

Estimer le nombre d'échouages de petits cétacés attendu en l'absence de fermeture spatio-temporelle

**Proposition d'une méthodologie par
contrefactuelle**

2024-11-30

Estimer le nombre d'échouages de petits cétacés attendu en l'absence de fermeture spatiotemporelle

AUTHIER Matthieu, BERNHEIM Landry, DARS Cécile, PELTIER Hélène, SPITZ Jérôme

La Rochelle Université

2024/11/21

Rapport technique (version 2)

Citation proposée : Authier, M., Bernheim, L., Dars, C., Peltier, H. & Spitz, J. (2024) Estimer le nombre d'échouages de petits cétacés attendu en l'absence de fermeture spatio-temporelle Proposition d'une méthodologie par contrefactuelle. Rapport technique (version 2). Observatoire Pelagis, UAR 3462, CNRS-LRUniv.

Travaux effectués dans le cadre de la saisine 2024 sur les captures accidentelles de petits cétacés dans le Golfe de Gascogne. Chapitre 2b – Réaliser une étude descriptive en vue de comparer le niveau de risque de capture avant, pendant et après la fermeture spatiotemporelle en 2024 en zone CIEM VIII.

Remerciements

Les auteurs remercient Lugdiwine Burtschell et Isabelle Jusserand pour leur relecture minutieuse et leurs commentaires sur la version 1 de ce rapport.

Acronymes

- EMD : « Earth Mover Distance » ou distance du cantonnier
- RNE : Réseau National Échouages

Estimer le nombre d'échouages de petits cétacés attendu en l'absence de fermeture spatiotemporelle

I. Introduction

Le Conseil d'État, dans son référé du 20/12/2023 (<https://www.conseil-etat.fr/actualites/le-juge-des-referes-du-conseil-d-etat-suspend-les-derogations-a-la-fermeture-de-la-peche-dans-le-golfe-de-gascogne>), a suspendu les clauses dérogatoires à une fermeture de la pêche dans le Golfe de Gascogne (Fig. 1) pour les engins à risque de captures accidentelles de petits cétacés, et notamment des dauphins communs (*Delphinus delphis*). Cette fermeture spatiotemporelle a concerné les engins de plus de 8 mètres et s'est déroulée du 22 janvier 2024 au 20 février 2024 (inclus).

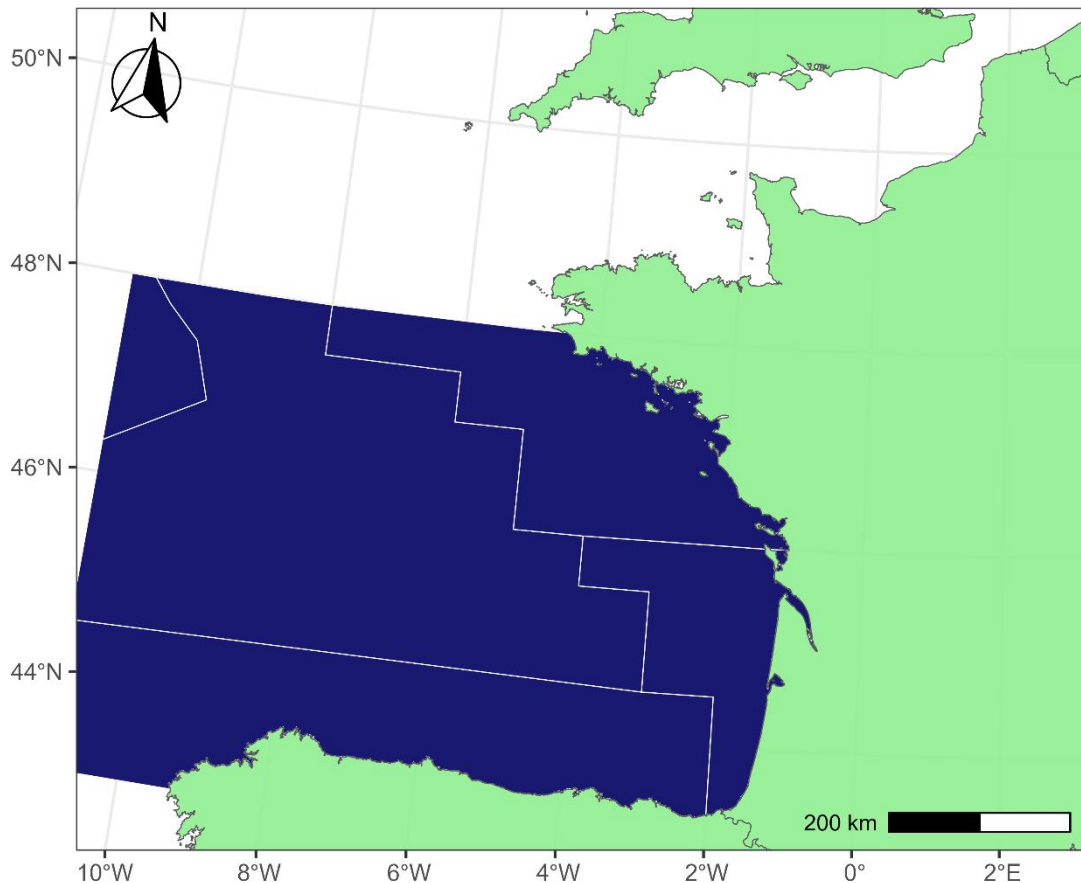


Fig. 1 — Golfe de Gascogne. La zone en bleu foncée matérialise la zone de fermeture pour les eaux sous juridiction de la France. Les lignes blanches symbolisent les limites des sousdivisions de la division 27.8 du CIEM.

Des échouages de petits cétacés ont été signalés au Réseau National Échouages (RNE) avant, pendant et après cette période (Fig. 2)

Estimer le nombre d'échouages de petits cétacés attendu en l'absence de fermeture spatiotemporelle

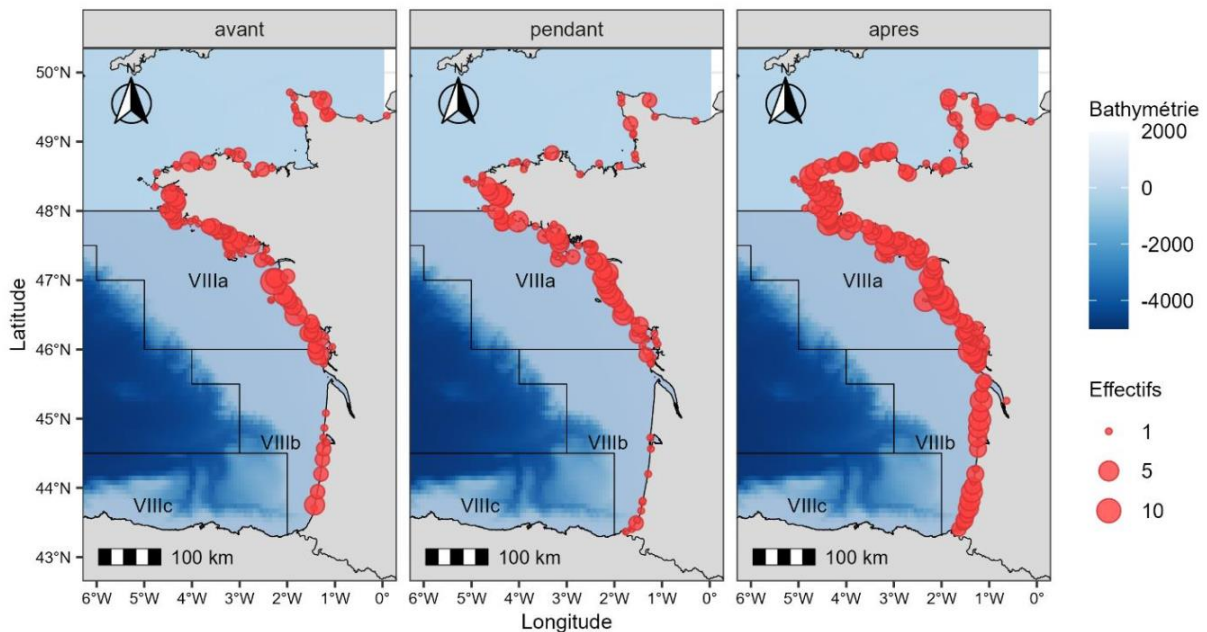


Fig. 2 — Localisation des échouages de petits cétacés avec traces de capture accidentelles en 2024. Avant = 01/12/2023 - 21/01/2024 ; Après = 21/02/2024 - 31/03/2024

Une question légitime est d'estimer objectivement, c'est-à-dire à partir de données et d'une procédure explicite, **quel aurait été le nombre d'échouages en l'absence de la fermeture spatio-temporelle**. Cette question qui implique un passage au conditionnel est une **contre-factuelle**, c'est à dire une question dont la réponse est inobservable par définition puisqu'elle va contre les faits. L'approche par contre-factuelle est largement utilisée dans diverses disciplines (économie, épidémiologie, voire en histoire ; *cf* par exemple Tetlock *et al.* 2006) pour prédire à partir de données et d'hypothèses un état qui n'a pas été observé dans les faits. La justesse de l'approche n'est pas, en général, testable puisqu'il n'existe pas de vérité terrain à laquelle confronter la prédiction contre-factuelle. Néanmoins la plausibilité et la robustesse de la contre-factuelle à différents choix analytiques peut être évaluée.

Dans la suite de ce document, une méthodologie par contre-factuelle est détaillée afin d'estimer à partir des données d'échouages de petits cétacés le « déficit » d'échouages pendant la période de fermeture spatio-temporelle en 2024.

Estimer le nombre d'échouages de petits cétacés attendu en l'absence de fermeture spatiotemporelle

II. Méthodologie

La plausibilité d'une contrefactuelle dépend de nombreux choix analytiques qui visent à garantir autant que possible la comparabilité de la situation présente, dans notre cas la période de fermeture spatio-temporelle de 2024, à d'autres situations. Ces autres situations peuvent être des situations passées, ou d'autres zones d'études. L'idée est d'arriver à construire de manière *post-hoc* une situation témoin qui présente le plus de similitudes possibles à la situation factuelle, à l'exception de la variable d'intérêt (la fermeture spatio-temporelle).

Certains choix sont évidents pour garantir une comparabilité des situations. Ainsi, seules les données échouages des hivers 2017 à 2023 sont considérées. Un hiver est défini comme la période du 01/12 de l'année N-1 au 31/03 de l'année N. Ce choix correspond à une présélection des hivers pour lesquelles les captures accidentelles atteignent des niveaux élevés. L'hiver 2020 est toutefois exclu car correspondant à l'année durant laquelle le premier confinement lié à la pandémie de Covid-19 a perturbé le fonctionnement du RNE, et possiblement le signalement des échouages. En outre, ce confinement a également impacté l'effort de pêche déployé dans le Golfe de Gascogne pour diverses raisons (Ifremer 2021 ; Spagnol et al. (2021), rendant cet hiver incomparable. Le choix de conserver les hivers 2017, 2018, 2019, 2021, 2022 et 2023 repose sur une hypothèse implicite : le risque de capture accidentelle au cours de ces hivers est similaire. Cette hypothèse est faite par nécessité ici car les données d'effort de pêche (nombre d'opérations de pêche, temps d'immersion pour les filets, temps de traîne pour les chaluts, dimensions des engins, etc.) et de présence (distribution) des animaux ne sont pas disponibles pour la tester.

Cette hypothèse, qui pourrait être assouplie si des données pertinentes devenaient disponibles, souligne qu'établir la similitude entre différentes situations va nécessiter des données indépendantes de la comparaison souhaitée (nombre d'échouages) pour être objective. Ces données indépendantes sont qualifiées de **données auxiliaires**.

II.1. Données auxiliaires

La chaîne causale qui aboutit à une capture accidentelle puis un échouage est représentée sur le graphique Fig. 3. Pour que l'échouage d'un animal avec traces de capture advienne, il faut au préalable que des animaux soient présents dans une zone en mer où des activités de pêche avec des engins à risque ont lieu. Cette superposition entre **activité de pêche** et **présence des animaux** peut occasionner des **captures accidentelles** : certains animaux capturés vont **flotter**, d'autres couler. Les cadavres qui flottent sont soumis aux conditions de vent, de marées et de courant dans la zone : ce sont les conditions de **dérive** qui détermineront si un cadavre va atteindre, ou non, une côte et **s'échouer**. Une fois échoué à terre, la carcasse pourra être **signalée** au RNE.

Estimer le nombre d'échouages de petits cétacés attendu en l'absence de fermeture spatiotemporelle

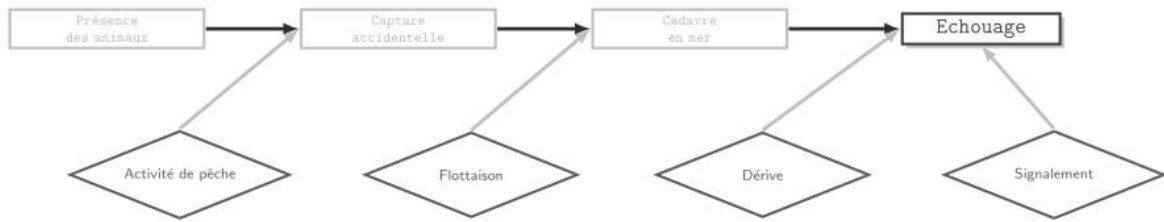


Fig. 3 — Schéma simplifié de la chaîne causale sous-jacente au processus d'échouage de mammifères marins morts par capture accidentelle dans un engin de pêche.

La fermeture spatio-temporelle induit une modification de l'activité de pêche (Fig. 4). Construire une contrefactuelle implique ici de garantir que les conditions qui régissent la probabilité de flotter, de la dérive et du signalement restent constantes, de sorte que la différence attendue résulte uniquement de la diminution de l'activité de pêche. La probabilité de flotter et le taux de signalement peuvent être aisément considérés comme invariants entre les hivers (en excluant l'hiver 2020 puisque le confinement a pu impacter le signalement et l'activité de pêche). Construire une contrefactuelle implique donc d'identifier durant les hivers 2017-2019 et 2021-2023 des situations de dérive similaires à celles observées entre le 22/01/2024 et le 20/02/2024.

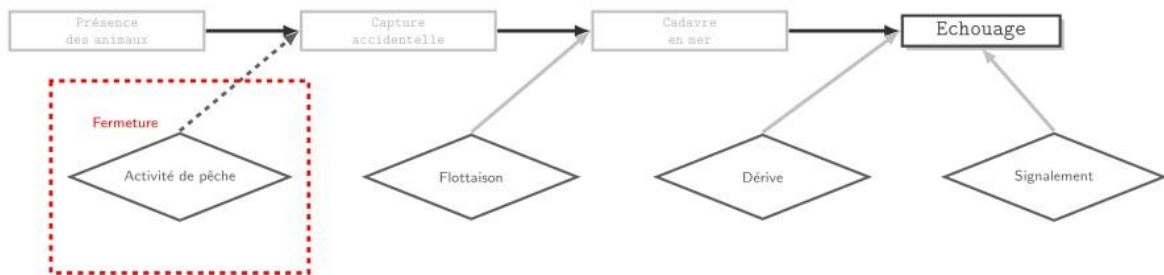


Fig. 4 — Schéma simplifié de la modification induite par la fermeture spatio-temporelle de la chaîne causale sous-jacente au processus d'échouage de mammifères marins morts par capture accidentelle dans un engin de pêche.

Identifier des situations de dérive similaires équivaut à minimiser une distance entre différentes situations (voir ci-dessous). Pour y parvenir, il impose de

1. synthétiser / résumer l'information (multidimensionnelle) concernant les vents et les marées dans le golfe de Gascogne; et
2. trouver une mesure de distance appropriée.

Estimer le nombre d'échouages de petits cétacés attendu en l'absence de fermeture spatiotemporelle

Résumer les conditions de vents et de marées

Le modèle MOTHY développé par Météo France (Daniel *et al.* 2002) peut être utilisé afin de synthétiser l'information concernant les conditions de dérive dans le golfe de Gascogne. L'intégration des données de vents et de marées se fait en simulant la dérive directe de cadavres fictifs au cours d'expériences numériques. Dans celles-ci, des cadavres fictifs sont positionnés dans le golfe de Gascogne (la zone d'étude est représentée mathématiquement par une grille composée de cellules rectangulaires) et MOTHY est utilisé pour simuler la dérive probable de ceux-ci. Le résultat est une carte indiquant les événements d'échouages prédits par MOTHY pour un cadavre flottant positionné dans chacune des cellules (Fig. 5).

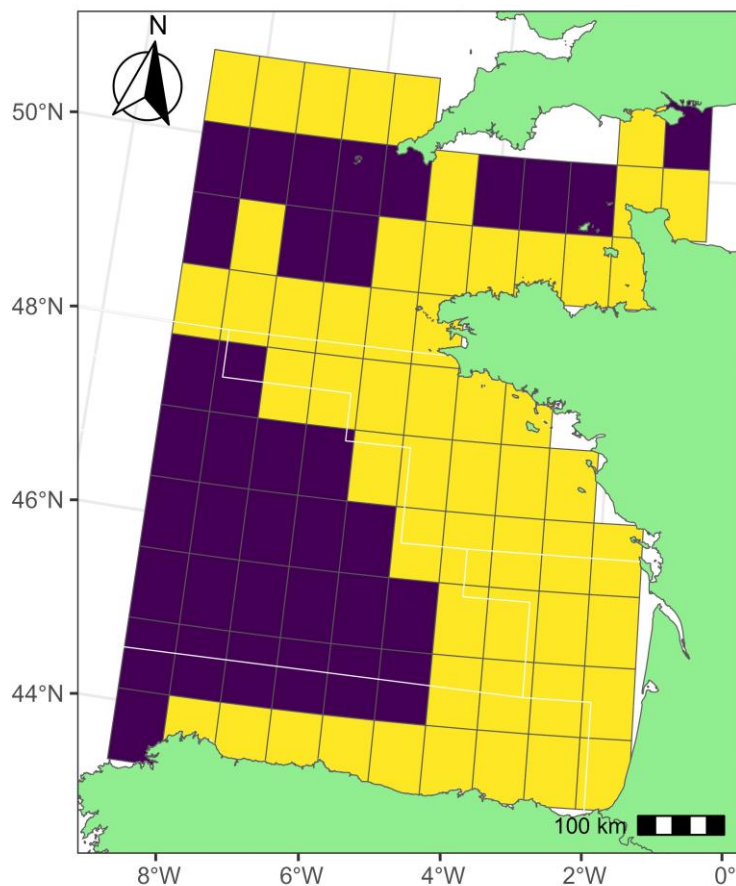


Fig. 5 — Résumé des conditions de dérive par le modèle MOTHY en une carte d'échouages prédits pour un cadavre situé dans chacune des cellules du golfe de Gascogne. Une couleur jaune indique qu'un cadavre situé dans cette cellule est prédit de s'échouer sur la côte Atlantique de la France. A l'inverse une couleur violette indique une prédiction de non-échouage.

En termes statistiques, MOTHY peut être envisagé comme un algorithme permettant de résumer une information multivariée (champs vectoriels de vents et de marées de plusieurs jours) en une carte intégrant l'information *pertinente vis à vis des échouages* en une seule carte correspondant à une dizaine de jours. Cette information doit maintenant être mobilisée pour quantifier la similitude des conditions de dérive pendant la fermeture spatio-temporelle de 2024 à des situations passées.

Estimer le nombre d'échouages de petits cétacés attendu en l'absence de fermeture spatiotemporelle

Similitude & distance

Quantifier une ressemblance revient à établir une gradation, c'est-à-dire la détermination d'un ordre reflétant la proximité vis-à-vis d'un ou de plusieurs critères. Pour cela, il faut définir une métrique de **distance**. Une distance permettant de comparer deux images est la distance du cantonnier (en anglais, « Earth Mover Distance » ou EMD). Cette distance tire son nom d'une analogie. Une image est constituée de pixel avec une couleur. Transformer une image en une autre revient à déplacer ces pixels de couleur, de même manière qu'un cantonnier doit déplacer des mottes de terre (par analogie, des pixels de couleurs sur la carte). La distance du cantonnier quantifie l'effort à fournir pour transformer une image en une autre (Fig. 6)

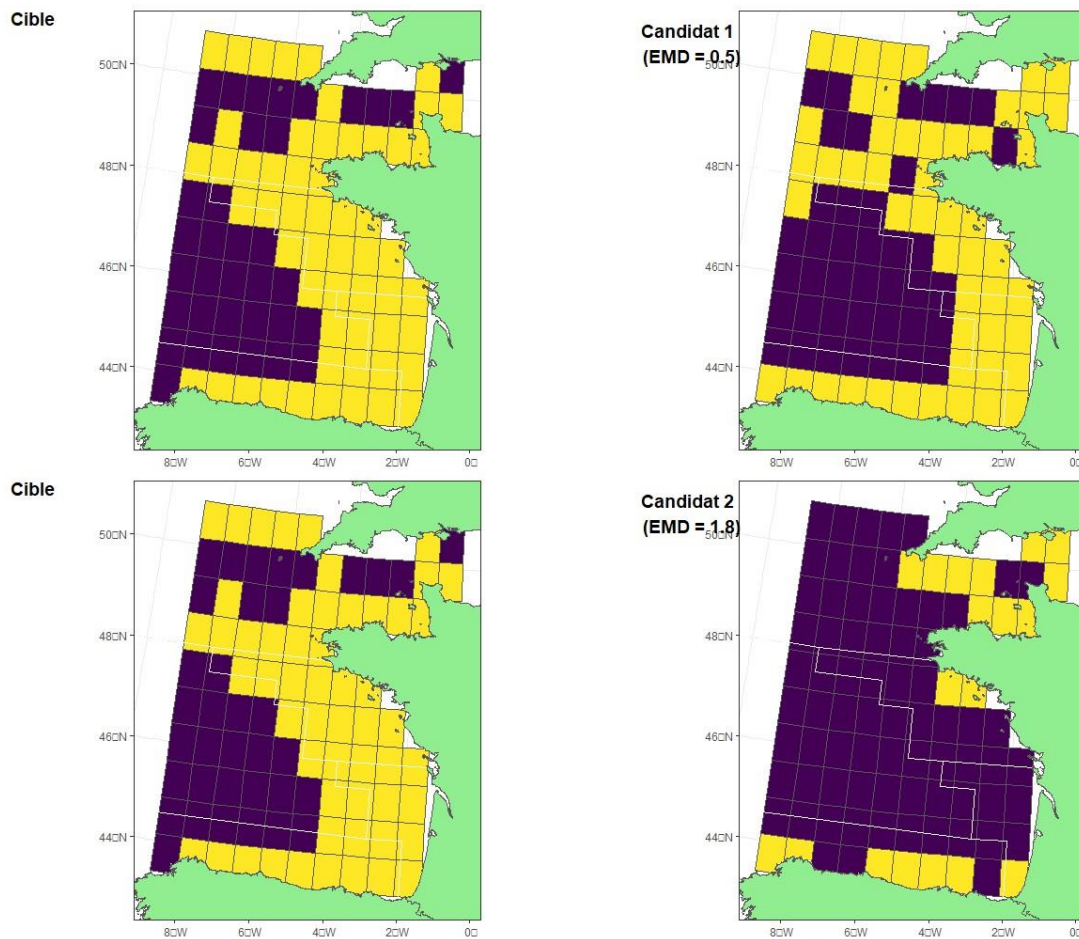


Fig. 6 — Illustration graphique de la distance du cantonnier pour quantifier la ressemblance entre deux images (une cible, à gauche et des images candidates à droite). L'image en haut à droite ressemble plus à l'image de gauche, et est en conséquence à une plus faible distance.

La distance du cantonnier permet donc de calculer une matrice de distance entre toutes les paires d'images (cartes de dérive dans le cas présent ; Fig. 5 & Fig. 6) afin de déterminer les situations de dérive des hivers 2017-2019 et 2021-2023 les plus similaires à celles qui ont été observées en 2024 pendant la fermeture spatio-temporelle. Cette étape est dite d'appariement (ou « matching » en anglais). Il est toutefois peu probable d'obtenir un appariement parfait, c'est-à-dire l'obtention de candidats situés à une distance EMD nulle de la cible. Il est donc nécessaire d'autoriser une certaine tolérance ε , c'est-à-dire un écart acceptable ($EMD \leq \varepsilon$), dans cette étape d'appariement.

Estimer le nombre d'échouages de petits cétacés attendu en l'absence de fermeture spatiotemporelle

Enfin, dans le but de préserver la cohérence temporelle intrinsèque à un hiver, l'ensemble de la période de fermeture spatio-temporelle a été considéré. Celle-ci est résumée en trois cartes de dérive (voir Fig. 5 pour un exemple de carte de dérive correspondant à la situation pour 10 jours). Cette séquence observée pendant la période de fermeture a été appariée à une séquence de trois cartes consécutives dans le temps de sorte à conserver une cohérence temporelle.

Afin de calibrer cette procédure d'appariement, toutes les séquences possibles de trois (3) cartes produites pour les hivers 2017-2019 & 2021-2023 ($N = 86$) ont été comparées entre elles, et la distance moyenne EMD calculée. La différence (Δ) entre les sommes des effectifs d'échouages de tous les couples possibles (en écartant les couples comparant une séquence à elle-même ; Fig. 6) ainsi identifiés a été calculée (Fig. 7).

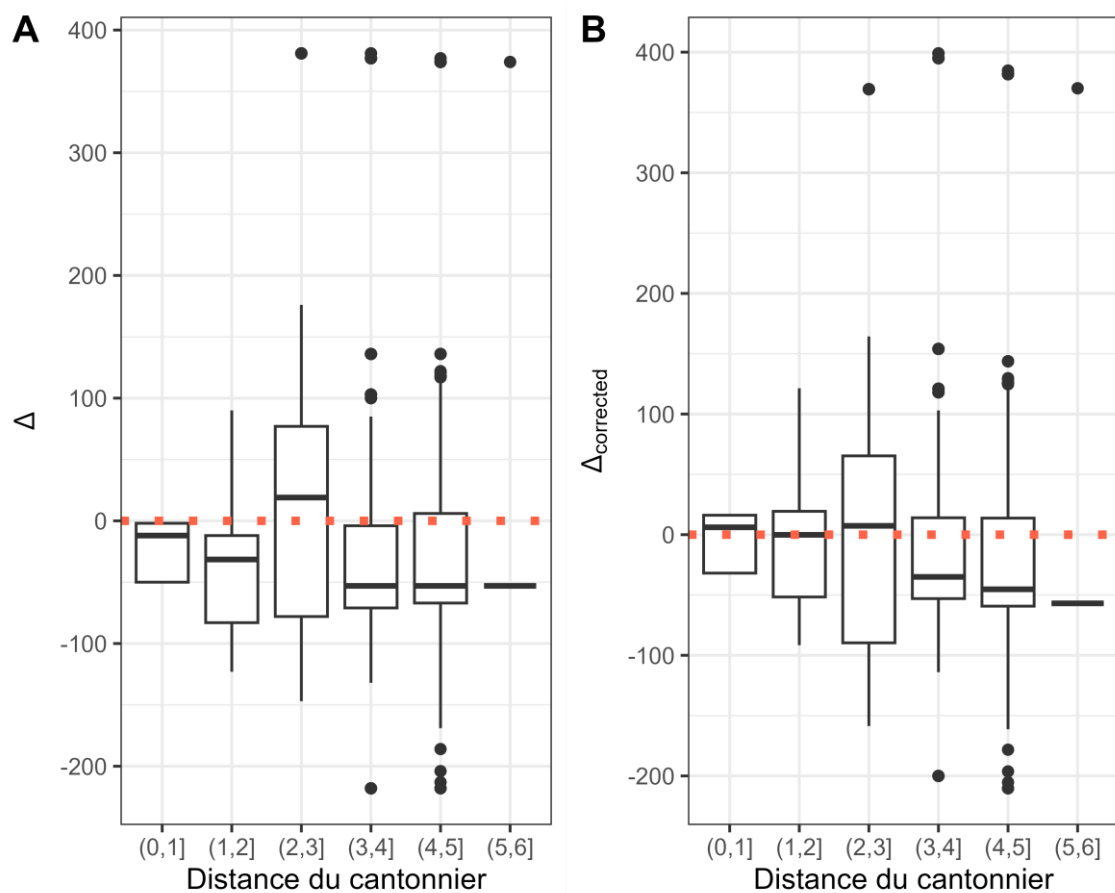


Fig. 7 — Calibration de la procédure d'appariement avec la distance du cantonnier. (A) Distribution de la différence Δ entre la somme des effectifs d'échouages de tous les couples de séquences de 3 cartes les hivers 2017-2019 & 2021-2023. (B) Distribution de cette même différence Δ corrigée de sorte à être centrée, en moyenne, sur la valeur 0.

Estimer le nombre d'échouages de petits cétacés attendu en l'absence de fermeture spatiotemporelle

Le graphique Fig. 7 montre la calibration de la procédure d'appariement : plus la distance du cantonnier pour identifier un « match » possible augmente, plus l'écart entre l'observé et la contrefactuelle augmente. Il apparaît acceptable de fixer la tolérance ε à 2 unités d'EMD de sorte à éviter les écarts les plus extrêmes (de l'ordre de plusieurs centaines d'échouages). Ce choix traduit une hypothèse que de tels écarts ne sont pas plausibles en ce qui concerne la fermeture spatio-temporelle. Avec ce choix, 14 séquences parmi les 86 possibles sont retenues (16%).

Un biais statistique est manifeste : les valeurs de Δ ne sont pas centrées sur la valeur 0 qui correspond à une égalité entre nombre d'échouages observés et nombre d'échouages prédits par la procédure d'appariement (Fig. 7 A). Ce biais, résultant de la procédure elle-même est faible pour des distances inférieures à 3 unités d'EMD mais doit être corrigé avant application à un appariement de la période de fermeture : la valeur moyenne du biais observée est retranchée afin de recalibrer cette moyenne sur la valeur 0 (Fig 7 B).

Pour cet appariement, une tolérance $\varepsilon = 2$ est retenue pour les distances EMD des séquences candidates dont la somme des échouages sur un mois est corrigée du biais observé empiriquement (Fig. 7). Cette correction permet d'éviter une sous-prédiction du nombre d'échouages par la procédure. La procédure d'appariement mis en œuvre comporte une part d'aléatoire : une séquence candidate est sélectionnée avec une probabilité qui est fonction de son EMD. Ce tirage est répété 10000 fois de sorte à prendre en compte une incertitude sur les couples possibles.

II.2. Données d'échouages

Une fois des séquences candidates identifiées comme similaires en termes de dérive à celle de la période de fermeture, sont calculées les sommes d'effectif d'échouages sur ces séquences candidates (qui sont *de facto* des plages temporelles d'un mois dans les hivers 2017-2019 & 2021-2023). Deux choix analytiques sont possibles :

1. faire une somme entre les dates identifiées de sorte que ce soit la date de signalement d'un échouage qui soit appariée; ou
2. tenir compte de l'état de décomposition d'un cadavre lors de son signalement pour estimer la date probable de mort en mer et faire une somme sur la base des dates probables de mort plutôt que sur les dates de signalement.

Ces deux options sont valables, la seconde semblant plus réaliste mais introduisant une source additionnelle d'incertitude liée à la date de mort. Elles seront poursuivies toutes deux par la suite.

En outre, deux cas supplémentaires sont envisagés pour calculer ces sommes soit sur :

- a) l'ensemble des animaux (« all ») dont l'état de décomposition est suffisamment frais (code décomposition ≤ 3); soit sur
- b) le sous-ensemble des animaux dont l'état de décomposition est suffisamment frais (code décomposition ≤ 3) et présentant des marques de capture accidentelles (« bycatch »).

Ces deux cas seront considérés dans la suite, ce qui fait un total de 4 contrefactuelles (a1, b1, a2, b2) pour la période de fermeture.

Estimer le nombre d'échouages de petits cétacés attendu en l'absence de fermeture spatiotemporelle

II.3. Tests placebo

Afin de tester de manière juste (statistiquement parlant) la procédure d'appariement, il est recommandé de faire des tests décrits, par analogie aux tests cliniques, comme « placebo » (Sekhon 2009). Un placebo dans un contexte d'appariement est un test visant à vérifier que la procédure mise en place est capable de trouver une différence nulle. Un test placebo vise donc à tester la procédure sur un exemple pour lequel aucune différence n'est attendue. Pour être juste (statistiquement parlant), ce test doit être réalisé sur des données que la procédure n'a jamais « vues » pendant la phase de calibration. Le test placebo proposé ici est de regarder la période du 22-01-2020 au 20-02-2020. L'hiver 2020 a été écarté *a priori* de la procédure, mais la période considérée ici est antérieure au confinement, ce qui rend plausible qu'elle reste comparable aux autres hivers avant 2024. Tout l'hiver 2024 doit être écarté en revanche car l'annonce de la fermeture a été connue dès décembre 2023 et cette information a pu modifier l'activité de pêche avant la fermeture. Un second test placebo possible est sur la période du 21-02-2024 au 21-03-2024 correspondant à la période immédiatement après la fermeture. Pour ce second test néanmoins, un report d'effort de pêche étant possible, il peut être attendu une différence avec les hivers précédents.

Pour les tests placebo proposés, la procédure devrait proposer une contrefactuelle dont la valeur est proche de la vraie valeur observée dans les données d'échouages. En effet, pour ces tests placebo, et *a contrario* de la fermeture de 2024, une vérité terrain est disponible.

Estimer le nombre d'échouages de petits cétacés attendu en l'absence de fermeture spatiotemporelle

III. Application

La procédure décrite ci-dessus a été appliquée aux données bancarisées à l'UAR 3462 CNRS-LRUniv (Observatoire Pelagis) et qui concernent les échouages des espèces de petits cétacés suivantes :

- le dauphin commun,
- le dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*)
- le marsouin commun (*Phocoena phocoena*), et
- le grand dauphin (*Tursiops truncatus*).

Seuls les échouages signalés dans les départements 64, 40, 33, 17, 85, 44, 56, 29, 22, 35 et 50 pour lesquels l'identification jusqu'à l'espèce était possible, et pour lesquels le code de décomposition était inférieur ou égal à 3 ont été retenus. Ces filtres sont mis en place pour garantir la qualité des données, et notamment celles de l'avis quant à la cause de mortalité. L'emprise géographique excède la zone de fermeture (Fig. 1) pour tenir compte du cas où les conditions de dérive d'un animal mort en dessous de la latitude 48 amènent à un échouage au dessus de la latitude 48. Le nombre d'échouages dans les départements 22, 35 et 50 est en outre plus faible que dans les autres départements : l'inclusion des données de ces départements ne change pas qualitativement les résultats.

Une calibration de la procédure d'appariement a été réalisée pour chacun des choix analytiques suivants :

- (a1) ensemble des animaux, temps de dérive ignoré (date d'échouage);
- (b1) sous-ensemble des animaux avec traces de capture accidentelle, temps de dérive ignoré (date d'échouage);
- (a2) ensemble des animaux, temps de dérive pris en compte (date de mort probable); et
- (b2) sous-ensemble des animaux avec traces de capture accidentelle, temps de dérive pris en compte (date de mort probable).

Mise en œuvre

La procédure décrite a été encodée avec le logiciel de programmation et d'analyse de données R v4.4.1 (R Core Team 2024). L'ensemble des préparations et analyses de données a été réalisé sous ce même logiciel avec les outils du *tidyverse* (Wickham *et al.* 2019), et pour la cartographie de la bibliothèque *sf* (Pebesma & Bivand 2023). La matrice de distance du cantonnier (EMD) a été calculée avec la bibliothèque *move* (Kranstauber *et al.* 2023). Les scripts d'analyse sont disponibles par demande aux auteurs.

Estimer le nombre d'échouages de petits cétacés attendu en l'absence de fermeture spatiotemporelle

III.1. Tests placebo

Les résultats des tests placebo pour valider la procédure d'appariement sont récapitulés dans le Tableau 1 et le Tableau 2. Pour un test placebo, il est attendu que la valeur prédite par la procédure d'appariement soit proche de la vérité terrain, et donc que leur différence soit proche de 0. En outre, la procédure décrite plus haut ne produit pas une seule valeur mais plusieurs afin de tenir compte de différentes incertitudes (notamment celle liée à l'appariement lui-même). La gamme des valeurs prédites auxquelles est soustrait la vérité terrain est un intervalle qui devrait donc inclure la valeur 0 pour que le test placebo soit validé. Dans l'ensemble des cas, la plage de valeurs contrefactuelles produites par la procédure inclut la valeur 0, c'est à dire que le nombre d'échouages prédit par la procédure est égal au nombre réellement observé. Cela est vrai sauf pour le cas de figure b2 de la période post-fermeture en 2024 (Tableau 2). Tenir compte de la date de la mort probable n'améliore ni ne dégrade la prédiction : les valeurs prédites pour les périodes 22/01/2020 - 20/02/2020 et 22/02/2024 - 21/03/2024 couvrent une large gamme qui est comparable entre les deux périodes. Cette gamme illustre la variabilité des échouages dans les données historiques utilisées pour l'appariement.

Période du 22/01/2020 au 20/02/2020

Tableau 1 — Résultats du test placebo consistant à prédire par le nombre d'échouages attendus sur la période du 22/01/2020 au 20/02/2020. Les chiffres rapportés correspondent à la différence entre le nombre d'échouages observé et le nombre prédit par la procédure. Le test est validé si la valeur 0 est comprise entre la borne inférieure et la borne supérieure.

Sélection	Borne inférieure	Médiane	Borne supérieure
a1	-265	-97	53
b1	-193	-44	112
a2	-290	-144	46
b2	-202	-65	121

Estimer le nombre d'échouages de petits cétacés attendu en l'absence de fermeture spatiotemporelle

Période du 22/02/2024 au 21/03/2024

Tableau 2 — Résultats du test placebo consistant à prédire par le nombre d'échouages attendus sur la période du 22/02/2024 au 21/03/2024. Les chiffres rapportés correspondent à la différence entre le nombre d'échouages observé et le nombre prédit par la procédure. Le test est validé si la valeur 0 est comprise entre la borne inférieure et la borne supérieure

Sélection	Borne inférieure	Médiane	Borne supérieure
a1	-122	32	138
b1	-32	106	241
a2	-98	66	246
b2	-12	136	330

Les tests placebo ne révèlent pas de problèmes évidents avec la procédure d'appariement proposée.

III.2. Fermeture spatio-temporelle

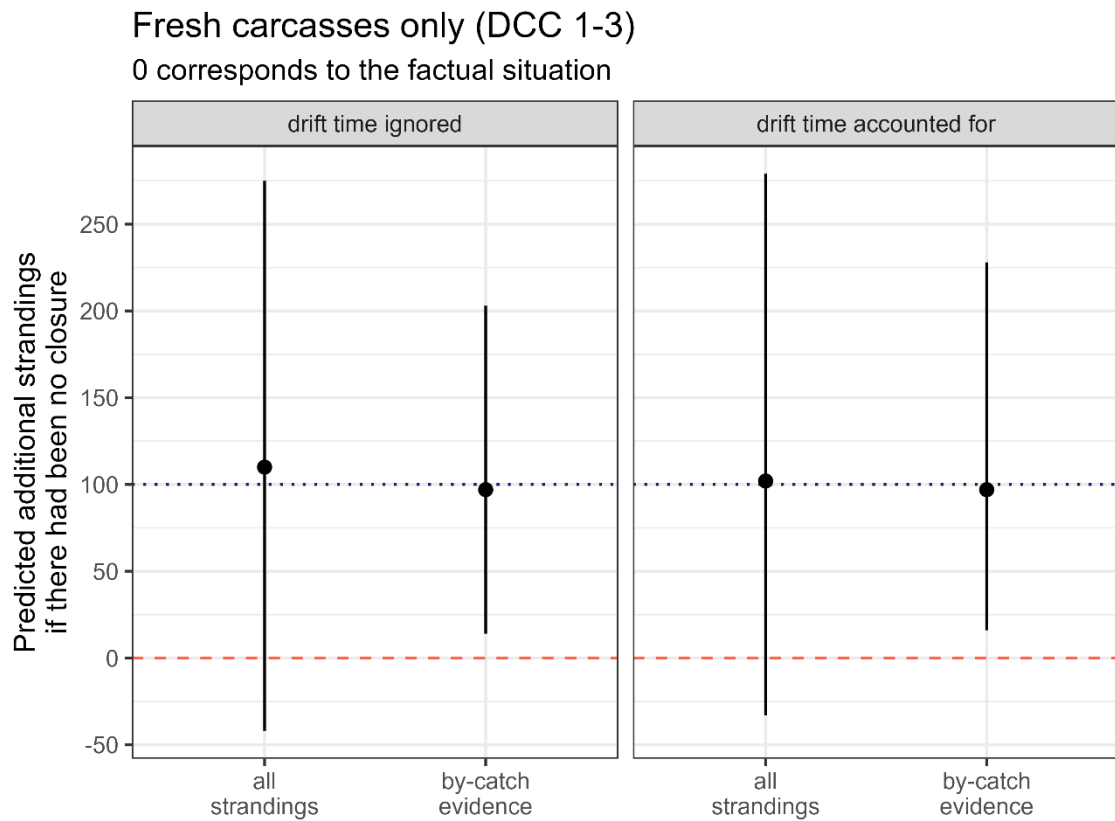
Appliquée à la période de fermeture spatio-temporelle, la procédure d'appariement produit une plage de valeurs pour le **nombre d'échouages supplémentaires** qui aurait été observés en l'absence de fermeture sur la période du 22/01/2024 au 20/02/2024. Ces valeurs sont rapportées (arrondies au multiple de 5 le plus proche pour éviter une illusion de précision dans le cas présent puisque la prédiction correspond à une situation inobservable par définition, à la différence des test placebo ci-dessus) dans le Tableau 3 pour les différents cas de figures considérés.

Tableau 3 — Prédictions du nombre d'échouages supplémentaires attendus (*i.e.* en plus de ceux effectivement observés) pendant la période 22/01/2024-20/02/2024 sous un scénario contrefactuel dans lequel il n'y aurait pas eu de fermeture.

Sélection	Borne inférieure	Médiane	Borne supérieure
a1	-40	110	275
b1	15	100	205
a2	-35	105	280
b2	15	100	230

Estimer le nombre d'échouages de petits cétacés attendu en l'absence de fermeture spatiotemporelle

Les valeurs prédites ont tendance à être positives avec une probabilité élevée puisque la borne inférieure est proche ou excède 0. Tenir compte de la date probable de la mort plutôt que la date de signalement ne change pas les résultats de manière conséquente. La méthodologie proposée prédit donc environ 110 échouages additionnels, dont 100 avec des traces de captures accidentelles s'il n'y avait pas eu de fermeture de la pêche. Cette prédiction concerne des animaux avec des codes de décomposition ≤ 3 . Ces résultats sont arrondis pour éviter de donner une illusion de précision, et viennent avec une marge d'incertitude non-négligeable, puisque multiplier ou diviser par 2 les valeurs énoncées ci-dessus n'est pas non plus implausible (Fig. 8).



Data source : CNRS-LRUniv, RNE

Fig. 8 — Contrefactuelles prédites par la procédure d'appariement avec la distance du cantonnier et correction du biais. La ligne noire représente 95% la gamme couverte par valeurs prédites et le point la prédiction médiane.

IV. Conclusion

Une méthodologie pour répondre à la question **quel aurait été le nombre d'échouages en l'absence de la fermeture spatio temporelle** pendant l'hiver 2024 est proposée et mise en œuvre. Cette méthodologie repose sur la construction d'une situation contrefactuelle en identifiant dans les hivers 2017-2019 & 2021-2023 des situations de conditions de dérive similaires à celles observées pendant la période de fermeture spatio-temporelle. Les hypothèses sous-jacentes à la méthodologie sont nombreuses et se résument par l'expression « toutes choses égales par ailleurs » (*ceteris paribus*). Cette clause *ceteris paribus* signifie que

Estimer le nombre d'échouages de petits cétacés attendu en l'absence de fermeture spatiotemporelle

les périodes identifiées par la procédure d'appariement sur la base de la distance du cantonnier ne diffèrent que du fait d'une activité de pêche réduite : tous les autres facteurs intervenant sur la chaîne causale d'un échouage sont sensiblement comparables (Fig. 3 & Fig. 4). L'ordre de grandeur obtenu pour le nombre d'échouages qui auraient pu advenir au cours de la période du 22/01/2024 au 20/02/2024 est d'une centaine d'individus de petits cétacés. La quasi-totalité des individus associés à ces échouages auraient porté des traces de captures accidentelles (Tableau 3). Une incertitude certaine entache ce chiffre (Fig. 8) mais la procédure suggère fortement que la fermeture a été efficace à réduire le nombre d'échouages.

Bibliographie

Kranstauber, B., Smolla, M., Scharf, A. (2023) *move*: Visualizing and Analyzing Animal Track Data. R package version 4.2.4, <https://CRAN.R-project.org/package=move>.

Daniel, P., Jan, G., Cabioc'h, F., Landau, Y., Loiseau, E. (2002) Drift Modeling of Cargo Containers. *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 7, p. 279–288.

Ifremer. Système d'Informations Halieutiques (2021). Eléments de suivi des conséquences de l'épidémie de Covid-19 sur la pêche professionnelle. Façade Atlantique, navires de plus de 12 mètres. Bulletin de la semaine 53. Ifremer. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00678/78995/>

Pebesma, E., Bivand, R. (2023) **Spatial Data Science: With Applications in R**. Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9780429459016>

R Core Team (2024). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

Sekhon, J. S. (2009) Opiates for the Matches: Matching Methods for Causal Inference. *Annual Review of Political Science*, Vol. 12, p. 487-508. doi:10.1146/annurev.polisci.11.060606.135444

Spagnol, C., Guyader O, Le Grand C., Demaneche S., Le Roy E., Leblond E. (2021) Enquête sur les conséquences à court terme de la pandémie de Covid-19 sur la pêche maritime française. Premier confinement et période post-confinement. France métropolitaine. Ref. Rapport Ifremer-RBE-SIH-EM. 57p.. Ifremer. <https://doi.org/10.13155/84224>

Tetlock, P. E., Lebow, R. N., Parker, G. (2006) **Unmaking the West « What If » Scenarios That Rewrite World History**. 1st. edition, The University of Michigan Press

Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., D'Agostino McGowan, L., François, R., Golemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pedersen, T. L., Miller, E., Bache, S. M., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, P. D., Spinu, V., Takahashi, K., Vaughan, D., Wilke, C.,

Woo, K., Yutani, H. (2019) Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software*, Vol. 4, No. 43, p. 1686