des différents types d'hydrocarbures, afin d'orienter les interventions en cas de déversement d'hydrocarbures en fonction de chaque type d'hydrocarbures pendant la période initiale d'un déversement d'hydrocarbures, lorsque les hydrocarbures sont encore frais et flottants. Un financement continu au titre du Plan de protection des océans a été approuvé en 2022 de manière à mener à bien ces travaux.

Dans le cadre de l'initiative du programme d'interventions en cas de déversement de Pêches et Océans Canada (MPO), il est nécessaire, dans la région du Pacifique, de s'appuyer sur le cadre de vulnérabilité aux hydrocarbures afin de mieux comprendre les effets de différents produits sur les espèces vulnérables. À l'heure actuelle, le cadre de vulnérabilité est le meilleur outil dont disposent les

*coordonnateurs des incidents environnementaux (CIE) du gouvernement du Canada pour classer par ordre de priorité les espèces ou les assemblages d'espèces les plus vulnérables aux hydrocarbures. Les CIE s'appuient sur ce cadre pour classer par ordre de priorité les « ressources en péril ». Celles-ci sont ensuite évaluées en fonction des priorités archéologiques, culturelles et socio-économiques afin de recommander des mesures de protection (barrages flottants, dispositifs de dissuasion sonore à destination des mammifères marins, etc.).*

*Le Programme de protection du poisson et de son habitat (PPPH) de la Direction de la gestion des écosystèmes du MPO a demandé à la Direction des sciences de déterminer les groupes d'espèces qui sont les plus vulnérables à trois types d'hydrocarbures (essence et diesel; mazout C; bitume dilué) et d'évaluer si la vulnérabilité peut changer en fonction du devenir et du comportement des trois catégories d'hydrocarbures au fil du temps et dans différentes conditions environnementales. L'évaluation s'est concentrée sur les effets aigus du contact direct avec les hydrocarbures. Des conseils ont été fournis dans trois documents de travail distincts, qui ont contribué aux conseils fournis dans le présent document. L'évaluation et les avis découlant de cet examen régional par les pairs du Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS) serviront à orienter les interventions en cas de déversement d'hydrocarbures dans la région du Pacifique, ainsi que les efforts de rétablissement et d'autres initiatives de planification spatiale marine.*

## SOMMAIRE

- Dans le cadre de l'initiative canadienne du Système de sécurité de classe mondiale pour les navires-citernes (SSCMNC), un cadre national été élaboré afin de définir les organismes biologiques marins les plus vulnérables aux hydrocarbures provenant des navires (Thornborough *et al.* 2017) en cas de déversement d'hydrocarbures. L'application de ce cadre dans la région du Pacifique (Hannah *et al.* 2017) et la mise à jour 2022 de l'application à la région du Pacifique (MPO 2023) ont pris en compte tous les types d'hydrocarbures ensemble et ont recensé 27 groupes biologiques très vulnérables. Cependant, il a été recommandé de mieux définir les effets en évaluant la vulnérabilité des différents types ou catégories d'hydrocarbures séparément pour la période initiale d'un déversement d'hydrocarbures, lorsque les hydrocarbures sont encore frais et flottants. Un financement continu au titre du Plan de protection des océans a été approuvé en 2022 de manière à mener à bien ces travaux.
- Les définitions des critères et les documents d'orientation sur la notation de l'application du cadre de vulnérabilité dans la région du Pacifique (tous types d'hydrocarbures) (Hannah *et al.* 2017) ont été examinés de manière à déterminer où des adaptations étaient nécessaires afin de tenir compte de la vulnérabilité des espèces marines du Pacifique à trois types d'hydrocarbures différents : le diesel et l'essence<sup>1</sup>; le mazout C<sup>2</sup>; et

---

<sup>1</sup> St. Germain, C., Herborg, L-M., Punt, M., Jeffery, S., Hannah, L., et Finney, J. En préparation. Application of a framework to assess vulnerability of biological components to ship-source Diesel and Gasoline spills in the marine environment in the Pacific Region. [Application d'un cadre d'évaluation de la vulnérabilité des composantes biologiques du milieu marin de la région du Pacifique aux déversements de diesel et d'essence provenant de navires.] Can. Sci. Adv. Res. Doc.

<sup>2</sup> St. Germain, C., Herborg, L-M., Punt, M., Jeffery, S., Hannah, L., et Finney, J. En préparation. Application of a framework to assess vulnerability of biological components to ship-source Bunker C and Diluted Bitumen spills in the marine environment in the Pacific Region. [Application d'un cadre d'évaluation de la vulnérabilité des composantes biologiques du milieu marin de la région du Pacifique aux déversements de mazout C et de bitume dilué provenant de navires.] Can. Sci. Adv. Res. Doc.

\*Les documents de travail sur le mazout C et le bitume dilué ont été combinés en vue de leur publication.

le bitume dilué<sup>2</sup> ci-dessus. Il a fallu modifier la définition et les orientations en matière de notation pour deux critères (« interaction avec le fond marin ou la végétation » et « association étroite avec des substrats non consolidés » pour préciser « dans les zones intertidales ») afin de tenir compte du fait que les hydrocarbures flottent lorsqu'ils sont frais.

- Cette application n'est pertinente que pour la phase de déversement, lorsque chaque type d'hydrocarbure est frais et flottant, tel qu'identifié par le modèle Automated Data Inquiry for Oil Spills (ADIOS). Par conséquent, les groupes infratidaux seront probablement moins vulnérables.
- La modélisation du devenir et du comportement des hydrocarbures a permis d'établir des délais et des considérations en matière d'exposition afin de déterminer le moment où les résultats de l'évaluation des différents types d'hydrocarbures seraient le plus applicable au cours de la période initiale d'une intervention en cas de déversement d'hydrocarbures, lorsque les hydrocarbures sont frais et flottants. Cette période peut varier de quelques heures à quelques jours en fonction du type d'hydrocarbure et des conditions environnementales.
- La notation des différents types d'hydrocarbures a fait baisser la note de vulnérabilité totale de plusieurs sous-groupes par rapport aux notes de tous les types d'hydrocarbures, en particulier pour le diesel et l'essence, qui comptaient quinze sous-groupes de moins dans la catégorie de vulnérabilité élevée. En ce qui concerne le mazout C et le bitume dilué, il y avait sept sous-groupes de moins dans la catégorie de vulnérabilité élevée par rapport aux notes portant sur tous les types d'hydrocarbures (MPO 2023). La répartition des notes de vulnérabilité entre les sous-groupes était similaire à celle de tous les types d'hydrocarbures. Il n'y avait pas de différence dans les notes de vulnérabilité entre le mazout C et le bitume dilué pour chaque sous-groupe, mais pour le diesel et l'essence, plusieurs notes de vulnérabilité pour les mêmes sous-groupes étaient inférieures. Les notes de vulnérabilité plus faibles pour le diesel et l'essence sont attribuables au critère de dégradation mécanique, car les hydrocarbures légers ne sont pas censés étouffer ou obstruer les structures d'alimentation, comme le mazout C et le bitume dilué, qui sont plus lourds et plus visqueux.
- Des modèles d'atmosphérisation des hydrocarbures ont été exécutés à l'aide de l'outil ADIOS de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), afin de déterminer les délais d'atmosphérisation pour quatre scénarios météorologiques différents. Les prévisions du modèle ADIOS indiquent que la majeure partie de l'atmosphérisation est attribuable à l'évaporation en ce qui concerne le diesel et l'essence, et à la fois à l'évaporation et à la dispersion en ce qui concerne le mazout C et le bitume dilué. Concernant le bitume dilué, il y a une période initiale d'atmosphérisation rapide où le diluant est perdu par évaporation, puis une période d'atmosphérisation plus lente où la dispersion est le principal mode d'atmosphérisation.
- La notation du critère de sensibilité aux produits chimiques s'est avérée difficile sur la base des orientations existantes en matière de notation. Par conséquent, tous les sous-groupes ont obtenu une note de précaution de 1 (indiquée par 1\*) pour ce critère, sauf si des preuves suffisantes ont été trouvées pour leur donner une note de 1. Actuellement, il n'y a pas d'orientation claire en vue d'obtenir une note de 0.
- Les hydrocarbures varient considérablement, même au sein d'un même type d'hydrocarbure, et de nombreux facteurs influencent le comportement d'un hydrocarbure dans l'environnement. En outre, les espèces individuelles au sein d'un sous-groupe

peuvent varier en termes de cycle de vie, de comportement et de vulnérabilité aux hydrocarbures. Ainsi, les informations sur le devenir et le comportement des hydrocarbures et les prévisions issues de la modélisation, ainsi que les effets attendus des hydrocarbures et la vulnérabilité, peuvent ne pas s'appliquer à toutes les situations. Ce cadre est l'un des outils utilisés par les coordonnateurs des incidents environnementaux (CIE) de Pêches et Océans dans le cadre d'un scénario d'intervention. La combinaison de ces résultats avec les informations fournies par d'autres partenaires de l'intervention (tels que les priorités écologiques, archéologiques, culturelles et socio-économiques) permet d'élaborer une stratégie d'intervention solide.

- Sur la base des prévisions de la modélisation ADIOS, la liste des sous-groupes très vulnérables déterminée pour chaque type d'hydrocarbures est la plus applicable dans les six à dix-huit heures suivant un déversement de diesel, dans la première heure suivant un déversement d'essence, dans les deux à cinq jours suivant un déversement de mazout C, et dans les deux à douze heures suivant un déversement de bitume dilué. Lorsque les conditions environnementales sont telles qu'une atmosphérisation importante est probable, ou si un laps de temps suffisant s'est écoulé, les hydrocarbures se comportent différemment, et la liste des sous-groupes très vulnérables résultant de la mise à jour de 2022 pour tous les types d'hydrocarbures (MPO 2023) serait la plus applicable.
- Lors de la prochaine révision du cadre, il conviendra de réévaluer s'il y a lieu d'inclure la sensibilité aux produits chimiques et, le cas échéant, de quelle manière. Si le critère de sensibilité aux produits chimiques est inclus, nous recommandons d'élaborer des orientations et des méthodes plus claires aux fins de l'évaluation de la sensibilité aux produits chimiques, de sorte que des paramètres de sensibilité clairs soient établis pour chaque note possible, qu'une grille d'évaluation cohérente soit utilisée afin de filtrer les études en fonction de leur propension à fournir des informations sur la sensibilité aux produits chimiques et que la pondération de la sensibilité soit plus équilibrée avec les caractéristiques du cycle biologique (critères d'exposition et de rétablissement) dans la méthode du cadre d'évaluation de la vulnérabilité.
- Les limites de cette application sont notamment la méthode de notation binaire et le fait que les orientations actuelles en matière de notation ne tiennent pas compte de l'ampleur des effets (par exemple, effets aigus, indirects et cumulatifs) et ne permettent pas de délimiter de manière appropriée les différences de vulnérabilité entre les types d'hydrocarbures. Bien que limitée aux composantes marines relevant de la compétence du MPO, la méthode pourrait s'appliquer à d'autres champs de compétence (par exemple, les oiseaux marins). Les espèces ne sont pas évaluées en fonction de leur statut socio-économique (pêche et conservation) ou de leur valeur culturelle, car ces informations sont fournies par d'autres partenaires de l'intervention, en particulier les communautés autochtones. L'application suppose que les hydrocarbures flottants n'atteignent pas les zones infratidales. Toutefois, dans des conditions difficiles, l'action des vagues peut entraîner le maintien de gouttelettes d'hydrocarbures, d'agrégats de particules d'hydrocarbures ou de composants d'hydrocarbures dissous dans la colonne d'eau des zones infratidales.
- Les limites des résultats de la modélisation sont les suivantes : les variables d'entrée (par exemple, la salinité, la température, le vent) peuvent ne pas être représentatives de toutes les zones de la région ou de toutes les saisons (par exemple, l'apport d'eau douce et la stratification); et l'hypothèse d'un rejet ponctuel unique signifie que les résultats peuvent ne pas s'appliquer à toutes les situations de rejet (par exemple, le rejet continu).

## INTRODUCTION

Dans le cadre de l'initiative canadienne du Système de sécurité de classe mondiale pour les navires-citernes (SSCMNC), un cadre national été élaboré afin de déterminer les organismes biologiques marins les plus vulnérables aux hydrocarbures provenant des navires (Thornborough et al. 2017) en cas de déversement d'hydrocarbures. La même année, le cadre a été appliqué aux groupes d'espèces de la région du Pacifique (Hannah et al. 2017) et a permis de cerner 27 groupes biologiques très vulnérables à tous les types d'hydrocarbures, les herbes marines, le foin/les plantes grasses des marais salés, les loutres de mer et les cétacés à fanons étant les plus vulnérables. L'application de ce cadre en 2017 dans la région du Pacifique a pris en compte tous les types d'hydrocarbures comme une seule catégorie. En 2022, cette application a été mise à jour afin d'intégrer de nouvelles informations relatives à la vulnérabilité des groupes d'espèces aux hydrocarbures dans une Réponse des Sciences (MPO 2023). L'historique de ces publications, dont la présente publication, est décrit dans la figure 2.

À l'heure actuelle, le cadre de vulnérabilité est le meilleur outil dont disposent les coordonnateurs des incidents environnementaux (CIE) du gouvernement du Canada pour classer par ordre de priorité les espèces ou les assemblages d'espèces les plus vulnérables aux hydrocarbures. Les CIE s'appuient sur ce cadre pour classer par ordre de priorité les « ressources écologiques en péril ». Celles-ci sont ensuite évaluées en fonction des priorités archéologiques, culturelles et socio-économiques afin de recommander des mesures de protection (barrages flottants, dispositifs de dissuasion sonore à destination des mammifères marins, etc.) L'application du cadre dans la région du Pacifique et la mise à jour de 2022 prenaient en compte tous les types d'hydrocarbures à la fois et partaient du principe qu'ensemble, ces hydrocarbures flotteraient et couleraient. Toutefois, on s'attend à ce que certaines espèces présentent des degrés de vulnérabilité différents aux diverses catégories d'hydrocarbures. Par conséquent, l'avis scientifique qui accompagnait l'application dans le Pacifique recommandait que la vulnérabilité relative à des types d'hydrocarbures spécifiques soit évaluée à une date ultérieure.

Compte tenu de l'engagement du MPO à assurer la durabilité des écosystèmes aquatiques et à suivre les recommandations de l'avis scientifique de 2017 (MPO 2017) qui accompagne le rapport de Hannah et al. 2017, il est nécessaire de s'intéresser plus en détail à l'application du cadre dans le Pacifique afin de mieux comprendre la vulnérabilité des espèces aux différents produits pétroliers qui sont couramment transportés sur notre côte, à savoir le diesel et l'essence, le mazout C et le bitume dilué. À cette fin, les définitions des critères et les orientations en matière de notation de l'application du cadre de vulnérabilité dans le Pacifique ont été examinées afin de déterminer les adaptations nécessaires pour une application permettant d'évaluer la vulnérabilité des espèces marines du Pacifique à ces types d'hydrocarbures. Dans le présent document, nous réévaluons tous les sous-groupes pour les trois types d'hydrocarbures et présentons les résultats. Une modélisation du devenir et du comportement des hydrocarbures a également été réalisée afin de déterminer comment les types d'hydrocarbures se comporteraient lorsqu'ils sont frais et lorsqu'ils sont altérés. La notation des sous-groupes était basée sur les caractéristiques de l'hydrocarbure frais et n'est pas considérée comme valide une fois que l'hydrocarbure a été altéré. La modélisation a également été utilisée afin de déterminer dans quels délais et selon quelles considérations d'exposition les hydrocarbures resteraient frais, et les résultats de la notation pour les différents types d'hydrocarbures restent applicables.

Les limites de ce cadre sont décrites dans Thornborough et al. (2017) et Hannah et al. (2017).

## Chronologie des publications

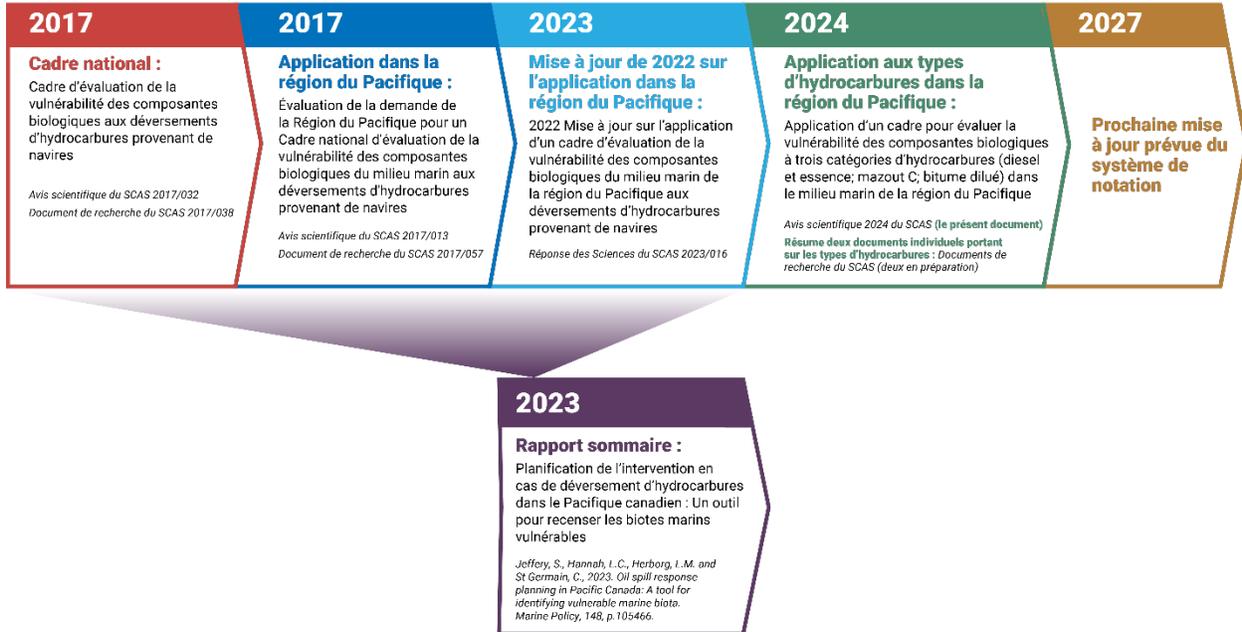


Figure 2. Historique des publications sur la vulnérabilité aux hydrocarbures dans la région du Pacifique.

## Propriétés des types d'hydrocarbures évalués

### Comportement sur l'eau

Lorsque les hydrocarbures sont rejetés dans le milieu marin, ils subissent une série de transformations au cours de l'atmosphérisation, telles que la dispersion, la dissolution, la biodégradation et l'émulsification. Si les types de combustibles considérés ici ont tous une densité inférieure à celle de l'eau (1000 kg/m<sup>3</sup>) et flottent donc sur l'eau de mer, les types les plus lourds (mazout C et bitume dilué) risquent de couler au fur et à mesure que l'atmosphérisation progresse. En outre, dans les environnements et conditions à forte énergie, les vagues peuvent entraîner des hydrocarbures flottants de faible densité sous la surface, augmentant ainsi la probabilité d'exposition aux hydrocarbures dans les zones infratidales. Un autre mécanisme qui donne aux hydrocarbures plus lourds une flottabilité négative est l'adhésion de particules aux gouttelettes d'hydrocarbures dans l'eau, formant des agrégats hydrocarbures-particules qui peuvent s'enfoncer davantage dans la colonne d'eau (Niu et al. 2010). Dans un environnement proche du rivage, l'adhérence du sable peut faire couler les hydrocarbures plus lourds. Étant donné que ces conditions ne se produisent probablement que plus tard au cours d'un déversement et dans des conditions particulières, nous avons considéré tous les hydrocarbures comme flottants. Si les hydrocarbures qui coulent posent problème, il convient de s'appuyer sur la mise à jour du cadre de vulnérabilité pour tous les hydrocarbures (MPO 2023).

### Adhésion, rétention et pénétration des hydrocarbures

En règle générale, plus la viscosité d'un hydrocarbure est élevée, plus celui-ci est susceptible d'adhérer aux matériaux solides (par exemple, les matériaux du littoral, l'équipement d'intervention, l'infrastructure côtière, les plantes, les animaux) et moins il est susceptible de pénétrer dans les matériaux non consolidés du littoral (par exemple, le sable et les galets) (EPA des États-Unis 2003). Les hydrocarbures de diesel et d'essence ont de faibles propriétés

d'adhésion, principalement en raison de leur faible viscosité et, par conséquent, ces hydrocarbures ne s'accumulent pas à une épaisseur significative sur les matériaux du littoral (Etkin et al. 2007). Par conséquent, on s'attend à ce que le diesel et l'essence pénètrent facilement dans la plupart des matériaux poreux du littoral. Le mazout C et le bitume dilué ont des propriétés d'adhésion élevées, principalement en raison de leur forte viscosité, et ces hydrocarbures peuvent donc recouvrir les matériaux du littoral et être difficiles à enlever en raison de leur capacité de rétention. C'est particulièrement vrai lorsque les hydrocarbures s'altèrent. Les plages de sable et les marais seraient particulièrement touchés. La pénétration serait la plus forte pour les plages ou les bancs de blocs ou de galets et les structures perméables artificielles, avec une rétention modérée à très élevée.

### **Toxicité des hydrocarbures**

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont les composés les plus préoccupants en ce qui concerne la toxicité aquatique des produits pétroliers bruts et raffinés. Dans le cas du diesel et de l'essence, leur composition en HAP est entièrement constituée de composés de faible poids moléculaire, qui sont généralement les plus solubles dans l'eau et les plus biodisponibles (Neff et al. 2005; Patel et al. 2020). La teneur en HAP du bitume dilué comprend à la fois des composés de faible et de haut poids moléculaire, bien que la proportion de HAP de faible poids moléculaire soit généralement plus faible que dans le cas des pétroles bruts conventionnels. La teneur en HAP du mazout C est également constituée de composés de poids moléculaire faible et élevé, et sa teneur en HAP est généralement plus élevée que celle du bitume dilué.

### **Scénarios d'atmosphérisation**

Nous avons élaboré des scénarios sur le devenir et le comportement attendus du diesel et de l'essence, du mazout C et du bitume dilué dans quatre conditions environnementales différentes (températures de l'eau en été ou en hiver, eaux calmes ou agitées et vents). Ces résultats ont permis d'orienter le processus d'application des types d'hydrocarbures de deux manières :

1. Déterminer le comportement que l'on peut attendre de chaque type d'hydrocarbure lorsqu'il est frais, afin d'adapter les critères et la notation de manière appropriée;
2. Déterminer la durée pendant laquelle chaque hydrocarbure conserverait ses caractéristiques d'origine avant d'être altéré, car cela indique la période pendant laquelle les résultats de cette application sont valides. Une fois que les hydrocarbures sont altérés, les intervenants devraient revenir à l'utilisation des résultats de l'application du cadre de vulnérabilité mis à jour pour tous les hydrocarbures (MPO 2023).

## **ÉVALUATION**

### **Méthodes**

#### **Élaboration de la méthode**

Dans le cadre de vulnérabilité dans le Pacifique (Hannah et al. 2017), les organismes marins présentant des caractéristiques et des cycles de vie similaires ont été organisés en sous-groupes qui seraient vulnérables de la même manière à tous les types d'hydrocarbures. Il existe cinq grands groupes taxonomiques : les algues et plantes marines, les invertébrés marins, les poissons marins, les reptiles marins et les mammifères marins, au sein desquels les sous-groupes ont été subdivisés en fonction des caractéristiques du cycle de vie, de l'habitat et de la taxonomie. Chaque sous-groupe a ensuite été évalué en fonction de trois catégories de critères

de vulnérabilité : l'exposition, la sensibilité et le rétablissement, chacune étant subdivisée en critères précis. Afin d'évaluer la vulnérabilité, chaque sous-groupe a reçu une note de 0 (ne remplit pas le critère en particulier) ou de 1 (remplit le critère en particulier) pour chacun des critères, soit un total de 10. Les sous-groupes ont ensuite été classés en fonction de leur note de vulnérabilité totale dans les catégories suivantes : vulnérabilité élevée (7 à 10), moyenne (4 à 6) et faible (0 à 3). Pour en savoir davantage, voir Hannah et al. (2017) et la figure 3.

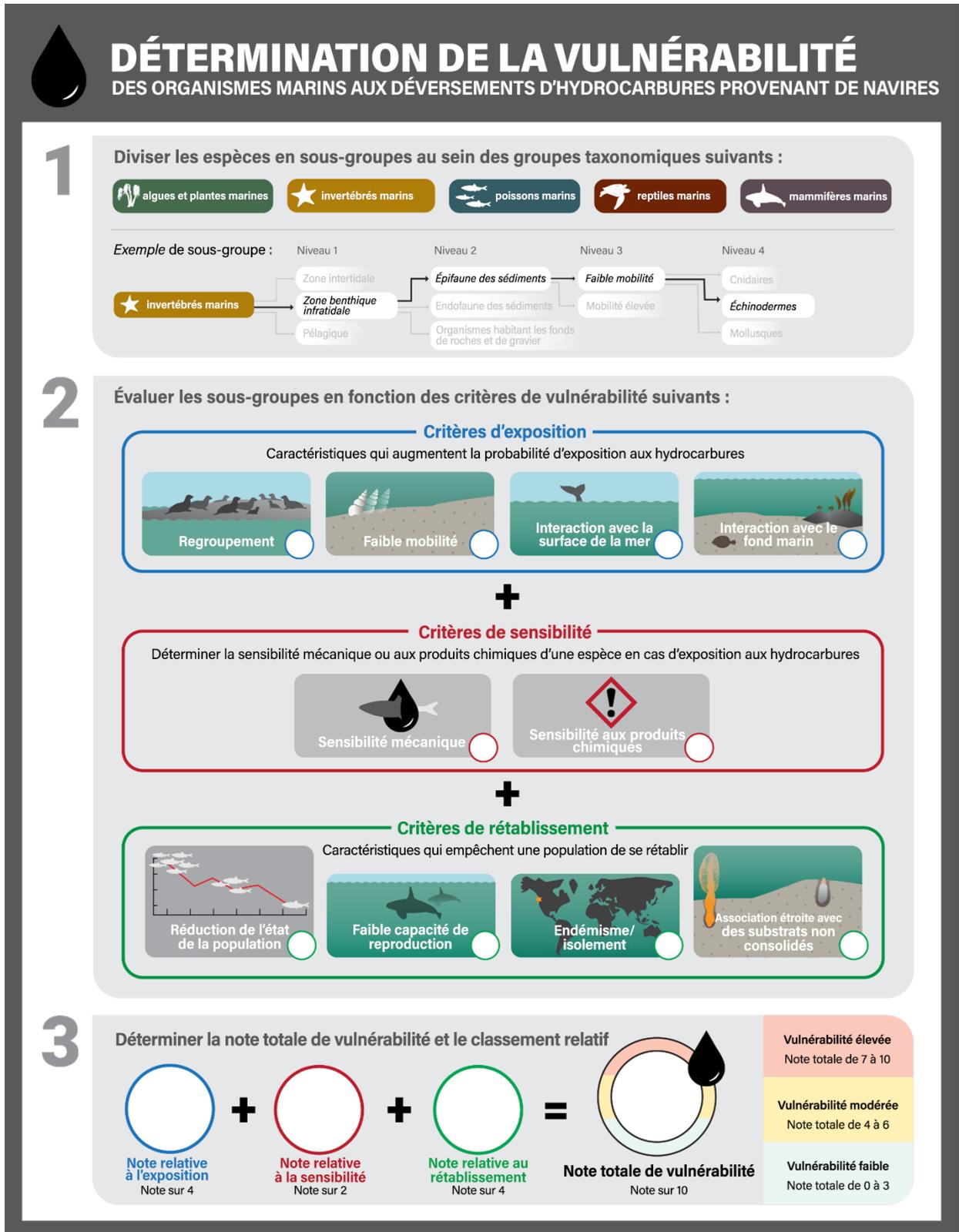


Figure 3. Vue d'ensemble du cadre d'identification des composants biologiques vulnérables (Jeffery et al. 2023).

Dans le cadre de l'examen et de la mise à jour de Hannah et al. (2017), les cinq dernières années de documentation ont été intégrées afin de mettre à jour le cadre de vulnérabilité du Pacifique pour tous les types d'hydrocarbures (MPO 2023). Les figures 4 à 8 comparent les résultats obtenus pour tous les types d'hydrocarbures et ceux obtenus pour les trois types d'hydrocarbures évalués ici.

Les sous-groupes pour le travail présenté ici et en 2022 (MPO 2023) ont été mis à jour afin que les mammifères marins soient évalués au niveau des espèces/écotypes distincts. Cela s'explique par la grande inquiétude liée aux incidences sur les mammifères marins lors des déversements, ainsi que le nombre relativement faible (25) d'écotypes et d'espèces distincts présents dans la région du Pacifique.

#### *Critères de vulnérabilité*

Deux des dix critères utilisés par Hannah et al. (2017) ont dû être adaptés afin de tenir compte de la tendance du diesel et de l'essence, du mazout C et du bitume dilué à flotter lorsqu'ils sont frais (tableau 1). Ces deux critères sont les suivants :

- Interaction avec le fond marin ou la végétation
  - Le nom du critère a été mis à jour afin de préciser « dans les zones intertidales », ce qui donne : « Interaction avec les fonds marins et la végétation dans les zones intertidales ». Les types d'hydrocarbures considérés ici flottent lorsqu'ils sont frais, de sorte que seuls les fonds marins et la végétation de la zone intertidale seraient souillés.
- Association étroite avec des substrats non consolidés
  - Le nom du critère a été mis à jour afin de préciser « dans les zones intertidales », ce qui donne : « Association étroite avec des substrats non consolidés dans les zones intertidales ». Les types d'hydrocarbures considérés ici flottent lorsqu'ils sont frais, de sorte que seuls les substrats de la zone intertidale seraient souillés.

Les notes ont été mises à jour afin de tenir compte de ces changements. En outre, une revue de la documentation a été entreprise au sujet de ces deux critères de sensibilité afin de rechercher des informations sur les effets particuliers du diesel et de l'essence, du mazout C et du bitume dilué en ce qui concerne :

- La réduction de l'alimentation ou de la photosynthèse ou la perte d'isolation;
- La dégradation attribuable à la toxicité.

Les six autres critères concernent le cycle de vie et le comportement des organismes et n'ont donc pas besoin d'être mis à jour en fonction des différents types d'hydrocarbures (tableau 1).

Tableau 1. Les définitions des critères et les descriptions ont été modifiées par rapport à Hannah et al. 2017.

Critère d'application du cadre dans le Pacifique	Changements et orientations concernant l'application du cadre au diesel et à l'essence, au mazout C et au bitume dilué dans le Pacifique
<p><b>Interaction avec le fond marin ou la végétation :</b> Le sous-groupe contient-il des espèces qui interagissent régulièrement avec le fond marin et/ou les algues et plantes marines? Exposition directe attribuable à la présence d'hydrocarbures sur le fond marin et/ou la végétation. Les substrats contaminés des fonds marins peuvent exposer les individus associés à une population aussi longtemps que l'hydrocarbure persiste. Les hydrocarbures persistants ont la possibilité d'avoir un effet sur une plus grande proportion de la population par contact direct au fil du temps.</p>	<p>Mettre à jour le nom du critère pour préciser « dans les zones intertidales » : interaction avec les fonds marins et la végétation dans les zones intertidales. Adapter les notes en fonction de ce changement. Ces types d'hydrocarbures flottent lorsqu'ils sont frais, de sorte que seuls les fonds marins et la végétation de la zone intertidale seraient souillés.</p>
<p><b>Réduction de l'alimentation ou de la photosynthèse ou perte d'isolation :</b> Le contact direct avec l'hydrocarbure entraîne-t-il une dégradation mécanique des structures pouvant avoir un effet sur l'énergie des espèces du sous-groupe? L'encrassement des structures d'alimentation par l'hydrocarbure peut réduire la capacité des organismes à s'alimenter, ce qui réduit leur état corporel et leur capacité de reproduction et augmente le temps passé à s'alimenter (Reich et al. 2014). L'étouffement peut réduire la photosynthèse et l'hydrocarbure entraîne une diminution substantielle de la valeur isolante de la fourrure, inhibant la capacité de thermorégulation des organismes touchés (Reich et al. 2014).</p>	<p>Notation de l'examen : inclure des informations sur les types d'hydrocarbures particuliers et les délais d'encrassement, le cas échéant.</p>
<p><b>Dégradation attribuable à la toxicité :</b> Le contact direct avec l'hydrocarbure entraîne-t-il des effets graves et irréversibles ou la mort pour les espèces du sous-groupe? Les organismes les plus sensibles aux effets toxiques de l'hydrocarbure sont plus susceptibles de subir des effets irréversibles ou de mourir.</p>	<p>Notation de l'examen : inclure des informations sur les types d'hydrocarbures spécifiques et les délais de toxicité, le cas échéant.</p>
<p><b>Association étroite avec des substrats non consolidés :</b> Le sous-groupe contient-il des espèces étroitement associées à des substrats non consolidés? Des quantités importantes d'hydrocarbures déversés et déposés sur les substrats benthiques peuvent persister sous la surface (5 à 18 cm de profondeur) pendant plus de 20 ans après un déversement et conserver leur toxicité initiale (Exxon Valdez Oil Spill Trustee Council 2009). Cet hydrocarbure persistant exposera les organismes associés pendant des décennies après un déversement et entravera leur rétablissement (Gunster et al. 1993; Kennish 1996). Les concentrations d'hydrocarbures les plus élevées se trouvent dans les substrats à grains fins (D'Ozouville et al. 1979).</p>	<p>Mettre à jour le nom du critère pour préciser uniquement les zones intertidales : association étroite avec des substrats non consolidés dans les zones intertidales; ajuster les notes de façon à refléter ce changement : ces types d'hydrocarbures flottent lorsqu'ils sont frais, de sorte que seuls les substrats intertidaux seraient souillés.</p>

### *Études d'effet à long terme*

Des efforts ont été faits afin d'attribuer des notes en fonction des effets immédiats du contact direct avec les hydrocarbures. Toutefois, plusieurs études portant sur l'effet des déversements et le rétablissement plusieurs mois ou années après le déversement initial ont été incluses dans

les sections des tableaux de notation consacrées aux justifications, à titre d'information complémentaire.

### Scénarios de devenir et de comportement

#### Description des scénarios

L'atmosphérisation des différents types d'hydrocarbures (diesel et essence, mazout C et bitume dilué) dans quatre conditions environnementales a été modélisée à l'aide du modèle d'atmosphérisation du pétrole ADIOS (Automated Data Inquiry for Oil Spills) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, sans date). Le modèle utilise le déversement et les conditions climatiques afin de prévoir les changements de densité et de viscosité des hydrocarbures, ainsi que le taux d'atmosphérisation au fil du temps.

Les scénarios et les conditions environnementales utilisés dans le modèle ADIOS sont décrits dans le tableau 2. Le volume d'hydrocarbures déversé pour les scénarios a été fixé à 25 m<sup>3</sup>, car il se situe dans la moyenne des volumes des récents déversements d'hydrocarbures sur la côte ouest (Punt 2020). Pour le modèle ADIOS, on a supposé que ce volume d'hydrocarbures était libéré instantanément.

Les types d'hydrocarbures en particulier sélectionnés dans la base de données du modèle ADIOS aux fins des scénarios sont les suivants :

- Huile combustible pour diesel (Canada), ID hydrocarbure ADIOS : AD02082, degré API : 39,4°
- Essence (Shell sans plomb), ID hydrocarbure ADIOS : AD02153, degré API : 57,2°
- mazout C, ID hydrocarbure ADIOS : AD02051, degré API : 12,3°
- Bitume dilué Cold Lake Blend, ID hydrocarbure ADIOS : AD02070, degré API : 22,6°

Tableau 2. Scénarios de conditions environnementales en cas de déversement d'hydrocarbures.

Scénario	Température de l'air	Température de l'eau	Hauteur des vagues	Vitesse du vent
Scénario 1 : 25 m <sup>3</sup> d'hydrocarbures déversés le 3 août à midi	Été 19 °C	Eau chaude 15 °C (salinité de 32 ppt)	Mer calme 0,1 m	Vent faible 8,5 km/h (5 nœuds)
Scénario 2 : 25 m <sup>3</sup> d'hydrocarbures déversés le 3 août à midi	Été 19 °C	Eau chaude 15 °C (salinité de 32 ppt)	Mer agitée 3,0 m	Venteux 46 km/h (25 nœuds)
Scénario 3 : 25 m <sup>3</sup> d'hydrocarbures déversés le 3 février à midi	Hiver 3 °C	Eau froide 8 °C (salinité de 32 ppt)	Mer calme 0,1 m	Vent faible 8,5 km/h (5 nœuds)
Scénario 4 : 25 m <sup>3</sup> d'hydrocarbures déversés le 3 février à midi	Hiver 3 °C	Eau froide 8 °C (salinité de 32 ppt)	Mer agitée 3,0 m	Venteux/exposé 46 km/h (25 nœuds)

## Résultats et analyse

### Notes de vulnérabilité totales

Les notes de vulnérabilité totales concernant les sous-groupes évalués pour des types d'hydrocarbures en particulier étaient soit inchangées, soit inférieures d'un à trois points (sur 10) par rapport à celles de la mise à jour de 2022 pour tous les types d'hydrocarbures (MPO 2023) (figures 4 à 8). Dans de nombreux cas, les notes étaient inférieures en raison des adaptations apportées aux deux critères, tenant compte du fait que les types d'hydrocarbures évalués ici flottent dans les premières phases d'un déversement. De nombreux sous-groupes ont reçu des notes inférieures pour des types d'hydrocarbures spécifiques parce qu'ils contiennent des espèces qui ne se trouvent que dans les zones infratidales. Par conséquent, ces sous-groupes n'ont pas été pris en compte dans cette application pour le critère d'interaction avec le fond marin ou la végétation ni pour le critère d'association étroite avec des substrats non consolidés, car leur situation infratidale les rend moins vulnérables aux hydrocarbures flottants, qui contaminent principalement le fond marin, la végétation et les substrats non consolidés dans les zones intertidales.

Concernant l'application du cadre au mazout C et au bitume dilué, 38 % des sous-groupes avaient des notes de vulnérabilité totales inférieures (45 sur 118) par rapport à la mise à jour de 2022 pour tous les types d'hydrocarbures (MPO 2023). Concernant l'application du cadre au diesel et à l'essence, la majorité des sous-groupes (87 sur 118, 74 %) ont obtenu des notes de vulnérabilité totales inférieures à celles de la mise à jour de 2022 pour tous les types d'hydrocarbures (MPO 2023). Le plus grand nombre de sous-groupes ayant des notes de vulnérabilité totales inférieures dans l'application du cadre au diesel et à l'essence est attribuable aux différences dans la manière dont le critère de sensibilité mécanique a été évalué pour ce type d'hydrocarbure. Les structures d'alimentation ou de respiration, ainsi que la fourrure assurant l'isolation, sont susceptibles d'être encrassées par des hydrocarbures plus visqueux tels que le mazout C et le bitume dilué, mais ce n'est pas le cas des hydrocarbures de type diesel et essence, moins visqueux, qui ne devraient pas encrasser les structures d'alimentation et de respiration, ni la fourrure.

Les notes de vulnérabilité totales pour les 118 sous-groupes étaient comprises entre 1 et 9 sur une note maximale possible de 10 (dix critères avec une note maximale de 1 pour chacun d'entre eux). Pour le diesel et l'essence, le sous-groupe le plus vulnérable (avec une note de 9 sur 10) était la loutre de mer (mustélidés). Pour les applications du cadre au mazout C et au bitume dilué, sept sous-groupes ont obtenu une note de 9 sur 10 : trois sous-groupes d'algues et plantes marines (les herbes marines, le foin/les plantes grasses des marais salés); deux sous-groupes d'invertébrés marins (échinodermes épifauniques intertidaux à faible mobilité et vers benthiques); et deux sous-groupes de mammifères marins (mustélidés et baleines mysticètes discrètes). Tous ces sous-groupes ont également obtenu les notes de vulnérabilité les plus hautes dans la mise à jour de 2022 pour tous les types d'hydrocarbures (MPO 2023).

Quatre sous-groupes ont obtenu la note de vulnérabilité la plus basse, soit 1 sur 10, pour les trois types d'hydrocarbures. Les quatre sous-groupes étaient des poissons marins. Malgré des notes de vulnérabilité totales plus faibles dans ces sous-groupes, ils sont restés dans la même catégorie de vulnérabilité (faible) que dans la mise à jour de 2022 pour tous les types d'hydrocarbures (MPO 2023).

La notation des trois types d'hydrocarbures a permis de réduire de quinze le nombre de sous-groupes dans la catégorie de vulnérabilité élevée pour le diesel et l'essence et de sept le nombre de sous-groupes pour le mazout C et le bitume dilué, par rapport à la mise à jour de 2022 pour tous les types d'hydrocarbures (MPO 2023) (tableau 3). Ces différences de

notation entraînent des répercussions directes en matière d'intervention en cas de déversement, car la catégorie de vulnérabilité élevée est utilisée, de même que les espèces préoccupantes sur le plan de la conservation, les espèces et les zones importantes sur le plan culturel et d'autres priorités socio-économiques, pour aider à informer les CIE sur les ressources en péril en cas d'urgence après un déversement d'hydrocarbures. Pour les sous-groupes qui sont différents d'un point de vue opérationnel dans le cadre de l'application aux trois types d'hydrocarbures (classés comme moyens plutôt qu'élevés), les intervenants peuvent souhaiter utiliser les notes de la mise à jour de 2022 pour tous les types d'hydrocarbures (MPO 2023), et considérer ces groupes comme très vulnérables si l'on s'attend à un degré élevé d'atmosphérisation.

Alors que le mazout C et le bitume dilué ont obtenu la même note dans tous les sous-groupes, il y avait 62 différences de notation entre ces deux types d'hydrocarbures et le diesel et l'essence (figures 4 à 8). Là encore, ces différences s'expliquent par le fait que le diesel et l'essence ne sont pas censés provoquer de dégradation mécanique, tels que l'obstruction des structures alimentaires ou respiratoires ou l'encrassement de la fourrure, alors que c'est le cas du mazout C et du bitume dilué. Il est possible qu'il y ait davantage de différences entre les trois types d'hydrocarbures pour d'autres sous-groupes, mais la méthodologie est actuellement limitée dans sa capacité à les détecter. Par exemple, pour les critères de sensibilité mécanique et de sensibilité aux produits chimiques, de nombreux sous-groupes, voire tous, ont reçu la note de précaution de 1\* en raison du manque d'informations propres aux types d'hydrocarbures dans la documentation. Pour cette raison, le critère de sensibilité mécanique n'a pas établi une bonne distinction entre les différents types d'hydrocarbures, et le critère de sensibilité aux produits chimiques n'a pas établi de distinction du tout. Toutefois, malgré la différenciation minimale ou l'absence de différenciation, les informations propres au type d'hydrocarbure qui ont été recueillies pour le processus de notation restent des informations de référence utiles pour les CIE. Il serait utile que les futures mises à jour du cadre de vulnérabilité élaborent des orientations et des méthodes plus claires afin d'évaluer la sensibilité, de sorte que des paramètres de sensibilité clairs soient établis pour chaque note possible, qu'une grille d'évaluation cohérente soit utilisée afin de filtrer les études en fonction de leur propension à fournir des informations sur la sensibilité aux produits chimiques et que la pondération de la sensibilité soit plus équilibrée avec l'exposition et le rétablissement dans la méthode du cadre d'évaluation de la vulnérabilité.

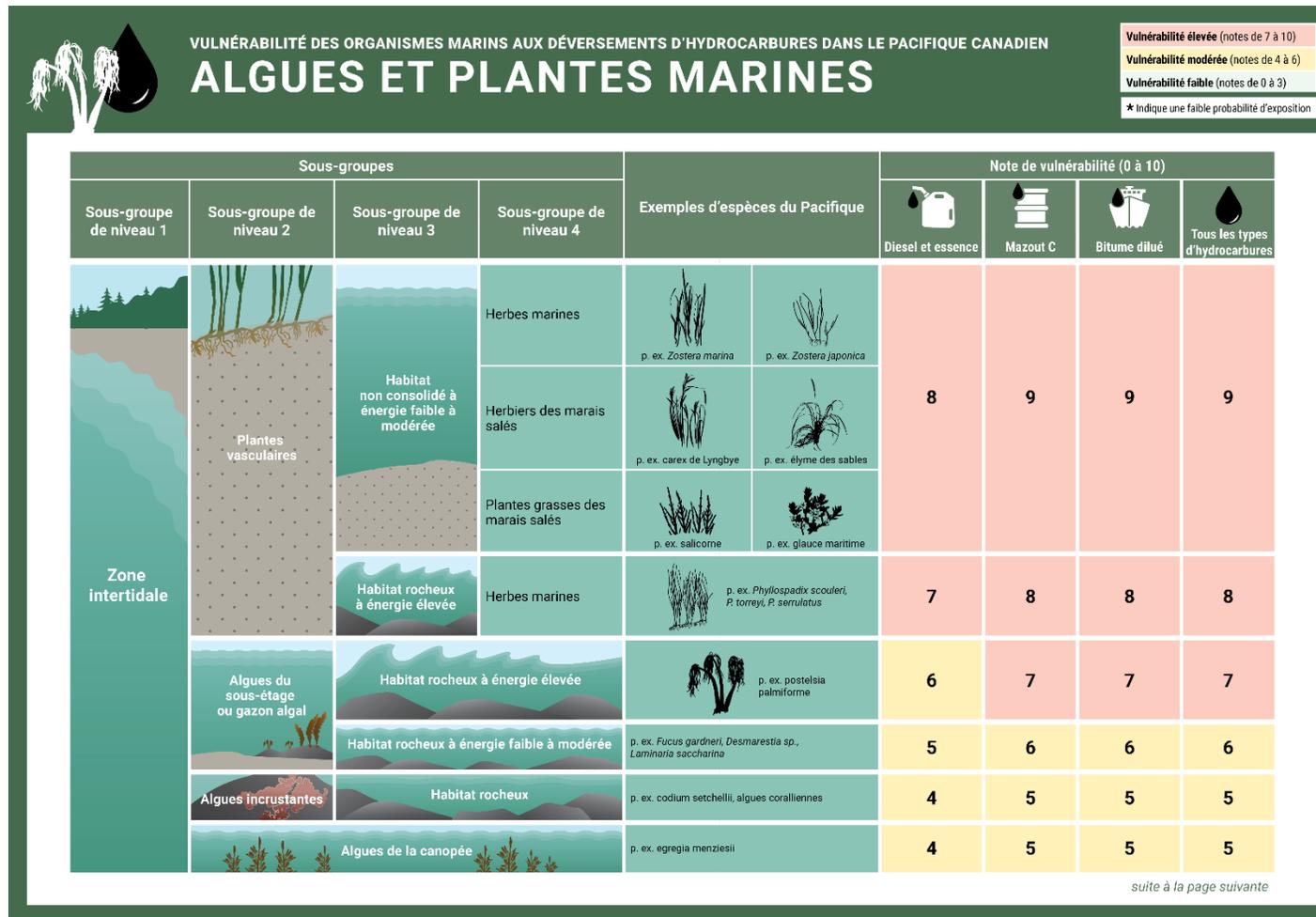


Figure 4a. Comparaison des notes de vulnérabilité totales pour les trois types d'hydrocarbures (diesel et essence, mazout C, bitume dilué) et comparaison avec la mise à jour de 2022 pour tous les types d'hydrocarbures (MPO 2023) (colonne « Tous les types d'hydrocarbures »). Les sous-groupes classés comme très vulnérables (notes de 7 à 9) sont colorés en rose, les sous-groupes modérément vulnérables (notes de 4 à 6) sont colorés en orange, et les sous-groupes faiblement vulnérables (notes de 0 à 3) sont colorés en vert. Les sous-groupes ayant une note de 1 ou moins à la catégorie Exposition, indiquant une faible probabilité d'exposition, sont désignés par un \*. Les sous-groupes d'espèces correspondent à des lignes dans la figure, de gauche à droite, et sont constitués de quatre niveaux hiérarchiques (par exemple, Zone intertidale | Plantes vasculaires | À énergie élevée, habitat rocheux | Herbes marines). Les lignes contiguës partageant le même niveau hiérarchique sont fusionnées.

ALGUES ET PLANTES MARINES suite de la page précédente

Sous-groupes				Exemples d'espèces du Pacifique	Note de vulnérabilité (0 à 10)			
Sous-groupe de niveau 1	Sous-groupe de niveau 2	Sous-groupe de niveau 3	Sous-groupe de niveau 4		Diesel et essence	Mazout C	Bitume dilué	Tous les types d'hydrocarbures
Zone infratidale	Algues de la canopée	Habitat rocheux à énergie faible à modérée		p. ex. laminaire géante	6	7	7	7
		Habitat rocheux à énergie élevée		p. ex. Nereocystia de Lutke, Egregia menziesii	5	6	6	6
	Algues du sous-étage	Habitat rocheux	Avec de grands flotteurs ou stipes ligneux	p. ex. Pterygophera californica, Sargassum muticum	5	6	6	6
			Sans grands flotteurs ou stipes ligneux	p. ex. Desmarestia sp., Agarum fimbriatum, Laminaria sp.	2 *	3 *	3 *	4
	Gazon algal	Habitat rocheux		p. ex. Callophyllis sp., Dictyota binghamiae	2 *	3 *	3 *	4
Algues incrustantes			p. ex. croûtes d'algues coralliennes, Hildenbrandia sp.					
Pélagique	Phytoplancton				4	4	4	4

Figure 4b. Suite de la figure 4a, algues et plantes marines, montrant les zones infratidales et pélagiques.

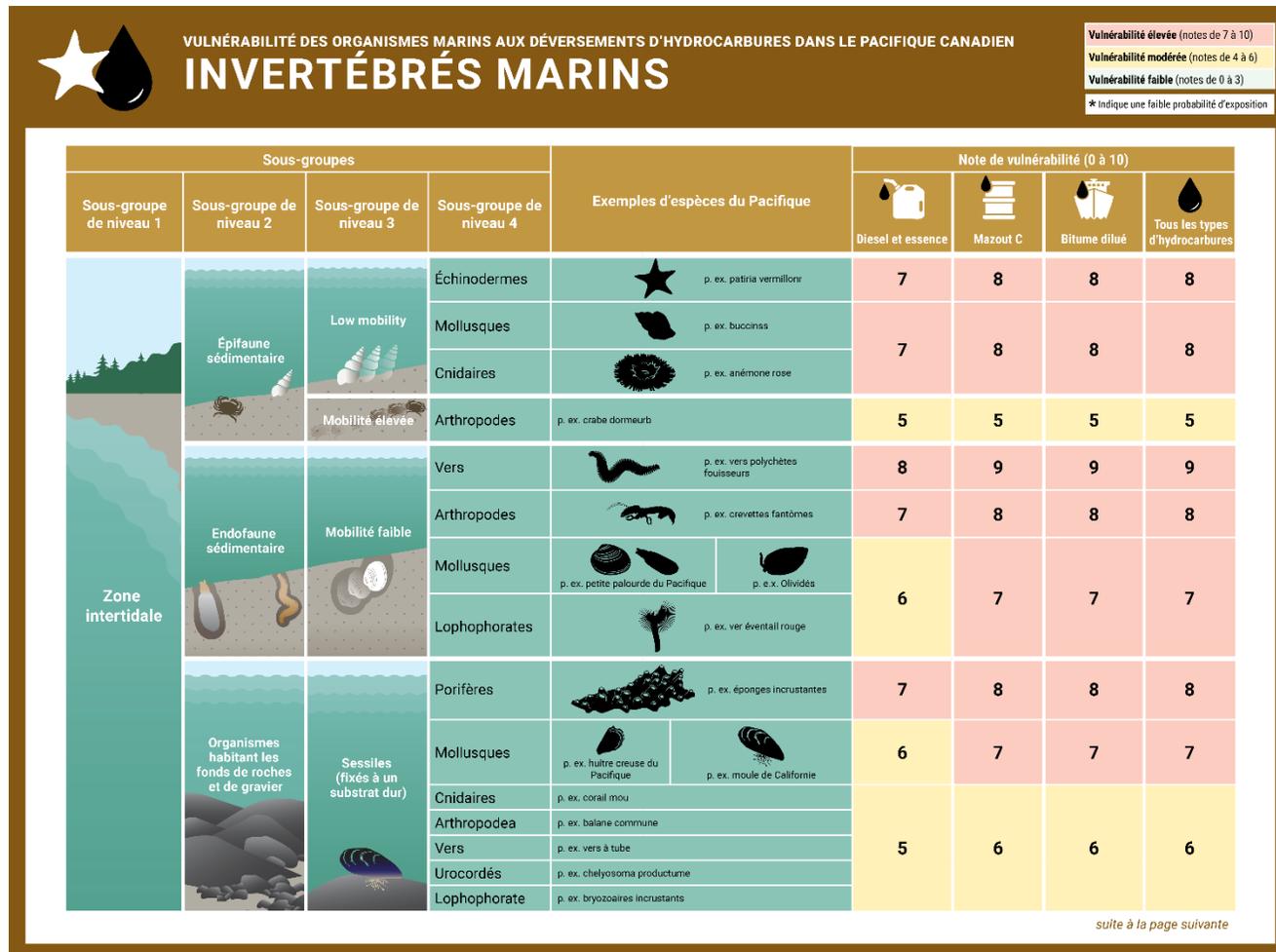


Figure 5a. Comparaison des notes de vulnérabilité totales pour les trois types d'hydrocarbures (diesel et essence, mazout C, bitume dilué) et comparaison avec la mise à jour de 2022 pour tous les types d'hydrocarbures (MPO 2023) (colonne « Tous les types d'hydrocarbures »). Les sous-groupes classés comme très vulnérables (notes de 7 à 9) sont colorés en rose, les sous-groupes modérément vulnérables (notes de 4 à 6) sont colorés en orange, et les sous-groupes faiblement vulnérables (notes de 0 à 3) sont colorés en vert. Les sous-groupes ayant une note de 1 ou moins à la catégorie Exposition, indiquant une faible probabilité d'exposition, sont désignés par un \*. Les sous-groupes d'espèces correspondent à des lignes dans la figure, de gauche à droite, et sont constitués de quatre niveaux hiérarchiques (par exemple, Zone intertidale | Plantes vasculaires | À énergie élevée, habitat rocheux | Herbes marines). Les lignes contiguës partageant le même niveau hiérarchique sont fusionnées.

**INVERTÉBRÉS MARINS** suite de la page précédente

Sous-groupes				Exemples d'espèces du Pacifique	Note de vulnérabilité (0 à 10)					
Sous-groupe de niveau 1	Sous-groupe de niveau 2	Sous-groupe de niveau 3	Sous-groupe de niveau 4		Diesel et essence	Mazout C	Bitume dilué	Tous les types d'hydrocarbures		
Zone intertidale	Organismes habitant les fonds de roches et de gravier	Mobilité faible	Échinodermes	p. ex. oursin violet	p. ex. concombre de mer orange	p. ex. étoile des ocres pourpre	6	7	7	7
			Arthropodes	p. ex. Pentidotea wosnesenskii			5	5	5	6
			Cnidaires	p. ex. grande anémone verte			5	5	5	5
		High mobility	Vers	p. ex. vers d'arachide, vers ruban			5	5	5	5
			Mollusques	p. ex. Cryptochiton stelleri, escargot de turban			4	5	5	5
			Mollusques	p. ex. pieuvre géante du Pacifique			5	5	5	5
			Arthropodes (organismes filtreurs)	p. ex. crabe de porcelaine			4	4	4	4
Arthropodes (autres)	p. ex. crabe du Pacifique			4	4	4	4			
Zone benthique infratidale	Épifaune sédimentaire	Low mobility	Échinodermes	p. ex. étoile de mer des sables			4	5	5	7
			Cnidaire	p. ex. pennatule orange			4	5	5	7
		Mollusca	p. ex. buccins			3	4	4	6	
	High mobility	Arthropodes	p. ex. crabe dormeur			2*	2*	2*	4	
		Endofaune sédimentaire	Low mobility	Mollusques	p. ex. palourde jeune			4	5	5
	Vers			p. ex. vers polychètes fouisseurs			3	4	4	6
	Lophophorates		p. ex. ver éventail rouge, brachiopodes			5	6	6	7	
	Organismes habitant les fonds de roches et de gravier	Sessiles (fixés à un substrat dur)	Porifères	p. ex. éponges siliceuses (éponge de Dawson, éponge moutonnée)			4	5	5	7
			Cnidaire	p. ex. madréporaire, corail arborescent			4	5	5	6
			Arthropodes	p. ex. pouce-pied géant			3	4	4	5
Urocordé			p. ex. tuniciers (pêche de mer)			4	5	5	6	
Mollusques			p. ex. pétoncle des roches			3	4	4	5	
Vers	p. ex. vers à plumeau			3	4	4	5			
Lophophorates	p. ex. bryozoaires, brachiopodes			3	4	4	5			

suite à la page suivante

Figure 5b. Suite de la figure 5a, invertébrés marins, montrant les zones intertidales et les zones benthiques infratidales.

**INVERTÉBRÉS MARINS** suite de la page précédente

Sous-groupes				Exemples d'espèces du Pacifique	Note de vulnérabilité (0 à 10)					
Sous-groupe de niveau 1	Sous-groupe de niveau 2	Sous-groupe de niveau 3	Sous-groupe de niveau 4		Diesel et essence	Mazout C	Bitume dilué	Tous les types d'hydrocarbures		
Zone benthique infratidale	Organismes habitant les fonds de roches et de gravier	Mobilité faible	Échinodermes	p. ex. oursin rouge	p. ex. soleil de mer	5	6	6	7	
			Vers	p. ex. polychètes		3	4	4	5	
			Cnidaire	p. ex. anémone piscivore		4	4	4	5	
		Mollusques	p. ex. fustirion oregonensis		4	4	4	5		
		Mobilité élevée	Mollusques	p. ex. pieuvre géante du Pacifique		3 *	3 *	3 *	4	
			Arthropodes	p. ex. crabe du Pacifique		2 *	2 *	2 *	3	
Pélagique			Échinodermes			5	6	6	6	
			Mollusques							
			Cnidaire							
			Vers			4	5	5	5	
			Arthropodes							
			Lophophorates							
			Porifères			4	4	4	4	
			Chordés							
			Mobilité faible	Zooplankton (autre que les larves)			4	5	5	5
				Cnidaire	p. ex. méduse lune, méduse œuf au plat					
Mobilité élevée	Mollusques	p. ex. calmar opalescent		3	3	3	3			

Figure 5c. Suite de la figure 5b, invertébrés marins, montrant les zones benthiques infratidales et les zones pélagiques.

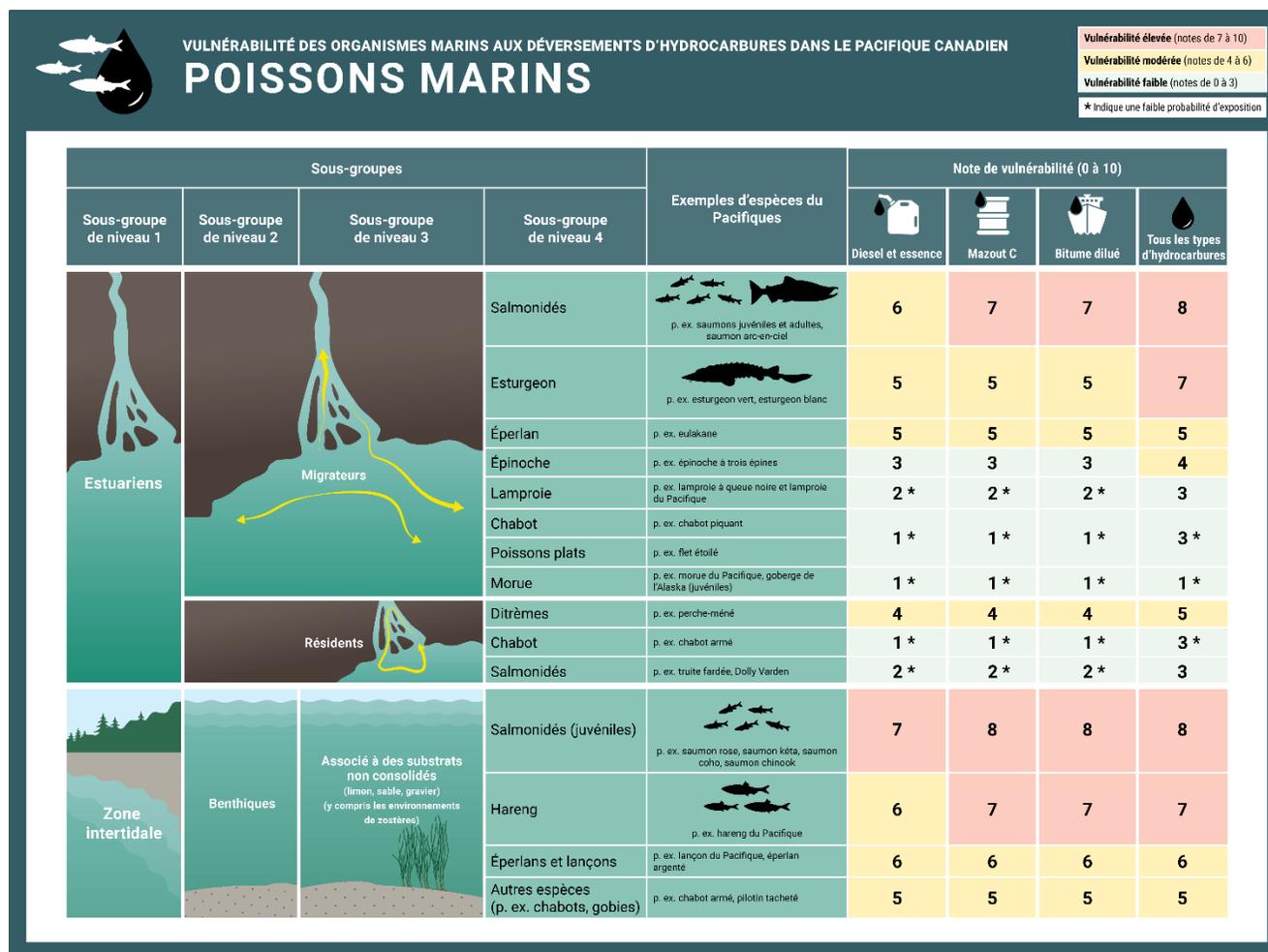


Figure 6a. Comparaison des notes de vulnérabilité totales pour les trois types d'hydrocarbures (diesel et essence, mazout C, bitume dilué) et comparaison avec la mise à jour de 2022 pour tous les types d'hydrocarbures (MPO 2023) (colonne « Tous les types d'hydrocarbures »). Les sous-groupes classés comme très vulnérables (notes de 7 à 9) sont colorés en rose, les sous-groupes modérément vulnérables (notes de 4 à 6) sont colorés en orange, et les sous-groupes faiblement vulnérables (notes de 0 à 3) sont colorés en vert. Les sous-groupes ayant une note de 1 ou moins à la catégorie Exposition, indiquant une faible probabilité d'exposition, sont désignés par un \*. Les sous-groupes d'espèces correspondent à des lignes dans la figure, de gauche à droite, et sont constitués de quatre niveaux hiérarchiques (par exemple, Zone intertidale | Plantes vasculaires | À énergie élevée, habitat rocheux | Herbes marines). Les lignes contiguës partageant le même niveau hiérarchique sont fusionnées.

*continued on next page*

**POISSONS MARINS** suite de la page précédente

Sous-groupe de niveau 1	Sous-groupes			Exemples d'espèces du Pacifique	Note de vulnérabilité (0 à 10)					
	Sous-groupe de niveau 2	Sous-groupe de niveau 3	Sous-groupe de niveau 4		Diesel et essence	Mazout C	Bitume dilué	Tous les types d'hydrocarbures		
Zone intertidale	Benthiques	Associé à des substrats non consolidés (limon, sable, gravier) (y compris les environnements de zostères)	Syngnathe	p. ex. syngnathe à lignes grises	4	4	4	4		
			Sourcils	p. ex. morue-lingue (juvénile)	4 *	4 *	4 *	4 *		
			Poissons plats (juvéniles)	p. ex. carlotin anglais, flet étoilé	3 *	3 *	3 *	3 *		
			Limaces	p. ex. limace de bêche						
			Crampons	p. ex. crampon bariolé	4	4	4	4		
		Associé à des substrats consolidés (galets, roches, substrat rocheux)	Lompénies	p. ex. sigouine jaunâtre, sigouine lunée,						
			Sébastes (juvéniles)	p. ex. sébaste noir, sébaste cuivré	4 *	4 *	4 *	4 *		
			Ditrèmes	p. ex. perche-méné, perche rayée	4	4	4	4		
			Non benthique (pélagique et démersal)		Elasmobranches	p. ex. raie biocellée	4 *	4 *	4 *	6
					Sébastes	p. ex. sébaste tacheté, sébaste canari	3 *	3 *	3 *	5 *
Zone infratidale	Benthiques	Associé à des substrats non consolidés (limon, sable, gravier)	Myxines	p. ex. myxine brune	3 *	3 *	3 *	5		
			Poissons plats	p. ex. carlotin anglais, flet étoilé	2 *	2 *	2 *	4		
			Sébastes	p. ex. sébaste à dos épineux	4 *	4 *	4 *	5		
		Associé à des substrats consolidés (galets, roches, substrat rocheux)	Poissons-loups	p. ex. loup ocellé	3 *	3 *	3 *	4		
			Sourcils et chabots	p. ex. morue-lingue (adulte)						
			Sébastes	p. ex. limande à queue jaune, bocaccio	5	5	5	5		
			Elasmobranches (autres)	p. ex. aiguillat commun, requin grisot						
			Elasmobranches (organismes filtreurs)	p. ex. requin pélerin	4 *	5 *	5 *	5 *		
			Chimères	p. ex. chimère d'Amérique	3 *	3 *	3 *	5		
			Lançon	p. ex. lançon du Pacifique	2 *	2 *	2 *	4		
			Anchois	p. ex. anchois du Pacifique	3	4	4			
			Molidés	p. ex. poisson-lune	3 *	3 *	3 *	3 *		
			Autres espèces	p. ex. morue charbonnière, saumon						
			Morue	p. ex. morue du Pacifique, merlu	2 *	2 *	2 *	3		
			Maquereaux et thons	p. ex. maquereau espagnol	2 *	2 *	2 *	2 *		

Figure 6b. Suite de la figure 6a, poissons marins, montrant les zones intertidales et infratidales.

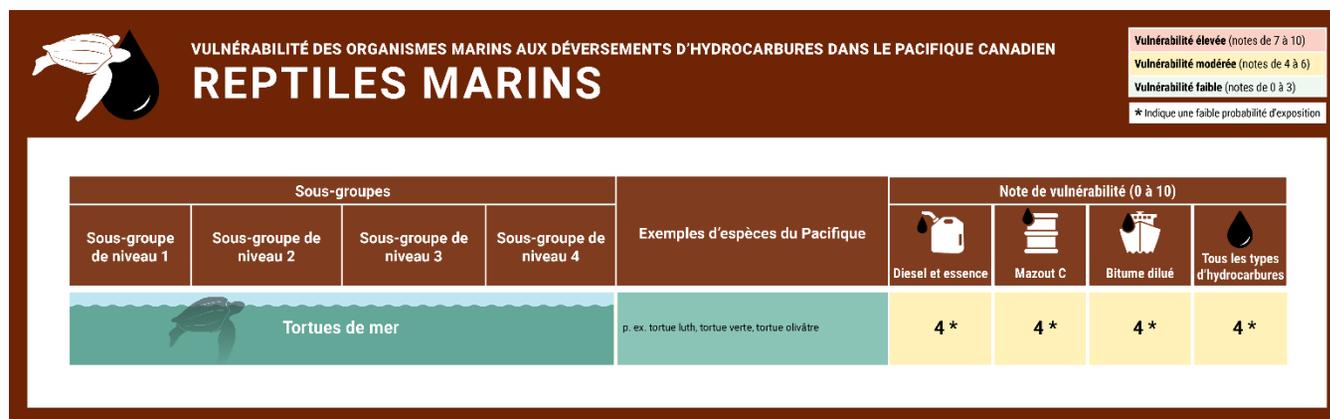


Figure 7. Comparaison des notes de vulnérabilité totales pour les trois types d'hydrocarbures (diesel et essence, mazout C, bitume dilué) et comparaison avec la mise à jour de 2022 pour tous les types d'hydrocarbures (MPO 2023) (colonne « Tous les types d'hydrocarbures »). Les sous-groupes classés comme très vulnérables (notes de 7 à 9) sont colorés en rose, les sous-groupes modérément vulnérables (notes de 4 à 6) sont colorés en orange, et les sous-groupes faiblement vulnérables (notes de 0 à 3) sont colorés en vert. Les sous-groupes ayant une note de 1 ou moins à la catégorie Exposition, indiquant une faible probabilité d'exposition, sont désignés par un \*. Les sous-groupes d'espèces correspondent à des lignes dans la figure, de gauche à droite, et sont constitués de quatre niveaux hiérarchiques (par exemple, Zone intertidale | Plantes vasculaires | À énergie élevée, habitat rocheux | Herbes marines). Les lignes contiguës partageant le même niveau hiérarchique sont fusionnées.



MAMMIFÈRES MARINS suite de la page précédente

Sous-groupes				Espèces du Pacifique	Note de vulnérabilité (0 à 10)				
Sous-groupe de niveau 1	Sous-groupe de niveau 2	Sous-groupe de niveau 3	Sous-groupe de niveau 4		Diesel et essence	Mazout C	Bitume dilué	Tous les types d'hydrocarbures	
Pinnipèdes	Thermorégulation par la fourrure			otarie à fourrure ( <i>Callistrabus ursinus</i> )	5 *	5 *	5 *	5 *	
	Autres pinnipèdes	Distinctes			<b>NOTE GLOBALE DU SOUS-GROUP</b>	4	5	5	5
					otarie de Steller ( <i>Ursus stelleri</i> )	4	5	5	5
		Dispersés			phoque commun du Pacifique ( <i>Ursus stelleri</i> )	4	5	5	5
				otarie de Californie ( <i>Zarobius californicus</i> )	4 *	5 *	5 *	5 *	
			éléphant de mer boreal ( <i>Motacilla nigripinnis</i> )	4 *	5 *	5 *	5 *		
Mustélidés				loutre de mer ( <i>Ursus lutreus</i> )	9	9	9	9	

Figure 8b. Suite de la figure 8a, mammifères marins, montrant les pinnipèdes et les mustélidés.

### Scénario du devenir et du comportement des hydrocarbures

Nous avons inclus les résultats du modèle d'atmosphérisation du pétrole ADIOS (Automated Data Inquiry for Oil Spills) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) afin de pouvoir discuter des délais d'application des résultats des notations de ce travail. Lors de la notation, nous avons supposé que l'hydrocarbure qu'une espèce pourrait rencontrer serait relativement peu altéré (c'est-à-dire avant qu'il ne s'évapore, ne se disperse et ne se dissolve). Par conséquent, les notes obtenues sont plus applicables lorsque l'hydrocarbure est le plus frais, avant qu'un vieillissement important n'ait modifié ses propriétés.

Il convient de noter que si les informations utilisées afin de prévoir les comportements associés à chaque type d'hydrocarbure et à chaque scénario ont été compilées à partir de diverses sources, il n'a pas été possible, dans les délais impartis pour ce projet, de procéder à une analyse approfondie de la documentation et à une vérification approfondie des informations. Ainsi, les informations sur le devenir et le comportement des hydrocarbures ainsi que les effets attendus des hydrocarbures associés aux scénarios présentés doivent être considérés comme des « règles empiriques » générales. Les utilisateurs de ces informations doivent savoir que les hydrocarbures varient considérablement, même au sein d'un type d'hydrocarbure en particulier, et que de nombreux facteurs influencent le comportement d'un hydrocarbure dans l'environnement. Il est donc difficile de garantir que les informations sur le devenir et le comportement des hydrocarbures et les effets attendus des hydrocarbures s'appliqueront à toutes les situations entrant dans le cadre des paramètres des scénarios présentés, et les observations sur l'eau du devenir et du comportement des hydrocarbures devraient guider la prise de décision dès qu'elles sont disponibles au cours d'un déversement.

#### *Diesel et essence*

La modélisation dans différentes conditions a montré qu'une grande partie du diesel et de l'essence s'évapore en quelques heures, un processus accéléré par des températures plus chaudes et une énergie des vagues plus élevée. Les deux produits pénètrent dans les sédiments, le diesel adhérant également à la surface des sédiments dans un état plus altéré. Alors que l'évaporation réduit l'exposition aux hydrocarbures de nombreux organismes, l'évaporation des composants plus légers peut avoir un effet sur les espèces respirant l'air comme les mammifères marins (Harvey et Dalheim 1994).

#### *Mazout C*

La vitesse d'atmosphérisation de mazout C était la plus rapide dans les eaux chaudes agitées et la plus lente dans les eaux froides calmes. Au fur et à mesure que le mazout C vieillit, on a constaté que les pertes dues à l'évaporation et à la dissolution augmentaient la densité et la viscosité au fil du temps. L'atmosphérisation devait être la plus rapide au cours des deux à cinq premiers jours, en fonction des conditions environnementales. Le stade flottant serait le plus court dans des conditions difficiles et chaudes. Compte tenu de la viscosité élevée du mazout C, en particulier après atmosphérisation, l'encrassement des fourrures isolantes, des structures d'alimentation et des structures respiratoires est particulièrement préoccupant avec ce type d'hydrocarbure.

#### *Bitume dilué*

L'atmosphérisation initiale du bitume dilué se produit en quelques heures lorsque le diluant léger s'évapore. Ensuite, l'atmosphérisation de la fraction la plus lourde est très limitée. Dans des conditions de haute énergie, les gouttelettes peuvent être poussées sous l'eau et former des agrégats d'hydrocarbures et de particules dans la colonne d'eau dans les zones à forte concentration de particules et être soumises à une flottabilité négative. Après une première

atmosphérisation, le bitume dilué forme une couche visqueuse et collante lorsqu'il s'échoue sur le rivage. L'effet sur les espèces dont l'isolation dépend de la fourrure et sur les espèces dont les structures respiratoires et d'alimentation par filtration sont complexes est particulièrement préoccupant.

### **Considérations relatives à la planification de la préparation et de l'intervention en cas de déversement d'hydrocarbures**

Le Cadre national (Thornborough et al. 2017) et son application dans le Pacifique (Hannah et al. 2017) constituent une méthode transparente et reproductible en vue d'évaluer la vulnérabilité relative des sous-groupes d'espèces sur la base de la biologie des organismes relevant du mandat du MPO. Les mises à jour présentées ici fournissent des informations plus détaillées et intègrent des références supplémentaires.

La notation des trois types d'hydrocarbures a permis de réduire de quinze le nombre de sous-groupes dans la catégorie de vulnérabilité élevée pour le diesel et l'essence, et de sept le nombre de sous-groupes pour le mazout C et le bitume dilué, par rapport à la mise à jour de 2022 pour tous les types d'hydrocarbures (MPO 2023). Les notes de vulnérabilité actualisées présentées ici permettent l'établissement d'un ordre de priorités plus nuancé et mieux éclairé concernant les espèces sensibles lors d'un déversement d'hydrocarbures dans les eaux de la Colombie-Britannique. Les résultats obtenus guident l'intervention du MPO dans l'Unité environnementale, où les priorités du MPO sont combinées à d'autres connaissances écologiques et aux priorités archéologiques, culturelles et socio-économiques d'autres partenaires, afin de classer par ordre de priorité les zones à protéger et les stratégies de nettoyage les plus appropriées.

Comme nous l'avons indiqué dans la section précédente, la liste des sous-groupes très vulnérables présentée ici est surtout applicable dans les premières heures d'une intervention, avant que le produit ne subisse une atmosphérisation importante. Une fois que les hydrocarbures ont subi une atmosphérisation importante, le cadre de vulnérabilité actualisé pour tous les types d'hydrocarbures (MPO 2023) constitue l'orientation la plus appropriée.

Il convient de noter que les justifications des critères de sensibilité contiennent une multitude d'informations précises sur le diesel et l'essence, le mazout C et le bitume dilué, qui peuvent être utiles aux intervenants tout au long du cycle d'intervention et d'assainissement d'un déversement, quel que soit le temps écoulé ou le degré d'atmosphérisation. Une description complète des justifications de la notation et des références se trouve dans les deux documents de recherche du SCAS qui appliquent un cadre d'évaluation de la vulnérabilité des composants biologiques à trois catégories d'hydrocarbures (diesel et essence<sup>1</sup>, mazout C<sup>2</sup>, et bitume dilué<sup>2</sup>).

Ce cadre est particulièrement utile pour les espèces sur lesquelles l'information sur leurs vulnérabilités est limitée ou inexistante et qui, de ce fait, ne figurent sur aucune liste de conservation. C'est le cas d'une grande majorité de plantes, d'invertébrés et de poissons marins.

### **Limites/Sources d'incertitude**

Il est important de noter que cet outil n'est pas conçu en tant que méthode unique d'établissement de l'ordre de priorité des zones à protéger en cas de déversement d'hydrocarbures, car il ne tient pas compte des valeurs culturelles ou socio-économiques des espèces ou des groupes d'espèces. Lors d'un déversement, d'autres directions du MPO, des organismes extérieurs et les Premières Nations fournissent ces informations, qui sont toutes combinées en vue de la prise de décision au sein de l'Unité environnementale.

Par ailleurs, si l'état de conservation a été pris en compte dans le cadre des critères de rétablissement, il n'a pas prévalu sur le reste de la notation. Par exemple, les épaulards résidents du sud, une espèce en voie de disparition, ont obtenu une note de 6, soit une vulnérabilité moyenne. Cependant, quelle que soit leur note de vulnérabilité totale, Pêches et Océans Canada a pour mandat de protéger les espèces dont la conservation est préoccupante et leur accorderait donc une priorité de protection.

Le critère de la sensibilité aux produits chimiques (dégradation attribuable à la toxicité) a été particulièrement difficile à évaluer dans le cadre. Des difficultés sont apparues lors de l'évaluation de ce critère en raison de l'étendue de la documentation, des méthodologies variées et souvent décrites de manière insuffisante, et de la caractérisation chimique incohérente, voire absente. La sensibilité aux produits chimiques est très nuancée, de sorte qu'elle ne peut pas être facilement prise en compte dans un système de notation binaire. Par conséquent, tous les sous-groupes ont reçu la note de précaution de 1 (1\*) pour ce critère, à moins que des preuves suffisantes n'aient été trouvées pour leur donner la note 1; cependant, le cadre ne donne aucune indication sur la manière dont un sous-groupe peut être noté 0. À cela s'ajoute l'incertitude supplémentaire liée au fait que, par exemple, la composition du bitume dilué est susceptible de varier selon les saisons et les années. Une fois que le bitume dilué (ou tout autre pétrole brut) pénètre dans l'environnement, sa composition commence rapidement à changer sous l'effet des processus d'atmosphérisation.

Lors de la prochaine révision du cadre, l'inclusion de la sensibilité aux produits chimiques devrait être réévaluée. Actuellement, l'évaluation de la sensibilité aux produits chimiques ne permet pas de différencier les sous-groupes, car toutes les espèces ont été évaluées comme étant également sensibles. Il existe des outils permettant de classer les espèces en fonction de leur sensibilité aiguë aux hydrocarbures (par exemple, la charge corporelle critique de lipides cibles, les modèles d'estimation des corrélations interspécifiques, les distributions de la sensibilité des espèces), qui pourraient être utilisés en l'absence de données spécifiques et qui permettraient de différencier la sensibilité entre les sous-groupes. Une solution appropriée pourrait consister à adapter une approche fondée sur le poids de la preuve à la notation. Par exemple, cette approche a été appliquée au recensement des dangers par le Centre international de recherche sur le cancer, où la quantité et la force des preuves sont évaluées, puis le danger est classé dans le groupe 1 (cancérogène pour l'homme), le groupe 2A (probablement cancérogène pour l'homme), le groupe 2B (peut-être cancérogène pour l'homme) ou le groupe 3 (inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme). En fournissant un moyen transparent d'évaluer les preuves de la sensibilité aux produits chimiques au-delà d'un 0 ou d'un 1, ce cadre aura une plus grande utilité pour aider à orienter les décisions d'intervention en cas de déversement en fournissant des informations dans l'analyse des avantages environnementaux nets (AAEN) ou dans le processus d'évaluation de l'atténuation de l'incidence du déversement.

Le cadre est fortement axé sur le cycle de vie de l'organisme (8 des 10 points possibles sont liés aux caractéristiques du cycle de vie), et la sensibilité à l'hydrocarbure, ou l'absence de sensibilité, est sous-représentée dans la note totale. Si la plupart des résultats de l'évaluation de la vulnérabilité sont conformes à la documentation, la zostère est un exemple de sous-groupe pour lequel la note de vulnérabilité totale produite par le cadre diffère des effets généralement observés après un déversement d'hydrocarbures. La zostère (zone intertidale>plantes vasculaires>habitat non consolidé à énergie faible à modérée>herbes marines) a été jugée très vulnérable pour les trois types d'hydrocarbures (7/10 pour le diesel et l'essence et 8/10 pour le mazout C et le bitume dilué). Bien qu'il existe des preuves d'une altération de la photosynthèse (par exemple, Runcie et al. 2004), plusieurs études n'ont pas

révélé d'effets significatifs (par exemple, Fonseca et al. 2017), même après quatre semaines d'exposition expérimentale (Banning 2010). Pour les prochaines mises à jour, il serait utile d'équilibrer la pondération de la sensibilité avec les caractéristiques du cycle de vie (critères d'exposition et de rétablissement) dans la méthode du cadre d'évaluation de la vulnérabilité afin de mieux saisir l'influence de la sensibilité, ou son absence. Il serait également utile d'inclure des scénarios supplémentaires de modélisation du devenir et du comportement afin de mieux comprendre la variabilité régionale et saisonnière. Par exemple, l'inclusion de différentes salinités permettrait de saisir les variations saisonnières de l'apport d'eau douce.

## CONCLUSIONS ET AVIS

Le cadre de vulnérabilité dans le Pacifique de 2017 (Hannah et al. 2017) a été adapté et mis à jour de manière à prendre en compte la vulnérabilité à trois types d'hydrocarbures différents : le diesel et l'essence, le mazout C et le bitume dilué, et limité à la phase initiale d'un déversement d'hydrocarbures avant l'atmosphérisation.

La modélisation du devenir et du comportement des hydrocarbures a été utilisée afin d'estimer le moment où l'atmosphérisation se produirait et les conditions dans lesquelles elle se produirait, et donc l'ampleur de la phase initiale d'un déversement, lorsque les propriétés chimiques et physiques des hydrocarbures n'ont pas changé et que les hydrocarbures flottent principalement. Les résultats présentés ici s'appliquent surtout à la phase initiale de l'intervention en cas de déversement d'hydrocarbures. Une fois que les hydrocarbures ont été altérés et que leurs propriétés ont changé, les notes de vulnérabilité mises à jour pour tous les types d'hydrocarbures (MPO 2023) doivent être consultées afin de faciliter la prise de décision.

Dans l'ensemble, l'évaluation de la vulnérabilité pour des types d'hydrocarbures en particulier a permis d'obtenir des notes plus nuancées et moins élevées pour un certain nombre de groupes d'espèces. En particulier, des différences ont été observées entre les résultats obtenus pour le diesel et l'essence par rapport au mazout C et au bitume dilué. Ces différences sont en grande partie attribuables à un comportement mécanique différent. En effet, le diesel et l'essence n'adhèrent pas autant aux surfaces, ce qui réduit l'étouffement, mais pénètrent dans les sédiments. Le mazout C et le bitume dilué sont plus visqueux et collent aux surfaces, étouffent les espèces ou obstruent les structures d'alimentation. En outre, étant donné que nous n'avons pris en compte que les hydrocarbures frais, aucun effet de l'immersion d'hydrocarbures n'a été pris en compte, ce qui a entraîné des notes plus faibles pour les groupes infratridaux.

Les prévisions du modèle ADIOS indiquent que le taux d'atmosphérisation est le plus élevé pour tous les produits dans les eaux chaudes agitées et le plus lent dans les eaux froides calmes. On a constaté que les pertes attribuables à l'évaporation et à la dissolution augmentaient la densité et la viscosité de tous les produits au fil du temps. C'est l'essence qui s'altère le plus (jusqu'à 100 %) au cours de la période considérée dans ce cadre, tandis que le diesel s'altère plus lentement. Le bitume dilué s'altère rapidement dans les deux heures qui suivent le déversement, mais le taux d'atmosphérisation diminue ensuite au fur et à mesure que le composant diluant disparaît. L'atmosphérisation du mazout C est la plus lente de tous les produits visés par ce cadre, et plus de 90 % du produit subsiste dans des conditions calmes estivales ou hivernales. Pour tous les types d'hydrocarbures, la phase de flottaison sera la plus courte dans des conditions difficiles et chaudes.

Sur la base des prévisions de la modélisation ADIOS, la liste des sous-groupes très vulnérables déterminée pour chaque type d'hydrocarbure est la plus applicable dans les six à dix-huit heures suivant un déversement de diesel, dans la première heure suivant un déversement d'essence, dans les deux à cinq jours suivant un déversement de mazout C, et dans les deux à

douze heures suivant un déversement de bitume dilué. Lorsque les conditions environnementales sont telles qu'une atmosphérisation importante est probable, ou si un laps de temps suffisant s'est écoulé, les hydrocarbures se comportent différemment, et la liste des sous-groupes très vulnérables résultant de la mise à jour de 2022 pour tous les types d'hydrocarbures (MPO 2023) serait la plus applicable.

La vulnérabilité aux différents types d'hydrocarbures pourrait être davantage distinguée si les différences de sensibilité aux produits chimiques pouvaient être mieux saisies. Actuellement, le critère de sensibilité aux produits chimiques ne permet pas de saisir l'ampleur des effets (par exemple, les effets aigus, indirects et cumulatifs) et de délimiter de manière appropriée les différences de vulnérabilité entre les types d'hydrocarbures. Nous recommandons que, pour les futures mises à jour et applications, des experts externes procèdent à un examen approfondi de la manière d'inclure la sensibilité aux produits chimiques d'une manière pratique et plus significative.

Compte tenu de l'augmentation constante de la documentation pouvant servir à l'évaluation de la vulnérabilité, ainsi que de l'évolution des pratiques de transport maritime (par exemple, le passage du mazout C au mazout C à faible teneur en soufre), il est recommandé d'actualiser l'évaluation tous les cinq ans.

**LISTE DES PARTICIPANTS DE LA RÉUNION**

<b>Nom</b>	<b>Prénom</b>	<b>Organisme d'appartenance</b>
Anderson	Erika	Centre des avis scientifiques du MPO, région du Pacifique
Black	Tyler	Université de Guelph
Carrier	Aline	Nation des Toquahts
de Jourdan	Benjamin	Centre des sciences de la mer Huntsman
Dubetz	Cory	Secteur des sciences du MPO
Finney	Jessica	Secteur des sciences du MPO
Gartner	Heidi	Secteur des sciences du MPO
Greig	Ryan	Secteur des sciences du MPO
Hamer	Adrian	Secteur des sciences du MPO
Hannah	Lucie	Secteur des sciences du MPO
Hawryshyn	Jessica	Programme de protection du poisson et de son habitat du MPO
Herborg	Matthias	Secteur des sciences du MPO
Hunt	Karen	Secteur des sciences du MPO
Jeffery	Sharon	Secteur des sciences du MPO
Johnston	Cynthia	Programme de protection du poisson et de son habitat du MPO
Lessard	Joanne	Secteur des sciences du MPO
Muirhead-Vert	Yvonne	Centre des avis scientifiques du MPO, région du Pacifique
Nichol	Linda	Secteur des sciences du MPO
O	Miriam	Secteur des sciences du MPO
Porszt	Erin	Secteur des sciences du MPO
Prosser	Ryan	Université de Guelph
Punt	Monique	Triox Environmental Emergencies
Robinson	Brian	Secteur des sciences du MPO
St. Germain	Candice	Secteur des sciences du MPO
Willie	Megan	Environnement et Changement climatique Canada

## SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de la réunion par les pairs régional du 12 au 15 décembre 2022 sur l'application d'un cadre pour évaluer la vulnérabilité des composants biologiques au diesel et à l'essence, au bunker C et au bitume dilué dans l'environnement marin de la région du Pacifique. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada](#).

- Banning, J. 2010. The effects of diluted bitumen on marine intertidal vascular plants. mémoire de maîtrise : Simon Fraser University, British Columbia, Canada.
- D'Ozouville, L., Hayes, M.O., Gundlach, E.R., Sexton, W.J., and Michel, J. 1979. Occurrence of oil in offshore bottom sediments at the *Amoco Cadiz* oil spill site. *In* International Oil Spill Conference Proceedings, March 1979. Vol. 1979, No. 1, pp. 187–192.
- Etkin, D.S., French-McCay, D. and Michel, J. 2007. Review of the State-Of-The-Art on Modeling Interactions between Spilled Oil and Shorelines for the Development of Algorithms for Oil Spill Risk Analysis Modeling. MMS OCS Study 2007-063. Environmental Research Consulting, Cortlandt Manor, New York. MMS Contract 0106PO39962. 157 pp.
- Exxon Valdez Oil Spill Trustee Council. 2009. Legacy of an oil spill 20 years after the Exxon Valdez.
- Fonseca, M.S., Piniak, G.A., Cosentino-Manning, N. 2017. Susceptibility of seagrass to oil spills: A case study with eelgrass, *Zostera marina* in San Francisco Bay, USA. *Marine pollution bulletin*, 115(1), 29–38.
- Gunster, D.G., Gillis, C.A., Bonnevie, N.L., Abel., T.B., and Wenning, R.J. 1993. Petroleum and hazardous chemical spills in Newark Bay, New Jersey, U.S.A. from 1982 to 1991. *Environ. Pollut.*, 82, 245.
- Hannah, L., St. Germain, C., Jeffery, S., Patton, S., and O, M. 2017. [Application of a framework to assess vulnerability of biological components to ship-source oil spills in the marine environment in the Pacific Region](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/057. ix + 145 p.
- Harvey, J.T. and Dahlheim, M.E. 1994. Cetaceans in oil. In: Loughlin, T.R. (ed) *Marine mammals and the 'Exxon Valdez'*. Academic Press, San Diego, CA, pp. 257–264.
- Jeffery, S., Hannah, L.C., Herborg, L.M, and St. Germain, C. 2023. [Oil spill response planning in Pacific Canada: A tool for identifying vulnerable marine biota](#). *Marine Policy* (184).
- Kennish, M.J. 1996. *Practical Handbook of Estuarine and Marine Pollution*. CRC Press, Boca Raton, FL. 554 pp.
- MPO. 2017. [Application d'un Cadre d'évaluation de la vulnérabilité des composantes biologiques du milieu marin de la région du Pacifique aux déversements d'hydrocarbures provenant de navires](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2017/013.
- MPO. 2023. [2022 Mise à jour sur l'application d'un cadre d'évaluation de la vulnérabilité des composantes biologiques du milieu marin de la région du Pacifique aux déversements d'hydrocarbures provenant de navires](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Rép. des Sci. 2023/016.
- NOAA. No date. Automated Data Inquiry for Oil Spills (ADIOS) oil weathering model. Office and Response and Restoration Website.

- Neff, J.M., Stout, S.A. and Gunster, D.G. 2005. [Ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments: Identifying sources and ecological hazard](#). Integrated Environmental Assessment and Management, 1: 22–33.
- Niu, H., Li, Z., Lee, K., Kepkey, P., and Mullin, J.V. 2010. The Effects of Waves and Currents on the Transport of Oil-Mineral Aggregates (OMAs) and their Potential Risks to Benthic Organisms, Proceedings of the Thirty-third AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 623–634.
- Patel, A.B., Shaikh, S., Jain, K.R., Desai, C., and Madamwar, D. 2020. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Sources, Toxicity, and Remediation Approaches. *Frontiers in Microbiology*. 11:562813.
- Punt, M.M., 2020. Oil Property Information for the National Oil Vulnerability Framework. Internal report prepared for Fisheries and Oceans Canada, March 2020.
- Reich, D.A., Balouskus, R., French McCay, D., Fontenault, J., Rowe, J., Singer-Leavitt, Z., Etkin, D.S., Michel, J., Nixon, Z., Boring, C., McBrien, M., and Hay, B. 2014. Assessment of marine oil spill risk and environmental vulnerability for the state of Alaska. Prepared by RPS ASA, Environmental Research Consulting, Research Planning, Inc., and The Louis Berger Group, Inc. for the National Oceanic and Atmospheric Administration. NOAA Contract Number: WC133F-11-CQ-0002.
- Runcie, J., Macinnis-Ng, C., and Ralph, P. 2004. The toxic effects of petrochemicals on seagrasses. Literature review. Prepared for the Australian Maritime Safety Authority.
- Thornborough, K., Hannah, L., St. Germain, C., and O, M. 2017. [A framework to assess vulnerability of biological components to ship-source oil spills in the marine environment](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/038. vi + 24 p.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). 2003. Characteristics of Spilled Oils, Fuels, and Petroleum Products: Composition and Properties of Selected Oils (Ed. Z. Wang, B.P. Hollebhone, M. Fingas, B. Fieldhouse, L. Sigouin, M. Landriault, P. Smith, J. Noonan, and G. Thouin). EPA/600/R-03/072 July 2003.

**CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :**

Centre des avis scientifiques (CAS)  
Région du Pacifique  
Pêches et Océans Canada  
3190, chemin Hammond Bay  
Nanaimo (C.-B.) V9T 6N7

Courriel : [DFO.PacificCSA-CASPacifique.MPO@dfo-mpo.gc.ca](mailto:DFO.PacificCSA-CASPacifique.MPO@dfo-mpo.gc.ca)

Adresse Internet : [www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/](http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/)

ISSN 1919-5117

ISBN 978-0-660-71436-3 Cat No. Fs70-6/2024-024F-PDF

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du  
ministère des Pêches et des Océans, 2024



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2024. Application d'un cadre pour évaluer la vulnérabilité des composantes biologiques à trois catégories d'hydrocarbures (diésel et essence; mazout C; bitume dilué) dans l'environnement marin de la région du Pacifique. Secr. can. des avis. sci. du MPO. Avis sci. 2024/024.

*Also available in English:*

*DFO. 2024. Application of a Framework to Assess Vulnerability of Biological Components to Three Oil Categories (Diesel and Gasoline, Bunker C, and Diluted Bitumen) in the Marine Environment in the Pacific Region. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2024/024.*