

**EXAMEN DES DOCUMENTS DE LA TRANCHE 2 SOUMIS PAR L'ADMINISTRATION PORTUAIRE  
VANCOUVER FRASER CONCERNANT LE TERMINAL 2 À ROBERTS BANK**

Organisme scientifique indépendant sur l'incidence environnementale du projet du Terminal 2 à  
Roberts Bank

Avril 2025

## **MEMBRES DE L'ORGANISME SCIENTIFIQUE INDÉPENDANT**

*Présidente* : Mona Nemer, conseillère scientifique en chef du Canada

David M. Paterson, Scottish Oceans Institute, School of Biology, Université de St Andrews, Royaume-Uni

Hannah S. Wauchope, School of GeoSciences, Université d'Édimbourg, Édimbourg, Royaume-Uni

Margaret Rubega, Département d'écologie et de biologie évolutive, université du Connecticut, États-Unis

Kelly Munkittrick, Département des sciences biologiques, Université de Calgary, Canada

Jean-Michel Weber, professeur émérite de biologie, Département de biologie, Université d'Ottawa, Canada

## **BUREAU DE LA CONSEILLÈRE SCIENTIFIQUE EN CHEF**

C. Scott Findlay, chercheur en résidence

## 1. CONTEXTE

L'Administration portuaire Vancouver Fraser (APVF) a proposé la construction et l'exploitation d'un nouveau terminal maritime à conteneurs avec trois postes de mouillage à Roberts Bank, dans la ville de Delta, en Colombie-Britannique (ci-après le « projet du Terminal 2 »). Parmi ses conclusions, le comité d'examen constitué pour le projet du Terminal 2 n'a pas été en mesure de déterminer avec certitude si le projet aurait un effet négatif sur la production, dans le biofilm, d'acides gras polyinsaturés, une composante nutritionnelle potentiellement essentielle du biofilm consommé par les bécasseaux d'Alaska et d'autres oiseaux de rivage lors de leurs haltes migratoires à Roberts Bank. Par conséquent, la commission d'examen n'a pu déterminer avec un degré de confiance raisonnable si le projet aurait ou non un effet négatif sur le bécasseau d'Alaska.

Le projet du Terminal 2 a reçu une approbation ministérielle conditionnelle le 20 avril 2023. Conformément à la condition 10.4.1 de la déclaration de décision concernant ce projet, un organisme scientifique indépendant (OSI) a été créé par la conseillère scientifique en chef du Canada afin d'examiner les plans de surveillance et de suivi du promoteur relatifs à la salinité, au biofilm et au bécasseau d'Alaska.

La première tranche de documents soumise par l'APVF à l'OSI comprenait les éléments suivants :

- Programme de suivi du bécasseau d'Alaska – conception du programme de surveillance
- Annexe A : conception de l'étude de la salinité
- Annexe B : conception de l'étude sur la disponibilité du biofilm
- Annexe C : conception de l'étude sur le régime alimentaire du bécasseau d'Alaska

Le rapport d'examen de la tranche 1 (T1) produit par l'OSI a été soumis à l'Agence d'évaluation d'impact du Canada (AEIC) le 18 octobre 2024. Il comprenait ce qui suit :

- Une description explicite des critères utilisés par l'OSI pour évaluer les études proposées.
- Une description explicite des contraintes liées aux programmes de suivi en général et des répercussions de ces contraintes par rapport aux inférences sur les effets du projet du Terminal 2.
- Un ensemble de recommandations qui, si elles étaient mises en œuvre, amélioreraient, selon l'OSI, une ou plusieurs des études de suivi proposées qui sont décrites dans la T1.

Le présent rapport fournit un examen complet de la deuxième tranche (T2) de documents soumis par l'APVF, y compris les éléments suivants :

- Annexe D : conception des composants de l'étude de la prise d'énergie du bécasseau de l'Alaska
- Annexe E : conception des composantes de l'étude sur la distribution et l'intensité de la recherche de nourriture du bécasseau d'Alaska
- Annexe F : conception des composantes de l'étude d'abondance du bécasseau d'Alaska

L'OSI examinera également l'approche de gestion adaptative (AGA) du bécasseau d'Alaska qui sera élaborée à la suite de la conception définitive du programme de surveillance et de la mise en œuvre de la collecte de données avant la construction. L'AGA se concentrera : sur la caractérisation des seuils au-delà desquels un effet indésirable potentiel sur le biofilm ou le bécasseau d'Alaska est susceptible de se produire en raison des changements de salinité causés par le projet du Terminal 2; sur une description du processus de gestion adaptative qui sera mis en œuvre si les seuils sont dépassés; ainsi que sur des mesures de gestion adaptative potentielles qui pourraient être mises en œuvre pour atténuer tout dépassement des seuils.

Comme la T1, la T2 ne comprend pas de renseignements sur les seuils de gestion adaptative. Par conséquent, cet examen porte sur l'ensemble des paramètres et méthodes de surveillance proposés par le promoteur pour le bécasseau de l'Alaska en ce qui concerne la prise d'énergie, la recherche de nourriture et l'abondance, conformément à la condition 10.4.1 de la déclaration de décision.

En préparant l'examen, l'OSI a également pris note de ce qui suit :

- La lettre du promoteur accompagnant les documents de la tranche 2
- La réponse écrite du promoteur à l'examen par l'OSI des documents de la tranche 1 (réponse du promoteur à l'examen de la T1)
- La communication par courriel entre le promoteur et l'AEIC en réponse à plusieurs questions soulevées par l'OSI au cours de son examen de la T2 (réponse du promoteur à l'examen de la T2)

## **2. CONSTATATIONS GÉNÉRALES ET RECOMMANDATIONS**

Les constatations pertinentes pour plusieurs des études de la T2 proposées sont décrites dans la présente section. Les constatations propres à chaque étude sont présentées aux sections 3 à 5 ci-dessous.

### **2.1. Suivi, viabilité de la population du bécasseau d'Alaska et répercussions sur l'AGA du projet du Terminal 2**

La condition 10.4 de la déclaration de décision exige que l'APVF élabore un programme de suivi pour vérifier les changements prévus causés par le projet en ce qui a trait à la salinité, au

biofilm et au bécasseau d'Alaska. Comme il est indiqué dans la T1 (p. 14), l'incidence que pourrait avoir le projet du Terminal 2 sur la *viabilité de la population*<sup>1</sup> du bécasseau d'Alaska par la voie hypothétique salinité-biofilm-bécasseau d'Alaska constitue une préoccupation ultime. Pourtant, toute étude de suivi du projet du Terminal 2 ne peut caractériser que les effets *locaux* (figure 1). Il s'ensuit que toute étude de suivi repose implicitement sur l'hypothèse que les effets locaux permettent de prédire (du moins dans une certaine mesure) les effets au niveau de la population. Autrement dit, à partir des résultats (locaux) du suivi, il faut produire des inférences sur les effets du projet au niveau de la population. Mais ces inférences ne sont pas explicites dans la T1 ou la T2.

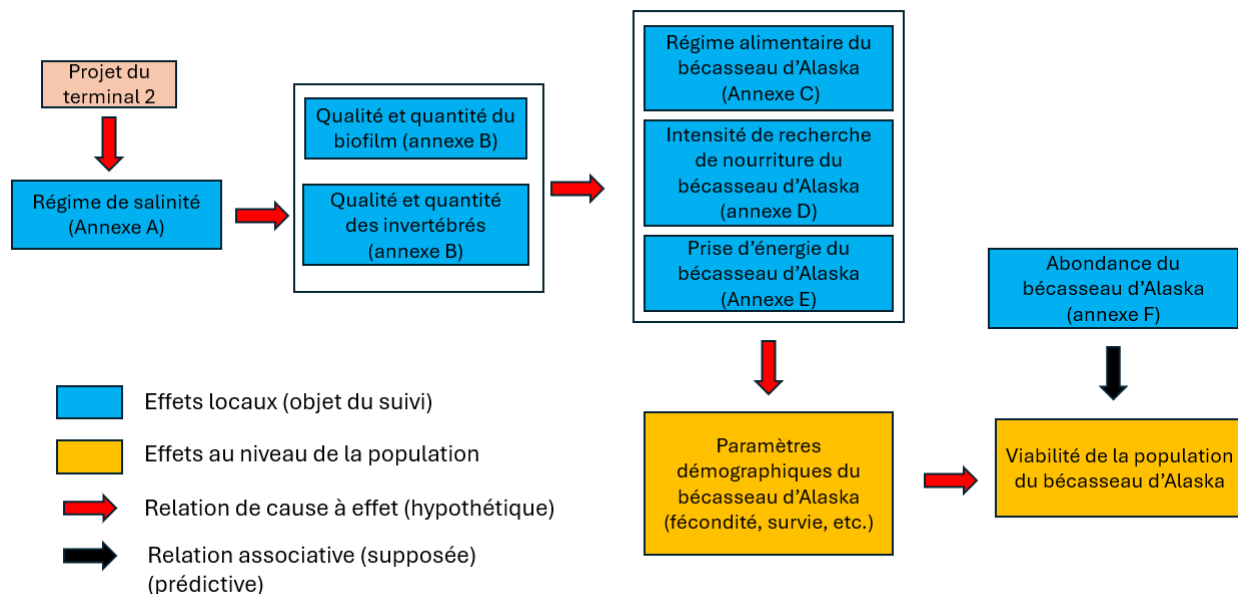


Figure 1. Voie hypothétique salinité-biofilm-bécasseau d'Alaska.

Une fois qu'un plan d'étude de suivi est mis en œuvre, l'ensemble de tous les résultats *possibles* peut être caractérisé avant que tout résultat *réel* ne soit connu<sup>2</sup>. L'ensemble de tous les résultats possibles peut ensuite être classé en sous-ensembles distincts selon les conclusions qui seraient tirées au sujet des effets correspondants à l'échelle de la population (figure 2).

<sup>1</sup> Environnement et Changement climatique Canada le souligne explicitement dans son examen de la réponse du promoteur aux demandes de renseignements supplémentaires, disponible à l'adresse <https://iaac-aeic.gc.ca/050/evaluations/proj/80054/contributions/id/56952?culture=fr-CA> (en anglais seulement, consulté le 18 mars 2025).

<sup>2</sup> Par exemple, dans l'étude proposée sur la recherche de nourriture du bécasseau d'Alaska (annexe E), l'ensemble des résultats possibles correspond aux concentrations moyennes possibles de métabolites chez le bécasseau d'Alaska avant (B) et après (A) la construction du projet dans les zones de contrôle (C) et d'impact (I) proposées. Ainsi, chaque ensemble de quatre niveaux moyens de métabolites (et la précision connexe) définit un résultat de surveillance possible.

**Recommandation 1 :** Une fois l'ensemble des études de suivi finalisé, et *avant le début de la collecte des données*, le promoteur doit procéder à une classification claire et explicite de tous les résultats de suivi possibles dans les catégories suivantes :

- Résultats menant à la conclusion qu'il n'y a pas d'effets négatifs au niveau de la population du bécasseau d'Alaska.
- Résultats menant à la conclusion qu'il existe des effets négatifs au niveau de la population du bécasseau d'Alaska, mais dont l'ampleur ne nécessite pas de mesures d'atténuation supplémentaires.
- Résultats menant à la conclusion qu'il existe des effets négatifs au niveau de la population du bécasseau d'Alaska d'une ampleur exigeant la prise des mesures d'atténuation supplémentaires  $M_1$ .
- Résultats menant à la conclusion qu'il existe des effets négatifs au niveau de la population du bécasseau d'Alaska d'une ampleur exigeant la prise des mesures d'atténuation supplémentaires  $M_1$  et  $M_2$ .
- ... (au besoin, p. ex. résultats menant à la conclusion qu'il existe des effets négatifs au niveau de la population du bécasseau d'Alaska d'une ampleur exigeant la prise des mesures d'atténuation supplémentaires  $M_1$ ,  $M_2$  et  $M_3$ , et ainsi de suite).

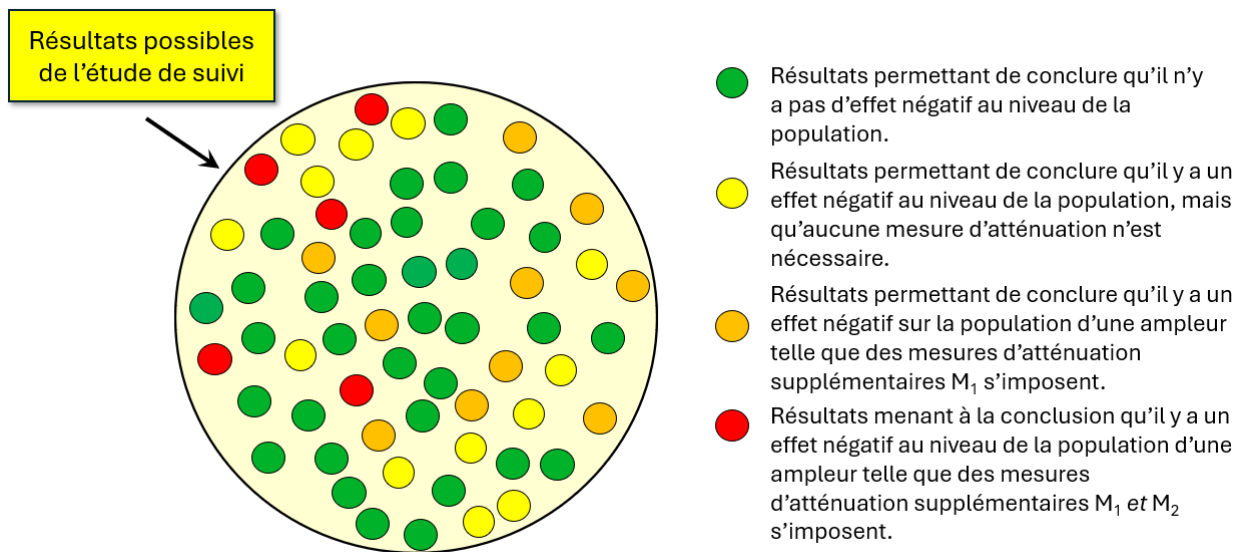


Figure 2 : Classification des résultats de suivi possibles. Dans cette figure, les cercles représentent différents résultats de surveillance *possibles*, la couleur du cercle indiquant la conclusion qui serait tirée du résultat au sujet des effets au niveau de la population. Par exemple, si un résultat de surveillance indiqué en vert était obtenu, la conclusion serait qu'il n'y a pas d'effet négatif au niveau de la population du bécasseau d'Alaska. En revanche, si un résultat indiqué en orange était obtenu, la conclusion serait qu'il y a eu un effet négatif au niveau de la population d'une ampleur telle que des mesures d'atténuation  $M_1$  sont nécessaires.

Il est noté que les limites de chaque catégorie de résultats de suivi possibles illustrées à la figure 2 *sont les seuils de gestion adaptative*. Par exemple, la « limite » qui sépare l'ensemble des résultats (en jaune dans la figure 2) menant à la conclusion d'un effet négatif pour lequel aucune mesure d'atténuation supplémentaire n'est requise de l'ensemble des résultats (en orange) menant à la conclusion que des mesures d'atténuation supplémentaires  $M_1$  sont requises *représente le premier seuil de gestion adaptative*. De la même façon, la limite qui sépare l'ensemble des résultats indiqués en orange de celui en rouge à la figure 2 *représente le deuxième seuil de gestion adaptative*. Le promoteur indique que la prochaine AGA pour le bécasseau d'Alaska permettra de déterminer ces seuils de surveillance et les mesures d'atténuation connexes en fonction d'une « approche du poids de la preuve » [Traduction] (réponse du promoteur à l'examen de la T1, p. 5).

**Recommandation 2 :** Les seuils de gestion adaptative pour les paramètres de surveillance doivent correspondre aux limites des catégories décrites dans la recommandation 1. Dans la mesure où ces seuils sont calculés selon une approche fondée sur le poids de la preuve, la caractérisation doit préciser (1) quels éléments de preuve ont été utilisés; (2) quelle force probante a été attribuée à un élément donné et comment cette force a été évaluée; et (3) quelles valeurs ont été attribuées à chaque élément pour caractériser les seuils de surveillance, et sur quelle base ces valeurs ont été déterminées.

## 2.2. Sélection des zones de contrôle et d'impact

Les trois études de la T2 proposent d'utiliser une zone d'impact (Brunswick) et deux zones de contrôle (Westham et la baie Boundary). Dans l'examen de la T1 de l'OSI, des préoccupations ont été soulevées au sujet de la pertinence des deux zones (voir par exemple les recommandations 3.1.1 et 3.1.2 de l'examen de la T1 de l'OSI). En réponse, le promoteur déclare qu'il :

« ... à l'intention de mettre en œuvre les recommandations de l'OSI concernant l'identification et la comparaison des facteurs influant sur les paramètres de surveillance au sein de la zone d'impact et des zones de contrôle afin d'évaluer la pertinence des zones de contrôle. De plus, dans le cadre du programme de surveillance, la pertinence des zones de contrôle sera réévaluée en fonction des résultats de la collecte de données préalable à la construction. » [traduction] (lettre du promoteur accompagnant les documents de la tranche 2, p. 2)

Malheureusement, aucune information n'est fournie dans la T2 concernant la conception, les méthodes de terrain ou de laboratoire, l'analyse statistique, etc., des études proposées sur le caractère convenable. On ne fournit pas non plus d'information sur les éléments cruciaux suivants : (1) la façon dont les résultats de l'étude permettront d'établir le caractère convenable de Westham et/ou de la baie Boundary *en tant que sites de contrôle pour des paramètres de surveillance précis*, et (2) les répercussions qu'auront cette évaluation du caractère convenable sur les *inférences concernant les effets du projet* issues de l'étude de contrôle d'impact avant-

après (de l'anglais before-after control-impact, ci-après « étude de type BACI ») proposée. Cette information n'a pas été fournie malgré la recommandation selon laquelle :

« la pertinence des zones de contrôle sélectionnées pour chaque composante de l'étude doit être évaluée de manière exhaustive, de même que les répercussions de cette évaluation pour : a) le choix de la conception expérimentale; et b) les inférences sur les effets (ou l'absence d'effets) du projet. » (examen de la T1 de l'OSI, recommandation 1, p. 8)

Dans l'examen de la T1 de l'OSI, des préoccupations particulières ont été exprimées au sujet de la pertinence de la zone de contrôle Westham pour l'étude des effets du projet sur le bécasseau d'Alaska, en partie en raison des déplacements possibles du bécasseau d'Alaska entre la zone de contrôle et Westham. Les mouvements entre ces zones et le manque d'indépendance qui en résulte signifient qu'une hypothèse fondamentale des études de type BACI (et même des études contrôle-impact [CI]) pourrait bien être non valide. Le manque d'indépendance réduit considérablement les chances de détecter les effets liés au projet.

Dans la T2, le promoteur aborde la possibilité que les oiseaux se déplacent entre les zones de contrôle et d'impact :

« Afin de réduire au minimum la possibilité d'un double dénombrement des volées d'oiseaux de rivage qui peuvent se déplacer d'une zone à l'autre, et d'une surestimation conséquente de l'utilisation, les relevés dans les zones d'impact et de contrôle seront effectués simultanément, dans la mesure du possible. » [Traduction] (annexe D, p. 9).

Il affirme également que : « Des données de télémétrie récentes indiquent que les mouvements du bécasseau d'Alaska entre les zones de l'estuaire du fleuve Fraser pendant la migration vers le nord demeurent relativement faibles et que le bécasseau d'Alaska tend à rester dans une zone de l'estuaire (p. ex. la zone d'impact, l'île Westham, la baie Boundary) pour se nourrir pendant un cycle de marée semi-diurne. » [Traduction] (annexe D, p. 7). Cependant, aucun résultat de la télémétrie n'est inclus dans la T2 ni dans la réponse du promoteur à l'examen de la T1.

**Recommandation 3** : Le promoteur doit fournir des preuves solides de la pertinence de tous les sites de contrôle proposés pour les études décrites dans les T1 et T2. Dans le cas du biofilm, ces données proviennent d'études sur le caractère convenable comme celles suggérées dans l'examen de la T1 de l'OSI<sup>3</sup>. La conception, les méthodes utilisées sur le terrain et les méthodes d'analyse, la procédure d'échantillonnage, etc., de ces études doivent faire l'objet d'un examen indépendant, tout comme les résultats. La description des études sur le caractère convenable proposées doit également fournir des

---

<sup>3</sup> Un critère important est celui des « tendances parallèles », c'est-à-dire que la dynamique temporelle d'un paramètre de surveillance donné devrait être semblable entre la zone d'impact et le site de contrôle candidat avant la phase initiale de construction (voir, p. ex. Wauchope, H.S. et coll. (2021). Evaluating impact using time-series data. *Trends in Ecology and Evolution* 36:196-205 (DOI : 10.1016/j.tree.2020.11.001).

renseignements détaillés sur les éléments suivants, *compte tenu* des résultats des données de terrain : (1) la façon dont le caractère convenable de Westham et/ou de la baie Boundary *en tant que sites de contrôle* pour *chaque* paramètre de surveillance sélectionné sera présumé, et (2) les répercussions de cette évaluation du caractère convenable sur les *inférences concernant les effets du projet*. Dans le cas des études du bécasseau d'Alaska proposées dans la T2, ces preuves d'indépendance proviendraient d'une étude conçue spécifiquement pour estimer les taux de mouvement de l'oiseau parmi les zones de contrôle et d'impact proposées pendant la période de migration printanière.

**Recommandation 4.1** : À moins qu'il ne puisse être démontré de façon convaincante que, pour un paramètre de surveillance *donné*, au moins une des zones de contrôle proposées (Westham ou baie Boundary) est hautement appropriée et est suffisamment indépendante par rapport à la zone d'impact, l'étude de type BACI doit être abandonnée et remplacée par une étude « avant-après » (BA). Si on procède à une étude BA, les seuils de gestion adaptative décrits dans la recommandation 1 doivent tenir compte de la conception d'étude révisée.

**Recommandation 4.2** : Si, pour un paramètre de surveillance donné, il est décidé de remplacer l'étude de type BACI proposée par une étude BA, le nombre d'années antérieures au projet devrait passer de deux à trois afin d'augmenter la probabilité de détecter les effets du projet<sup>4</sup> [voir le paragraphe 2.3(1) ci-dessous].

Bien que le promoteur note (à juste titre) que, en règle générale, les études de type BACI sont supérieures aux études BA ou CI, cette conclusion suppose que les zones de contrôle sélectionnées sont appropriées pour les contrôles. Si les contrôles sont *légitimes*, les études de type BACI produisent des conclusions plus solides que les études BA quant à l'influence *du* projet sur les changements détectés au fil du temps (c.-à-d. entre la période antérieure et la période postérieure au projet) aux sites d'impact. En d'autres termes, les études de type BACI tentent de résoudre le problème d'« attribution » en vérifiant si le changement entre la période antérieure et la période postérieure au projet sur les sites d'impact est différent de celui observé sur les sites de contrôle. Mais plus le manque d'indépendance est grand, plus les tendances en matière de contrôle et d'impact seront semblables au fil du temps, et plus la probabilité de détecter un effet réel du projet sera faible.

### 2.3. Analyse des données

---

<sup>4</sup> En ce qui concerne les paramètres de surveillance décrits à l'annexe F, les données de trois années postérieures au projet peuvent également être insuffisantes pour détecter les effets du projet. Si, par exemple, le projet du Terminal 2 entraînait principalement une augmentation de la mortalité des bécasseaux d'Alaska âgés de douze à 24 mois, le déclin de la population résulterait de la perte de reproduction pendant ce qui aurait été leur deuxième, troisième année, et ainsi de suite. Il serait donc peu probable que cette augmentation soit détectée avant au moins trois ans.

Dans l'examen de la T1 de l'OSI, il est recommandé que le promoteur soit plus explicite et précis quant aux modèles qui seront adaptés aux données de surveillance, à la façon dont ils seront adaptés et à la manière dont les inférences sur les effets du projet seront déduites à partir des modèles adaptés. La T2 fournit plus de détails, et il semble que des renseignements supplémentaires sur la modélisation statistique seront fournis (réponse du promoteur à l'examen de la T1, p. 3, 9, etc.).

Les renseignements supplémentaires fournis dans la T2 renforcent la suggestion initiale selon laquelle il faudrait adopter une approche autre que l'approche fréquentiste conventionnelle basée sur les tests d'hypothèse concernant l'inférence sur les effets du projet (voir aussi la T1, recommandation 2.3.3.3) :

- (1) *Problèmes liés à la détection des changements.* Dans le cas de tous les paramètres de surveillance, l'évaluation des effets du projet sera fondée sur deux années de données antérieures au projet et deux ou trois années de données postérieures au projet. Il est bien connu que la capacité des études de type BACI et BA de détecter les effets d'un projet diminue lorsque le nombre d'années échantillonnées est faible, en particulier lorsque les systèmes présentent une variabilité interannuelle naturelle importante. Dans le cadre des études de type BACI et BA concernant l'abondance du bécasseau d'Alaska, c'est le nombre d'années qui correspond au nombre de répétitions indépendantes effectuées pour détecter les changements. Les observations répétées sur plusieurs jours consécutifs durant une même année (annexe F) et les observations faites dans divers secteurs d'une même zone (annexe E) ne sont pas des répétitions indépendantes. Par conséquent, lors des études de suivi proposées, il existe un risque important d'erreur de type 2 si une approche d'inférence (fréquentiste) basée sur les tests d'hypothèse est adoptée.
- (2) *Problèmes liés à la taille de l'échantillon :* les données des T1 et T2 comprennent des renseignements sur la taille requise de l'échantillon. Comme souligné dans l'examen de la T1 de l'OSI, dans le cadre des approches d'inférence basées sur les tests d'hypothèse, les taux d'erreur de type 1 et de type 2 visés ainsi que la taille minimale d'effet détectable visée doivent être précisés dans les estimations de taille minimale de l'échantillon. Le fait de modifier l'un ou l'autre de ces trois paramètres influe sur la taille minimale de l'échantillon requise pour détecter un effet d'une importance conforme à la taille minimale d'effet détectable. Le corollaire est qu'une approche (fréquentiste) basée sur les tests d'hypothèse ne *permettra pas de détecter* les effets plus *petits* que la taille minimale d'effet détectable, ce qui pourrait donner lieu à des conclusions erronées.

Le promoteur fait remarquer que « ... la taille des échantillons utilisés dans les composantes de l'étude de suivi du bécasseau d'Alaska repose sur l'utilisation d'études de type BACI et d'analyses de puissance connexes ayant la capacité de détecter un effet maximal de 50 % avec une puissance de 80 % et un coefficient alpha de 0,05 (lorsque des données multisites et pluriannuelles sont disponibles) » [Traduction] (réponse du promoteur à l'examen de la T1, p. 4).

Une taille minimale d'effet détectable de 0,50 signifie que toute variation inférieure à 50 % d'un paramètre de surveillance sur une période de deux ans antérieure au projet et de deux à trois ans postérieure au projet (c.-à-d. quatre à cinq années au total) ne serait pas détectée. Pourtant, des changements considérablement plus petits que 50 % peuvent être biologiquement significatifs, surtout s'ils se produisent sur une période aussi courte.

D'autre part, il existe une importante variabilité interannuelle « naturelle » dans bon nombre des paramètres de surveillance sélectionnés. Par conséquent, une taille minimale d'effet détectable faible augmente le risque de détecter des changements d'une année à l'autre qui reflètent la variabilité naturelle plutôt que les effets du projet. Même si une taille minimale d'effet détectable importante réduit les risques d'attribution d'un effet observé au projet alors qu'il reflète simplement la variabilité naturelle, elle réduit également les chances de détecter des effets plus faibles du projet qui, sur de longues périodes, peuvent entraîner des effets négatifs cumulatifs importants.

Ces facteurs portent fortement à croire que, peu importe la conception de l'étude qui est finalement adoptée, une approche conventionnelle (fréquentiste) d'inférence sur les effets du projet basée sur les tests d'hypothèse n'est pas recommandée. Il convient plutôt d'estimer la probabilité d'un effet d'une taille donnée pour un projet à partir d'un ensemble de modèles ajustés plausibles utilisant des approches bayésiennes pour l'estimation des paramètres.

**Recommandation 5 :** Pour tous les paramètres de surveillance, les inférences sur les effets du projet doivent être fondées sur (a) la spécification d'un ensemble de modèles empiriques *plausibles*; (b) la sélection de modèles à l'aide d'approches bayésiennes; et (c) l'estimation bayésienne des effets du projet et des intervalles de crédibilité connexes en fonction des modèles sélectionnés. Lorsqu'il est possible d'inclure plusieurs variables explicatives, il convient de décrire clairement les raisons qui ont motivé le choix d'un ensemble de modèles plausibles, ainsi que les fondements et la ou les procédures de sélection de ces modèles. Dans les cas où plusieurs modèles permettent d'obtenir des ajustements comparables, l'estimation des effets du projet doit être fondée sur la moyenne des modèles. Il est fortement recommandé d'utiliser des méthodes bayésiennes pour estimer directement la probabilité que surviennent des effets du projet d'une ampleur donnée en fonction des modèles sélectionnés<sup>5</sup>.

Dans sa réponse à l'examen de la T1, le promoteur déclare que : « ... Toutefois, un modèle BACI de vérification des hypothèses est proposé, car il devrait permettre de répondre directement et efficacement à la question clé concernant les effets du projet (c.-à-d. la question de savoir s'il y a un changement différentiel lié au projet dans la réponse moyenne au fil du temps entre les zones d'impact et de contrôle). » [Traduction] (p.15)

---

<sup>5</sup> Voir par exemple : Conner, M.M., Saunders, W.C., Bouwes, N. *et coll.* Evaluating impacts using a BACI design, ratios, and a Bayesian approach with a focus on restoration. *Environ Monit Assess* **188**, 555 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5526-6>.

Cependant, la question clé n'est pas de savoir si le projet a des effets, mais plutôt *de déterminer la probabilité que l'effet réel du projet soit d'une certaine ampleur, en fonction des données de suivi*. Les approches bayésiennes de la sélection du modèle et de l'estimation des paramètres des modèles permettent une estimation explicite et directe de cette probabilité, contrairement aux approches conventionnelles basées sur les tests d'hypothèse.

Le suivi vise à fournir une estimation impartiale (et, espérons-le, raisonnablement précise) de la *probabilité que surviennent des effets néfastes (avérés) d'une taille donnée*. Il est clair que l'exactitude et la précision de ces estimations dépendent des *données recueillies*, de la *façon* dont elles sont recueillies et de *l'endroit* où elles le sont. *L'analyse des données elle-même* a également une incidence. Par exemple, une étude récente<sup>6</sup> présente des preuves convaincantes d'une variation substantielle dans les résultats de l'analyse statistique (et les inférences qui en découlent) d'un *même ensemble de données* selon le choix de l'analyse statistique, c'est-à-dire selon les modèles qui ont été ajustés, *la façon* dont ils l'ont été, et *la base* sur laquelle on a tiré des conclusions au sujet des inférences sur les effets. Les auteurs concluent que :

« L'existence d'une variabilité importante entre les résultats de l'analyse soulève des questions importantes sur la façon dont les écologistes et les biologistes évolutionnistes doivent interpréter les résultats publiés et mener des analyses à l'avenir. » [Traduction] (p. 3)

Cela met en lumière l'importance d'établir les méthodes et procédures d'analyse des données qui seront utilisées, ainsi que la façon dont les résultats obtenus seront utilisés pour déduire les effets du projet *avant la collecte des données de surveillance elles-mêmes*. Le risque de sélection *ultérieure* des méthodes et procédures pour obtenir les résultats visés et les inférences connexes sur les effets du projet s'en trouve ainsi réduit (voir l'examen de la T1 de l'OSI, recommandation 4).

**Recommandation 6 :** En ce qui concerne toutes les études de suivi proposées, les méthodes et procédures statistiques doivent être décrites en détail *avant la collecte des données de surveillance*. Les éléments suivants doivent être décrits clairement : (1) chaque variable dépendante et indépendante, y compris le type de variable (nominale, ordinale, intervalle ou rapport), les unités de mesure connexes et (dans le cas des variables indépendantes) la justification de leur inclusion; (2) l'ensemble des modèles admissibles auxquels les données seront ajustées, et la base sur laquelle cet ensemble a été caractérisé; (3) la ou des méthodes utilisées pour ajuster les modèles et la justification pertinente; (4) la manière dont le ou les modèles ajustés finaux seront sélectionnés; (5) les résultats de l'exercice d'ajustement et de sélection des modèles qui seront communiqués; et (6) la base sur laquelle les effets du projet

---

<sup>6</sup> Gould, E., Fraser, H.S., Parker, T.H. *et coll.* Same data, different analysts: variation in effect sizes due to analytical decisions in ecology and evolutionary biology. *BMC Biol* 23, 35 (2025). <https://doi.org/10.1186/s12915-024-02101-x>.

(ou leur absence) seront déduits des modèles adaptés finaux. Si une approche bayésienne de l'ajustement et de la sélection des modèles est adoptée (voir la recommandation 5 ci-dessus), les rapports sur les résultats des modèles doivent être conformes aux pratiques exemplaires actuelles en matière d'analyse bayésienne<sup>7,8</sup>.

Selon la T2 et la réponse du promoteur à l'examen de la T1, le promoteur a pris des mesures importantes pour améliorer la description de la modélisation des résultats du suivi, conformément à la recommandation 4 dans la T1. Néanmoins, certains éléments importants énumérés ci-dessus font encore défaut.

La recommandation 5 a d'importantes répercussions sur l'estimation de la puissance statistique. Dans l'estimation bayésienne, le but de l'analyse de la puissance est le plus souvent d'obtenir une certaine précision pour un paramètre estimé<sup>9</sup> (p. ex. une estimation de l'effet du projet « réel » sur un paramètre de surveillance particulier).

**Recommandation 7 :** Si la recommandation 5 est adoptée, les calculs de la taille de l'échantillon (qui jusqu'à présent étaient fondés sur une approche d'inférence fréquentiste basée sur les tests d'hypothèse) de toutes les études proposées doivent être fondés sur des intervalles visés crédibles pour les estimations des effets du projet.

En réponse à la recommandation 5 de la T1, le promoteur déclare ce qui suit :

« Pour clarifier, la taille des échantillons utilisés dans les composantes de l'étude de suivi du bécasseau d'Alaska repose sur l'utilisation d'études de type BACI et d'analyses de puissance connexes ayant la capacité de détecter un effet maximal de 50 % avec une puissance de 80 % et un coefficient alpha de 0,05 (lorsque des données multisites et pluriannuelles sont disponibles). » [Traduction] (réponse du promoteur à l'examen de la T1, p 4.).

---

<sup>7</sup> Voir par exemple, Kruschke, J.K. Bayesian Analysis Reporting Guidelines. Nat. Hum. Behav. 5, 1282–1291 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41562-021-01177-7>.

<sup>8</sup> La recommandation 5 a également des répercussions sur l'approche de gestion adaptative du projet du Terminal 2. Si une approche bayésienne est adoptée pour estimer la probabilité que survienne un effet du projet d'une taille précise compte tenu des données de surveillance, la fonction de distribution cumulative correspondante peut être utilisée pour définir un seuil de probabilité associé à un ensemble de valeurs seuils des paramètres de surveillance. Par exemple, le déclencheur de la mise en œuvre de mesures d'atténuation supplémentaires  $M_1$  pourrait être le moment où l'estimation bayésienne fondée sur les résultats du suivi indique que la probabilité que la valeur réelle du paramètre de surveillance soit supérieure à  $T_1$  est supérieure à  $P_1$ , tandis que le déclencheur de la mise en œuvre de mesures supplémentaires  $M_2$  pourrait être le moment où la probabilité estimée que la valeur réelle du paramètre de surveillance soit supérieure à  $T_2$  est supérieure à  $P_2$ , etc. Ainsi, dans ce système, chaque seuil de gestion adaptative est caractérisé par une probabilité seuil ( $P_1$ ,  $P_2$ , etc.) et une amplitude seuil connexe du paramètre de surveillance ( $T_1$ ,  $T_2$ , etc.).

<sup>9</sup> Voir par exemple : Kruschke, J.K., Liddell, T.M. The Bayesian New Statistics: Hypothesis testing, estimation, meta-analysis, and power analysis from a Bayesian perspective. Psychon. Bull Rev 25, 178–206 (2018). <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1221-4>.

Une puissance de 80 % correspond à un taux d'erreur de type 2 seuil de 0,2, un taux quatre fois plus élevé que l'erreur de type 1 seuil (0,05). Bien qu'il s'agisse d'un seuil habituel pour le taux d'erreur de type 2, cela ne justifie pas son utilisation dans le contexte du suivi; en particulier pour le suivi de systèmes très variables. Les probabilités de ne pas détecter un effet réel du projet sont plus élevées que celles de faussement détecter un effet lorsqu'il n'y en a pas<sup>10</sup>.

**Recommandation 8** : Si une approche d'inférence basée sur les tests d'hypothèse est utilisée pour tirer des conclusions sur les effets d'un projet (nonobstant la recommandation 5), le promoteur doit fournir une justification claire et convaincante du choix des seuils pour ce qui est des taux d'erreur de type 1 et 2. Plus précisément, une justification claire et convaincante de l'utilisation de seuils distincts pour les taux d'erreur de type 1 et 2.

### ***2.3. Éléments de surveillance supplémentaires***

Les trois études de la T2 proposent un ensemble de composantes de surveillance supplémentaires (voir le tableau 3-2 aux annexes D à F). Ces composantes supplémentaires seront traitées comme des covariables dans les modèles ajustés, ce qui pourrait, au chapitre des paramètres de surveillance, éliminer des éléments causant des variations qui seraient autrement considérées comme des erreurs aléatoires. On suppose que cette réduction de la variation se traduirait par une plus grande capacité à détecter les effets du projet.

Mais cela ne serait le cas que s'il n'y a pas de covariance entre les effets de projet modélisés et les composantes de surveillance supplémentaires proposées. En présence de covariances, il est possible que des modèles très différents (p. ex. ceux qui ont un effet de projet, mais aucune variable explicative supplémentaire, par opposition à ceux qui ont des variables explicatives, mais aucun effet de projet modélisé) aient des ajustements similaires. Comme les inférences sur la probabilité des effets du projet d'une ampleur donnée sont dérivées de modèles ajustés, *l'ensemble de modèles choisi* déterminera ensuite les conclusions sur les effets du projet. Une telle possibilité souligne l'importance des recommandations 5 et 6 et donne lieu à la recommandation suivante :

**Recommandation 9** : La sélection des composantes de surveillance supplémentaires pour une étude particulière doit reposer sur trois critères : (1) la composante est peu susceptible d'être elle-même touchée par le projet; (2) la composante est susceptible de varier entre les zones de contrôle et d'impact; et (3) il existe des preuves indépendantes

---

<sup>10</sup> En particulier, on ne comprend pas bien pourquoi nous devrions être quatre fois plus indulgents si les erreurs sont commises en acceptant une hypothèse nulle fautive (c.-à-d. conclure qu'il n'y a pas d'effet du projet, alors qu'il y en a un) comparativement au rejet d'une hypothèse nulle vraie (p. ex. conclure qu'il y a un effet de projet lorsqu'il n'y en a pas).

d'une association entre la composante et un ou plusieurs paramètres de surveillance sélectionnés pour l'étude en question.

### 3. ÉTUDE DE LA PRISE D'ÉNERGIE DU BÉCASSEAU D'ALASKA (ANNEXE D)

#### 3.1. Conception de l'étude

Le promoteur propose d'utiliser les concentrations de triglycérides plasmatiques et de  $\beta$ -hydroxybutyrate observées chez les bécasseaux d'Alaska capturés dans une zone particulière (de contrôle ou d'impact) comme indicateur des changements de masse, du taux de gain énergétique et des *conditions de l'habitat dans cette zone*. Dans le contexte du suivi du projet du Terminal 2, cette approche revient à supposer, aux fins de l'étude de type BACI proposée, que les métabolites plasmatiques capturés, par exemple, à Brunswick, reflètent les conditions de l'habitat à Brunswick et non, par exemple, à Westham.

Les études citées à l'annexe D, ainsi que d'autres études qui ne sont pas mentionnées, fournissent effectivement des preuves substantielles que les niveaux de métabolites plasmatiques peuvent être utilisés comme indicateurs de la prise d'énergie ou du changement de masse sur le terrain. Toutefois, ces études ne fournissent pas suffisamment de preuves pour justifier l'hypothèse *critique* selon laquelle les concentrations de métabolites plasmatiques observés chez les bécasseaux d'Alaska capturés reflètent la qualité de l'habitat d'alimentation à proximité immédiate de l'endroit où ils ont été capturés (annexe 1).

**Recommandation 10** : En l'absence de preuves convaincantes de mouvements limités entre les trois zones pendant les périodes où les niveaux métabolites plasmatiques sont pertinents (c.-à-d. moins d'une heure environ), le promoteur doit renoncer à utiliser des zones de contrôle pour faire le suivi de la prise d'énergie du bécasseau d'Alaska et opter pour une étude avant-après (voir également la recommandation 4 ci-dessus).

Pendant la haute saison migratoire, 30 bécasseaux d'Alaska seront échantillonnés par zone et par année. Dans la réponse à l'examen de la T2, le promoteur déclare que :

« Dans le volet de l'étude de la prise d'énergie du bécasseau d'Alaska, la taille des échantillons a été déterminée en fonction de la faisabilité de la capture des bécasseaux d'Alaska sur le terrain pendant des périodes de marées particulières. Les programmes de capture précédents ont montré que, compte tenu des défis liés à la capture des bécasseaux d'Alaska à marée basse, la plus grande taille d'échantillon qu'il serait possible d'obtenir de manière constante au cours des années de surveillance serait composée de 30 bécasseaux d'Alaska par zone. C'est pourquoi la décision prudente de maintenir un échantillon de 30 bécasseaux d'Alaska par zone a été prise concernant l'analyse préliminaire de la puissance. » [Traduction]

Ici, la taille de l'échantillon estimée requise *n'est pas* fondée sur une taille minimale d'effet détectable et des taux d'erreur de type 1 et de type 2, comme c'est le cas pour l'abondance

(annexe F) et l'intensité de la recherche de nourriture (annexe E). Ce sont plutôt la taille de l'échantillon et les taux d'erreur de type 1 et 2 visés qui sont précisés afin de générer une estimation (relative) de la taille minimale d'effet détectable se chiffrant à 29 % (voir l'annexe D, figure 5, p. 19).

**Recommandation 11(a)** : Le promoteur doit préciser explicitement que, contrairement au calcul de la taille de l'échantillon pour d'autres études, dans ce cas-ci, le calcul concerne la taille minimale d'effet détectable.

Peu d'information est fournie sur le moment où le bécasseau d'Alaska sera échantillonné pendant la période de migration printanière. De plus, comme il est indiqué à l'annexe D, les concentrations de métabolites plasmatiques peuvent varier considérablement tout au long du cycle diurne. Le promoteur déclare ce qui suit :

« Des efforts seront déployés pour capturer les bécasseaux d'Alaska lorsque les concentrations de triglycérides plasmatiques sont maximales (c.-à-d. après 8 h) (conformément à Seaman et coll. 2006), mais on effectuera également des captures durant les périodes de faible luminosité (c.-à-d. l'aube, le crépuscule) et durant la nuit, si nécessaire, pour accroître l'efficacité en réduisant la visibilité des filets pour les bécasseaux d'Alaska. » [Traduction]

La capture d'oiseaux à des moments aléatoires ne fera qu'accroître la variation des concentrations plasmatiques et diminuer la précision des estimations annuelles.

**Recommandation 11(b)** : Tous les efforts doivent être déployés pour améliorer la précision des estimations annuelles moyennes de métabolites plasmatiques en capturant les oiseaux pendant une période fixe de plusieurs heures après la formation d'une vasière (pour garantir que les oiseaux se soient nourris activement pendant une période relativement constante) et en concentrant les captures pendant la haute saison migratoire.

### **3.2. Paramètres de surveillance**

L'étude proposée utilise les concentrations de triglycérides plasmatiques et de  $\beta$ -hydroxybutyrate comme paramètres de surveillance pour déduire les changements dans la prise d'énergie. Cependant, le triglycéride plasmatique et le  $\beta$ -hydroxybutyrate n'indiquent pas d'autres sources d'énergie potentiellement importantes et nécessaires à la migration du bécasseau d'Alaska. Il existe, par exemple, des preuves que les phospholipides transportent deux fois plus d'énergie que les triglycérides chez le bécasseau d'Alaska pendant la migration printanière<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> Voir, par exemple, la figure 1 de Guglielmo et coll. Plasma and muscle phospholipids are involved in the metabolic response to long-distance migration in a shorebird. *J. Comp. Physiol. B* 172 : 409-417.

**Recommandation 12** : Les concentrations de phospholipides doivent être ajoutées comme paramètre de surveillance dans le cadre de l'étude de la prise d'énergie du bécasseau d'Alaska (annexe D, tableau 3-1).

#### **4. ÉTUDE SUR LA RECHERCHE DE NOURRITURE DU BÉCASSEAU D'ALASKA (ANNEXE E)**

##### **4.1. Conception de l'étude**

L'étude sur la recherche de nourriture du bécasseau d'Alaska propose les mêmes zones de contrôle et d'impact que l'étude de la prise d'énergie (annexe D) et l'étude d'abondance du bécasseau d'Alaska (annexe F). Elle soulève donc les mêmes préoccupations au sujet de l'indépendance et de la pertinence des zones de contrôle et d'impact proposées.

Cependant, le risque de non-dépendance entre les zones de contrôle et d'impact est considérablement plus élevé en ce qui concerne l'abondance du bécasseau d'Alaska (annexe F) et la prise d'énergie (annexe D) que pour l'intensité de la recherche de nourriture (annexe E) en raison du taux de défécation rapide du bécasseau d'Alaska (toutes les 2,2 minutes en moyenne). Si ce taux correspond approximativement au taux de défécation des bécasseaux d'Alaska à Roberts Bank, les excréments refléteront généralement l'activité de recherche de nourriture dans un espace proche et relativement restreint. Cela signifie que les excréments comptés à Brunswick, par exemple, sont beaucoup plus susceptibles de refléter la recherche de nourriture à Brunswick qu'à Westham (et *vice versa*), de sorte que le problème du manque d'indépendance (tel que mentionné ci-dessus pour l'étude décrite à l'annexe D) est réduit.

Comme il a été mentionné précédemment, l'indépendance des zones de contrôle et d'impact est une hypothèse critique qui sous-tend la validité de l'étude de type BACI proposée. Une étude des déplacements des bécasseaux d'Alaska, comme il est suggéré dans la recommandation 3, permettrait d'estimer la répartition des « temps de séjour pour l'alimentation » de cette espèce dans les espaces proches et restreints. Cette information pourrait ensuite être utilisée pour estimer la probabilité qu'un oiseau se déplace d'un endroit à l'autre dans de courts intervalles.

##### **4.2. Paramètres et composantes de surveillance**

L'intensité de la recherche de nourriture est simplement le produit de la densité des déjections et d'une constante. Comme on suppose une constance dans le temps et dans la zone (en fait, à tous les points de vue), les résultats fondés sur l'intensité de la recherche de nourriture (calculés) seront identiques à ceux basés sur les densités de déjections (bruts). Alors, pourquoi utiliser ces résultats?

---

**Recommandation 13** : Le paramètre de surveillance devrait simplement correspondre au nombre de déjections de classe 1 par m<sup>2</sup>.

### ***Analyse statistique***

Dans l'évaluation de l'intensité de la recherche de nourriture, il est proposé que chaque zone soit subdivisée en 10 secteurs. Le manque d'indépendance, non seulement entre les zones d'impact et de contrôle proposées, mais aussi entre les sites ou les secteurs de levé au sein des zones, constitue une préoccupation. D'après les descriptions des modèles fournies, ce facteur n'a pas été pris en compte. Pour tenir compte de ce manque d'indépendance, les modèles doivent être ajustés de sorte qu'ils tiennent compte de l'autocorrélation spatiale.

Dans la T1, des préoccupations ont été soulevées au sujet du problème d'autocorrélation spatiale dans le contexte de l'étude proposée sur la salinité (annexe A). Le promoteur, dans sa réponse à l'examen de la T1, précise que :

« L'autocorrélation spatiale et temporelle pourrait être importante lorsqu'on tient compte des mesures de salinité recueillies aux 11 stations de surveillance. Cependant, compte tenu du soin apporté au choix des emplacements de surveillance, on ne s'attend pas à détecter une autocorrélation spatiale. On préparera un variogramme empirique à titre de première estimation du modèle de variogramme afin d'évaluer l'autocorrélation potentielle et de déterminer si un ajustement de la conception de l'étude est nécessaire. »  
[Traduction] (p. 10).

L'autocorrélation spatiale peut influencer les estimations de l'ampleur des effets du projet (dans le cas d'une approche bayésienne) ou la probabilité de détecter un effet du projet (selon une approche fréquentiste basée sur les tests d'hypothèse). D'après la modélisation de la salinité (annexe A), l'effet le plus important du projet devrait se trouver dans les secteurs BR4, 5, 6 et 7 (voir annexe A, figure 3.1). Des effets moindres devraient être détectés dans les secteurs BR1, 2, 9 et 10. Étant donné que ces derniers sont directement adjacents aux secteurs de contrôle W15 et 16 de Westham, il n'est pas déraisonnable de s'attendre à détecter des effets affaiblis à ces endroits. Ce gradient spatial des effets dans les zones de contrôle et d'impact peut réduire la probabilité de détecter un effet du projet sur l'intensité de la recherche de nourriture.

**Recommandation 14** : L'ensemble de modèles adaptés aux données sur l'intensité de la recherche de nourriture doit comprendre des modèles intégrant les effets de l'autocorrélation spatiale.

## **5. ÉTUDE D'ABONDANCE DU BÉCASSEAU D'ALASKA (ANNEXE F)**

### **5.1. Conception de l'étude**

En ce qui concerne les études décrites aux annexes A à C de la T1, et D et E de la T2, tous les paramètres de surveillance sélectionnés sont des indicateurs des effets *locaux* (hypothétiques) du projet du Terminal 2. Comme indiqué dans la recommandation 1, les effets estimés du projet sur ces paramètres de surveillance doivent être associés à des conclusions explicites au sujet des effets à l'échelle de la population (voir la figure 2).

Mais l'*abondance* locale du bécasseau d'Alaska est qualitativement différente des autres paramètres. S'il existait des zones de contrôle appropriées, une étude de type BACI pourrait être utilisée pour estimer les effets du Terminal 2 sur la répartition spatiale des bécasseaux d'Alaska migrateurs à Roberts Bank en comparant les tendances temporelles de l'abondance locale dans les zones de contrôle et d'impact, comme proposé à l'annexe F. Il est cependant difficile de déduire les effets au niveau de la population à partir des changements dans la répartition spatiale des bécasseaux d'Alaska à Roberts Bank. Comme expliqué à l'annexe 2, cette déduction suppose une fidélité extrême d'une année à l'autre des bécasseaux d'Alaska migrateurs à Roberts Bank, et l'annexe F ne présente aucun élément de preuve justifiant cette hypothèse critique.

**Recommandation 15** : En l'absence de preuves solides de la fidélité à la halte migratoire de Roberts Bank à l'échelle spatiale appropriée, l'étude de type BACI proposée à l'annexe F doit être abandonnée. Il faudrait plutôt s'efforcer de produire des estimations annuelles de l'abondance locale du bécasseau d'Alaska à Roberts Bank afin de pouvoir tirer des conclusions sur l'évolution de la taille de la population du bécasseau d'Alaska au fil du temps à l'aide d'une étude BA dans le cadre de laquelle des relevés seront effectués dans les trois zones.

Toutes les recommandations qui suivent sont formulées en supposant que la surveillance annuelle de l'abondance du bécasseau d'Alaska à Roberts Bank se poursuivra.

## 5.2. Paramètres et composantes de surveillance

À l'annexe F, il est proposé que chaque zone (Brunswick, Westham, etc.) soit divisée en deux secteurs isolés, et qu'un responsable soit attribué à chaque secteur par jour de relevé. Cela signifie qu'il n'y aura qu'un seul dénombrement total par zone (vraisemblablement fondé sur la somme des décomptes de chaque responsable de relevé), et par conséquent, aucune façon d'estimer l'erreur de mesure.

**Recommandation 16(a)** : Chaque jour de relevé, trois responsables indépendants devraient effectuer un relevé de chaque secteur dans chaque zone. Pour chaque zone, chaque jour, cela permettra d'obtenir trois décomptes indépendants par secteur, soit un par responsable. Il sera ainsi possible d'estimer l'erreur de mesure ainsi que les effets de l'observation. Pour chaque journée de relevé dans chaque zone, les trois responsables

devraient être affectés de manière aléatoire à un secteur de départ et procéder à des relevés jusqu'à l'autre secteur.

Alors qu'on fait souvent appel à deux observateurs indépendants dans le cadre du dénombrement des oiseaux, l'augmentation substantielle de la précision des décomptes quotidiens associée à  $N = 3$  répétitions par secteur et par zone, par rapport à  $N = 2$ , améliorera la capacité à détecter les changements d'abondance à long terme.

Selon l'annexe F, en fonction des 10 dénombrements quotidiens totaux proposés par zone, on obtient une estimation du nombre total d'oiseaux utilisant le site pendant la période de migration en procédant comme suit :

- (1) Pour chaque jour et chaque zone de relevé, estimer la proportion d'oiseaux qui sont des bécasseaux d'Alaska et multiplier le nombre total d'oiseaux par cette proportion.
- (2) Utiliser les dénombrements quotidiens et les proportions pour estimer le nombre de bécasseaux d'Alaska le jour où aucun relevé n'a été effectué.
- (3) Additionner les estimations du nombre de bécasseaux d'Alaska pour tous les jours de la période de migration et diviser ce nombre par la durée moyenne du séjour afin de tenir compte de la possibilité que des relevés effectués pendant plusieurs jours consécutifs comptabilisent les mêmes oiseaux.

Bien que cette approche ait déjà été utilisée par Drever et coll. :

- (a) comme il n'y a qu'un seul dénombrement de bécasseaux d'Alaska par zone et par jour de relevé, la méthode ne permet pas d'estimer l'erreur de mesure quant aux dénombrements quotidiens.
- (b) L'estimation de la proportion d'oiseaux (dans chaque zone de relevé, un jour donné) qui appartiennent à l'espèce des bécasseaux d'Alaska comporte clairement une erreur, et cette erreur est considérée comme nulle selon la méthode de Drever et coll.
- (c) En produisant des estimations du nombre de bécasseaux d'Alaska pendant les jours où aucun relevé n'est effectué, Drever et coll. ont utilisé des estimations du modèle, même si, selon leurs données, les modèles ajustés comportent une part importante d'incertitude connexe.
- (d) Le nombre quotidien estimé de bécasseaux d'Alaska et les totaux estimatifs de la population sont les sommes, les produits ou les rapports des variables aléatoires pour lesquels les variances d'échantillonnage connexes doivent être calculées<sup>12</sup>. D'après la description publiée, Drever et coll. ne semblent pas avoir fait ces calculs.

---

<sup>12</sup> Une méthode courante consiste à utiliser (au minimum) des développements de Taylor du premier ordre (voir, p. ex. [http://www.senns.uk/Stats\\_Notes/Variance\\_of\\_a\\_ratio.pdf](http://www.senns.uk/Stats_Notes/Variance_of_a_ratio.pdf), en anglais).

Les points (a) à (d) ci-dessus signifient que l'incertitude (imprécision) associée à toute estimation du nombre de bécasseaux d'Alaska présents dans une zone est probablement sous-estimée par la méthode de Drever et coll.

**Recommandation 16 (b) :** La proportion d'oiseaux qui appartiennent à l'espèce des bécasseaux d'Alaska doit être considérée comme un paramètre de surveillance (c.-à-d. ajoutée au tableau 3-1) plutôt qu'une composante de surveillance supplémentaire (c.-à-d. supprimée du tableau 3-2).

**Recommandation 16(c) :** Pour toute estimation de la population totale de bécasseaux d'Alaska (nombre total de jours où sont présents les bécasseaux d'Alaska) à Roberts Bank, il faut tenir compte de toutes les incertitudes pertinentes connexes en veillant à ce que : (1) les relevés quotidiens de l'abondance des bécasseaux d'Alaska fournissent des estimations de l'erreur de mesure (voir la recommandation 16a); (2) les relevés visant à estimer la proportion de bécasseaux d'Alaska dans le dénombrement quotidien des oiseaux de rivage fournissent des estimations du degré de précision<sup>13</sup>; (3) l'incertitude du modèle associée à l'estimation de l'abondance les jours où aucun relevé n'est effectué soit prise en compte; et (4) les estimations comportant des produits, des quotients ou des rapports de variables aléatoires utilisent des méthodes bien établies pour estimer les variances d'échantillonnage connexes.

Comme il a été mentionné ci-dessus, la méthode de Drever et coll. nécessite une estimation de la durée du séjour. À l'annexe F, on suppose que la durée du séjour est constante, non seulement au fil du temps, mais aussi entre les zones de contrôle et d'impact. Toutefois, si le projet du Terminal 2 nuit à la qualité de l'habitat d'alimentation local, il peut également avoir une incidence sur la durée du séjour, par exemple en obligeant les bécasseaux d'Alaska à faire une plus longue escale à Roberts Bank pour constituer les réserves d'énergie nécessaires à leur migration vers le nord. En effet, l'augmentation de la durée du séjour au fil du temps peut entraîner une augmentation des dénombrements quotidiens de bécasseaux d'Alaska, non pas parce que la population de bécasseau d'Alaska a augmenté, mais parce que les oiseaux qui font escale à Roberts Bank y restent plus longtemps.

**Recommandation 16(d) :** La durée du séjour doit être considérée comme un paramètre de surveillance (c.-à-d. ajoutée au tableau 3-1), et une étude de suivi visant à évaluer les changements potentiels dans la durée du séjour doit être conçue et mise en œuvre. Une telle étude imposerait nécessairement le marquage des bécasseaux d'Alaska et l'estimation des temps de séjour en fonction de la vitesse de décroissance des réobservations. Si elle est conçue et mise en œuvre avec soin, la même étude pourrait

---

<sup>13</sup> Il est entre autres possible de prendre, à  $K$  points choisis au hasard dans une zone, des photographies dont le champ de vision ne se chevauche pas, chaque photographie fournissant un décompte du nombre total d'oiseaux de rivage ( $N$ ) et du nombre de bécasseaux d'Alaska ( $n$ ) dans le champ de vision. La relation empirique ajustée entre  $n$  et  $N$  peut ensuite être utilisée pour estimer le nombre de bécasseaux d'Alaska lors des décomptes d'oiseaux de rivage, ainsi de mesurer le degré de précision de l'estimation.

également être utilisée pour évaluer les taux de mouvement entre Westham (Brunswick) et la baie Boundary (voir la recommandation 3 ci-dessus). Les estimations empiriques de la durée du séjour (ainsi que l'imprécision qui y est associée) devraient ensuite être utilisées pour estimer le nombre total de jours où sont présents les oiseaux par an.

Dans le tableau 3.2, le nombre cumulatif de prédateurs aviaires est considéré comme un élément de surveillance supplémentaire. Bien que nous comprenions que la présence de prédateurs aviaires peut avoir une incidence sur le dénombrement des oiseaux de rivage, on ne sait pas trop à quoi fait référence le terme « cumulatif » (plusieurs espèces de prédateurs? au fil du temps?).

**Recommandation 16(e)** : Le nombre de prédateurs aviaires observés pendant la période de relevé doit être comptabilisé par les responsables chaque jour de relevé, dans chaque zone. On obtiendrait ainsi trois estimations indépendantes [une par responsable, voir la recommandation 16(a)] du nombre de prédateurs aviaires par jour de relevé et par zone.

## ANNEXE 1

Le promoteur déclare :

« Des études antérieures menées au début et au milieu des années 1990 ont permis de documenter la grande fidélité au site par les bécasseaux d'Alaska pendant les escales migratoires vers le nord. Durant l'escale, cette espèce se déplace peu de l'emplacement où elle est initialement détectée (Butler et coll., 2002). » [Traduction] (annexe D, p. 7).

Mais Butler et coll. (2002) fournissent peu de preuves concernant la fidélité au site à *une échelle spatiale pertinente pour la situation à Roberts Bank*. Leur étude consistait à marquer les bécasseaux d'Alaska sur l'île Sidney, une petite île située à 30 km du delta du fleuve Fraser, et à consigner le nombre d'entre eux qui ont été revus un jour après le marquage, deux jours après celui-ci, etc. Le document ne fournit pas d'information sur *l'endroit où* les oiseaux ont été marqués sur l'île ni sur *l'endroit où* ils ont été revus, mais, selon la description des méthodes utilisées sur le terrain et la carte qui l'accompagne, il semble que les oiseaux aient pu être revus jusqu'à 3 ou 4 km de l'endroit où ils ont été marqués. De plus, l'île Sidney (étant une île) est une zone d'habitat d'alimentation relativement limitée et isolée pour les bécasseaux d'Alaska. En effet, c'est précisément en raison de l'isolement de cet habitat qu'il a été choisi comme site d'étude, les auteurs notant que :

« La probabilité de revoir un bécasseau marqué dans le vaste delta du fleuve Fraser étant faible, nous avons donc choisi l'île Sidney, située à environ 30 km au sud-ouest du delta du fleuve Fraser. » [Traduction] (p. 104)

Autrement dit, si les oiseaux marqués étaient toujours à proximité de l'île Sidney, ils devraient être observés à nouveau dans une zone d'habitat relativement petite et isolée près de l'endroit où ils ont été marqués. En revanche, cela signifie qu'ils pourraient se trouver n'importe où dans le delta du fleuve Fraser.

Le promoteur ajoute également :

« Peu importe le potentiel de mouvement des bécasseaux d'Alaska entre les zones de contrôle et d'impact (voir la section 2.1), on s'attend à ce que les mesures de la prise d'énergie reflètent la qualité de l'habitat au lieu de capture en raison du taux de renouvellement rapide des métabolites sanguins (voir la section 2.2). Par conséquent, même si certains bécasseaux d'Alaska se déplacent entre les zones d'impact et de contrôle, on s'attend à ce que l'analyse des métabolites sanguins fournisse des mesures quant à la prise d'énergie propres au site. Par exemple, on peut raisonnablement s'attendre à ce que tous les oiseaux capturés et échantillonnés à Westham se soient nourris dans la zone de contrôle de Westham au cours des 10 à 20 minutes précédentes, soit la période pendant laquelle les niveaux de métabolites sanguins reflètent les taux de prise d'énergie (Zajac et coll., 2006). » [Traduction] (annexe D, p. 7).

Cependant, chez les oiseaux, comme chez les homéothermes en général, le taux métabolique du *corps entier* varie selon une fonction puissance de la taille corporelle, avec un exposant estimé entre 0,66 et 0,75. Par conséquent, le taux métabolique *spécifique à la masse* est proportionnel à une fonction puissance dont l'exposant est compris entre [-0,25 et -0,34]. Les travaux de Zajac et coll. portent sur des parulines pesant environ 8 g; le bécasseau d'Alaska adulte pèse entre 22 et 35 g. Comme le bécasseau d'Alaska a une masse corporelle 2 à 4 fois supérieure à celle des parulines de Wilson, un calcul approximatif utilisant un exposant compris entre 0,61 et 0,75 et une taille corporelle comprise entre 22 et 35 g suggère que le taux métabolique spécifique à la masse du bécasseau d'Alaska (de 17 à 38 kJ/jour/kg) est de 2 à 5 fois *plus lent* que celui des parulines de Wilson. Par conséquent, les concentrations de métabolites plasmatiques chez les bécasseaux d'Alaska pourraient bien refléter la prise d'énergie non pas dans un délai de 10 à 20 minutes, mais dans un délai de *20 minutes à 1,5 heure*. Avec des vitesses de vol de 45 à 65 km/h, cela laisserait suffisamment de temps au bécasseau d'Alaska pour se déplacer entre la zone de contrôle de Westham et la zone d'impact de Brunswick des dizaines de fois pendant qu'il se nourrit, et plusieurs fois entre Brunswick et la baie Boundary. Il en résulterait que les métabolites plasmatiques des oiseaux capturés, par exemple, à Brunswick pourraient bien refléter l'alimentation dans deux, voire les trois zones.

Les travaux de Guglielmo et coll. (2002), Zajac et coll. (2006) et Smith et coll. (2021) sont cités comme preuve que les concentrations de triglycérides plasmatiques et de  $\beta$ -hydroxybutyrate sont des indices fiables des changements de masse, du taux de gain énergétique et des conditions de l'habitat dans la zone de capture. Par exemple :

« Les travaux sur le terrain dépendront de la marée, le déploiement des filets japonais devant avoir lieu au moins une heure après la formation des vasières afin de permettre aux bécasseaux de se nourrir, et pour que les niveaux de métabolites plasmatiques s'ajustent et soient représentatifs des conditions de l'habitat de la zone de capture (Guglielmo et coll., 2002; Zajac et coll., 2006). » [Traduction] (annexe D, p. 8).

Bien que les études citées fournissent des preuves substantielles que les concentrations de métabolites plasmatiques peuvent être utilisées sur le terrain comme indicateurs de la prise d'énergie et du changement de masse, elles fournissent peu de preuves que les métabolites plasmatiques ont une valeur prédictive importante *en ce qui concerne la qualité de l'habitat* sur le terrain à la *résolution spatiale requise pour le suivi du projet du Terminal 2 à l'aide d'une étude de type BACI* :

- Guglielmo et coll. (2002) ont comparé les concentrations de métabolites plasmatiques chez les bécasseaux d'Alaska en migration à l'île Sidney et dans la baie Boundary. Ces sites sont à 30 km l'un de l'autre. Le premier est (comme son nom l'indique) une île, sans autre habitat d'alimentation à proximité immédiate. Brunswick et Westham sont immédiatement adjacents l'un à l'autre. Les profils de métabolites qui présentent une certaine valeur prédictive de la qualité de l'habitat sur des sites situés à 30 km de distance ne doivent pas nécessairement avoir la même valeur prédictive pour des sites

séparés d'environ 3 km (ou moins), comme c'est le cas pour les points médians des zones de Westham et celle (immédiatement adjacente) de Brunswick.

- Smith et coll. (2021) ont étudié la relation entre les concentrations de métabolites plasmatiques et les changements dans la masse corporelle chez le petit fuligule dans des conditions contrôlées en laboratoire. Les deux groupes suivants ont été étudiés : 1) jeûne (pas de nourriture pendant la durée du séjour en captivité); 2) alimentation (alimentation manuelle à l'aide d'un mélange de nourriture et d'eau administré par sonde œsophagienne). De fortes corrélations entre les niveaux de métabolites plasmatiques et les changements dans la masse corporelle (perte ou gain) ont en effet été observés. Mais dans cette étude, la variation extrême du régime alimentaire dans des conditions de laboratoire a été spécifiquement conçue pour maximiser la perte ou le gain de masse *afin d'étudier la corrélation avec les niveaux de métabolites plasmatiques*. Cette étude ne fournit aucune preuve que les niveaux de métabolites plasmatiques permettent de prédire la qualité de l'habitat d'alimentation dans la nature, même chez les fuligules, et encore moins chez le bécasseau d'Alaska.
- Comme il a été mentionné ci-dessus, Zajac et coll. (2006) fournissent des preuves convaincantes que les concentrations de métabolites plasmatiques réagissent rapidement (dans un délai de 10 à 20 minutes) à l'apport alimentaire des parulines de Wilson de 8 g. Mais d'après la relation bien décrite entre le taux métabolique et la masse corporelle chez les homéothermes, il y a de bonnes raisons de croire que les temps de réponse pour le bécasseau d'Alaska peuvent être considérablement plus longs.
- Même à grande échelle, la valeur prédictive des niveaux de métabolites plasmatiques par rapport à la qualité de l'habitat d'alimentation *local* n'est pas claire. Par exemple, Williams et coll.<sup>14</sup> (2007) n'ont pu détecter aucune relation de ce genre pour les bécasseaux d'Alaska en migration printanière qui passant par des haltes migratoires à densité de biomasse variable, la plus forte étant plus de dix fois supérieure à la plus faible (voir la figure 5 de l'étude de Williams et coll.).

Compte tenu de ce qui précède, les données probantes sont insuffisantes pour justifier l'hypothèse *critique* selon laquelle les niveaux de métabolites plasmatiques chez les bécasseaux d'Alaska capturés reflètent la qualité de l'habitat d'alimentation à proximité immédiate de l'endroit où ils ont été capturés.

---

<sup>14</sup> Williams, T.D., Warnock, N., Takekawa, J.Y. et M.A. Bishop (2007). Flyway-Scale Variation in Plasma Triglyceride Levels as an Index of Refueling Rate in Spring-Migrating Western Sandpipers. *The Auk* Vol. 124 : 886-897.

## ANNEXE 2

La question est de savoir dans quelle mesure les changements *locaux* de la répartition spatiale des bécasseaux d'Alaska en migration à Roberts Bank, fondés sur l'étude de type BACI proposée, permettent de tirer des conclusions valables au sujet des changements dans l'abondance de cette *population* d'oiseaux. Un point particulièrement inquiétant porte sur le fait que, même si des effets locaux négatifs sont détectés par rapport à d'autres paramètres de surveillance (p. ex. la salinité, le biofilm, l'intensité de la recherche de nourriture du bécasseau d'Alaska), l'absence d'effet détecté sur la répartition spatiale (locale) du bécasseau d'Alaska entre les zones de contrôle et d'impact pourrait être utilisée pour justifier la conclusion voulant que, malgré les effets locaux du projet du Terminal 2 sur certains paramètres de surveillance, il n'a aucun effet sur le résultat qui nous intéresse, à savoir la viabilité de la population du bécasseau d'Alaska (voir figure 1). Une telle conclusion pourrait avoir de profondes répercussions sur, par exemple, la nécessité d'adopter des mesures d'atténuation supplémentaires.

Un effet local détecté sur la répartition spatiale des bécasseaux d'Alaska à Roberts Bank permet-il de prédire les effets sur l'abondance du bécasseau d'Alaska à l'échelle de la *population*?

- (1) Supposons que le projet du Terminal 2 ait un effet négatif sur la population du bécasseau d'Alaska. À moins que les bécasseaux d'Alaska adultes soient extrêmement fidèles à la halte migratoire de Roberts Bank d'une année à l'autre (c.-à-d. que les survivants retournent dans la même zone [p. ex. Brunswick] et ne se rendent pas dans un autre zone [p. ex. baie Boundary ou Westham]), même une diminution spectaculaire de la taille globale de la population ne se refléterait pas dans les différences des tendances locales en matière d'abondance dans les zones contrôlées proposées par rapport aux zones d'impact. Par conséquent, le projet du Terminal 2 pourrait avoir des effets négatifs au niveau de la population, mais l'étude d'abondance locale proposée (BACI) du bécasseau d'Alaska permettrait de conclure qu'il n'y en a pas.
- (2) Supposons que les bécasseaux d'Alaska ne fréquentent pas toujours les mêmes haltes migratoires, qu'une étude de type BACI a été mise en œuvre, que les zones de contrôle étaient *légitimes* et que l'abondance locale des bécasseaux d'Alaska ait diminué avec le temps plus rapidement dans la zone d'impact que dans les zones de contrôle. On pourrait alors en déduire que le projet a eu des effets négatifs sur la population du bécasseau d'Alaska alors que ce n'est pas nécessairement le cas. La différence pourrait simplement refléter le fait qu'avec le temps, la zone d'impact est devenue moins attrayante pour les bécasseaux d'Alaska, qui préfèrent désormais les zones de contrôle (peut-être en raison d'une réduction de la qualité de l'habitat d'alimentation induite par le projet du Terminal 2, ou encore à cause d'un changement de la qualité de l'habitat sans rapport avec ce projet), mais qui sont toujours en mesure d'obtenir des ressources alimentaires suffisantes pour migrer et se reproduire avec succès. Par conséquent, comme dans le scénario (1), les changements locaux détectés à l'aide de l'étude de type BACI proposée pourraient facilement donner lieu à une conclusion erronée au sujet des effets néfastes sur la population.

Le remplacement des études de type BACI par des études BA comme le suggère la recommandation 4 *n'a pas pour effet d'atténuer* les erreurs de déduction associées aux scénarios (1) et (2) ci-dessus si *seule la zone d'impact est étudiée chaque année* dans l'étude BA. Ces erreurs sont atténuées dans une large mesure si les relevés annuels englobent les trois zones, car il suffit alors de vérifier la fidélité d'une année à l'autre à Roberts Bank en *général*, et non dans des sous-zones particulières (Brunswick, Westham, etc.).

La fidélité extrême du bécasseau d'Alaska à la halte migratoire de Roberts Bank est une condition nécessaire, mais non suffisante, pour établir la validité des inférences concernant les changements d'abondance *à l'échelle de la population* de l'espèce fondées sur les changements de l'abondance de l'espèce à Roberts Bank, dans le cas où les changements *locaux* sont constatés par (a) l'étude de type BACI proposée, ou (b) une étude BA axée uniquement sur la zone d'impact de Brunswick. En l'absence de preuve d'une telle fidélité, il n'est pas justifié de tirer des conclusions sur les effets au niveau de la population concernant l'abondance du bécasseau d'Alaska à partir des changements dans la répartition spatiale (locale) de la migration du bécasseau d'Alaska à Roberts Bank (selon une étude de type BACI) ou des changements locaux qui surviennent au fil du temps (selon une étude BA). En revanche, si une grande partie de la population de bécasseaux d'Alaska fréquente la zone de Roberts Bank pendant la migration, alors à partir des changements dans le temps concernant l'abondance locale des bécasseaux d'Alaska *déterminés par les relevés à Brunswick, à Westham et à la baie Boundary collectivement*, il semblerait justifié de tirer des conclusions sur les effets au niveau de la population.