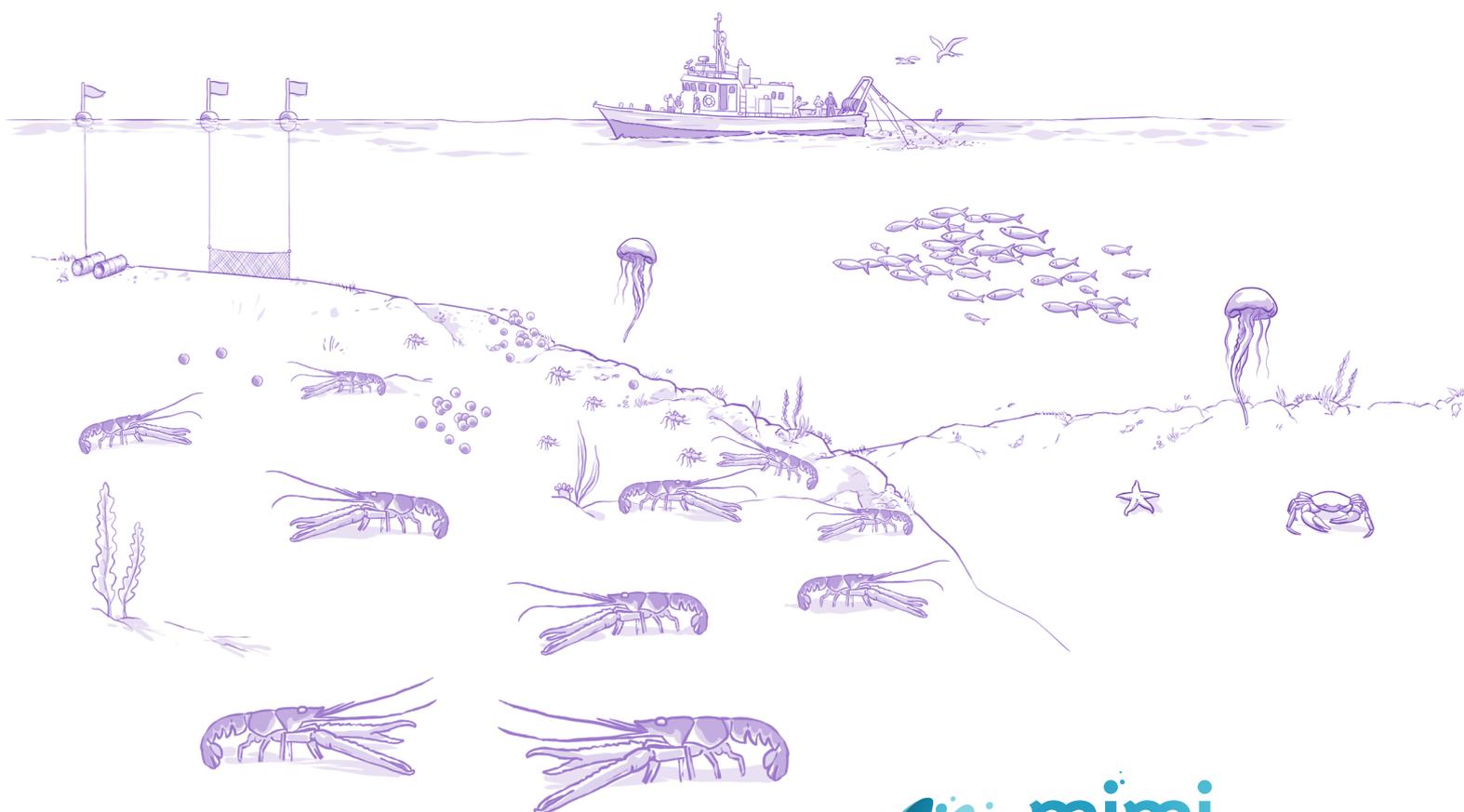


CHOISIR UN SCÉNARIO EN S'APPROPRIANT L'INCERTITUDE QUELLE REPRÉSENTATION ?

PROJET MIMI - ATELIER 2 - 3 février 2023

ORGANISÉ DANS LE CADRE
DU GROUPE PARTENARIAL CNPMMEM-IFREMER



mimi

Partager les représentations,
les connaissances et les incertitudes
des socio-écosystèmes marins

SOMMAIRE

PRÉSENTATION DE L'ATELIER	4 5
RESTITUTION DES ACTIVITÉS	6 7
FIGURE 1 - PÊCHERIE LANGOUSTINIÈRE CARICATURALE	8 9
FIGURE 3	12
FIGURE 4	13
FIGURE 1 - CALQUE 5	20 21
FIGURE 1 - CALQUES 5 & 6	22 23
CONCLUSION	25
GLOSSAIRE	26
CRÉDITS	27

CHOISIR UN SCÉNARIO EN S'APPROPRIANT L'INCERTITUDE QUELLE REPRÉSENTATION ?

*« Attends-toi à l'inattendu »
disait Edgar Morin.*

Se préparer à l'inattendu c'est anticiper que le futur ne sera sûrement pas celui que l'on aura imaginé pour ne pas rester immobile. C'est accepter l'incertitude dans l'action.
La gestion des pêches ne déroge pas à cette maxime, qui questionne tous les acteurs concernés du secteur.

Mise en place à l'échelle de l'Europe par la politique commune, la gestion des pêches a pour objectif d'assurer une exploitation durable des ressources naturelles marines en se conformant aux objectifs de développement souhaitable à 2030.

Une approche largement répandue pour anticiper le futur des pêches est la construction de scénarios d'évolution des quantités de poissons marins et des captures des pêcheurs à l'aide de modèles.

L'incertitude inhérente aux modèles et par conséquent présente dans les scénarios produits par ces modèles. Mais comment la représenter ? Comment choisir une réglementation des pêches sur la base des prédictions issues d'un modèle dans lequel on a pointé des incertitudes ?

Dans le cadre du projet MIMI (Modèles, IMaginaires et Incertitudes), un premier atelier partenarial CNPMM-IFREMER « Modéliser les écosystèmes marins sans cacher l'incertitude », nous a permis de partager des représentations graphiques de l'écosystème marin et identifié les incertitudes de ces modèles. Sur la base des productions de ce premier atelier, un deuxième atelier du groupe partenarial CNPMM-IFREMER s'est tenu pour étudier et choisir des représentations graphiques de l'incertitude. Ces représentations graphiques concernent à la fois les entrées et les sorties d'un modèle permettant de prédire des quantités de langoustine dans la mer et les captures des pêcheurs. Sur la base de ces choix, les participant.es ont exploré des scénarios d'évolution de la pêche et posé un diagnostic sur les conséquences de réglementation de la pêche pour atteindre les objectifs de gestion durable des pêches.



PRÉSENTATION DE L'ATELIER

L'atelier s'est tenu en visioconférence sur une journée entière. Cet atelier, beaucoup plus technique et guidé que le premier atelier du 30 septembre 2021, fait le postulat que les participants maîtrisent les concepts de modèles et d'incertitude abordés dans le premier atelier (Livret de restitution de l'atelier 1*). La finalité de l'atelier est de choisir une réglementation de la pêche sur la base de scénarios produits par un modèle simulant la biomasse et les captures d'une pêcherie à 5 ans avec de l'incertitude. Au cours de l'atelier, les participants ont caractérisé les incertitudes, ont appris à les manipuler et ont sélectionné des manières de les représenter graphiquement. Il est structuré en 3 phases organisées avec une présentation scientifique suivie de sondages et de discussions s'appuyant sur une méthode participative exploitant un tableau blanc numérique et des questionnaires (logiciel Klaxoon).

* Livret de restitution de l'atelier 1 : www.urldulivret1

Ce livret restitue le déroulement et les productions de l'atelier. Un glossaire des termes techniques principaux est disponible en dernière page. Les graphiques et les calques qui accompagnent le livret permettront de visualiser certains résultats.

17 PARTICIPANT.ES

DONT 6 SCIENTIFIQUES ANIMATEURICES (5 HALIEUTES, 1 ÉCONOMISTE), 2 ARTISTES, 2 COMMUNICANT/VULGARISATEURS, 7 ACTEURS DE LA PÊCHE

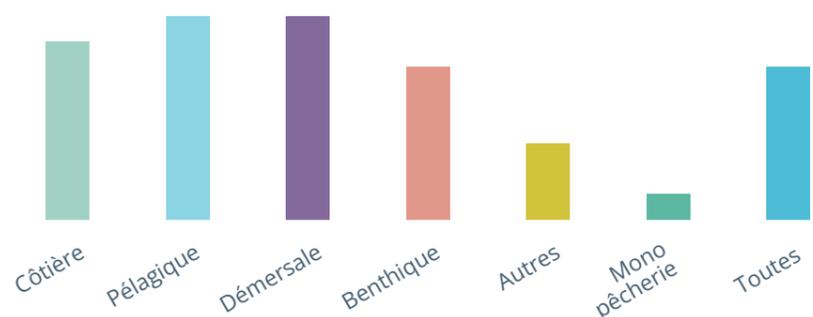
L'équipe MiMi présente est composée de 6 scientifiques (équipe d'animation) et de 2 artistes participant.es. La plupart des acteurs de la pêche avaient déjà participé au premier atelier, à l'exception de 2 personnes.

Toutes les façades maritimes de France métropolitaine sont représentées et 56 % des répondants s'intéressent à plusieurs d'entre elles.

De même, 90 % des acteurs de la pêche s'intéressent à au moins deux pêcheries.



PÊCHERIES D'INTÉRÊT



Autres :

- Hauturière
- Senneur océanique
- Pêche à pied...

DÉROULÉ DE L'ATELIER

Quizz introductif + présentation de la pêcherie ISIS-Fish

PHASE 1

Caractérisation et représentation des incertitudes en entrée du modèle

PHASE 2

Caractérisation et représentation des incertitudes en sortie du modèle

PHASE 3

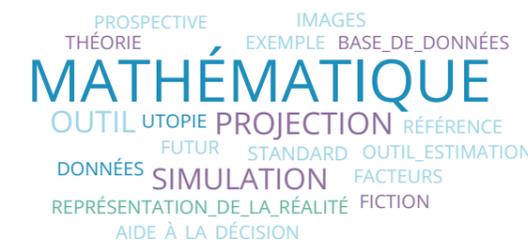
Analyse des scénarios de gestion avec incertitudes

Discussion finale

QUIZZ INTRODUCTIF - DÉFINITIONS

NUAGE MODÈLE

Le terme « Mathématique » est largement majoritaire pour décrire la notion de « Modèle », reflétant la contextualisation de l'atelier. Les autres termes qui se distinguent (simulation, projection, outil) et plus généralement, la plupart des termes moins cités, sont précis et démontrent une connaissance du concept et de son utilisation pour prédire. Seuls 3 termes (utopie, fiction, images) élargissent l'acceptation du terme modèle à une interprétation sensible.



NUAGE INCERTITUDE

Le nombre de réponses est un peu plus important pour décrire le terme « Incertitude », majoritairement associé à la notion de « doute ». Le concept apparaît connu et on note une concentration des autres réponses dans le champ lexical de la notion de modèle. Quelques termes introduisent également une interprétation négative de l'incertitude (anxiété, frein, problème).



NUAGE RISQUE

Contrairement aux deux autres termes, les réponses des participant.es sont moins contextualisées et relèvent autant du vocabulaire courant que de l'interprétation mathématique (erreur, probabilité de se tromper).

Le terme « Risque » est principalement compris dans un sens négatif, comme l'illustre le mot le plus cité « Danger » mais aussi la plupart des autres associations d'idées « catastrophe », « préjudice »...). Certaines réponses associent la notion de risque à une activité professionnelle particulière « acrobatie », « cirque », introduisant la notion de prise de risque volontaire.



RESTITUTION DES ACTIVITÉS

PRÉSENTATION DU CAS D'ÉTUDE ET DES PARAMÈTRES INCERTAINS EXPLORÉS

Avec ISIS-Fish, nous avons paramétré une pêcherie langoustinière inspirée de la pêcherie de la grande vasière dans le golfe de Gascogne que nous nous sommes autorisés à caricaturer et modifier pour faciliter l'organisation de cet atelier. Une véritable paramétrisation est disponible dans le cadre du projet FFP Macco (<https://www.macco.fr/>).

Le cycle de vie de la langoustine est décrit dans le modèle au travers de 10 classes d'âge qui se distribuent spatialement sur 9 rectangles de 1 degré en longitude et 0.5 degré en latitude. Chaque classe d'âge se caractérise par une largeur moyenne de la carapace de la tête (longueur céphalothoracique) qui permet de décrire l'interdiction de débarquer des langoustines dont la carapace de la tête est plus petite que 20 mm (réglementation de la taille minimale de débarquement). Si une langoustine trop petite est capturée, elle est rejetée dans la mer avec une chance de survie (**proportion de survie = 0.5**). Le renouvellement annuel des langoustines juvéniles est dépendant de la quantité de langoustines en âge de se reproduire (**relation stock-recrutement** de Beverton et Holt). Dans cette description, on fait l'hypothèse qu'il n'y a pas de dispersion des larves de langoustines à l'extérieur des 9 rectangles ni entre les rectangles. A chaque mois de l'année, le modèle décrit la carte du nombre de langoustines par classe d'âge (abondance ou biomasse en poids).

Les langoustines sont capturées par plusieurs groupes de bateaux de pêche (chalutiers) qui diffèrent par leur port d'attache, leur longueur, les espèces qu'ils ciblent (métiers : langoustiniers, poissons benthiques, poissons démersaux) et leurs pratiques annuelles des métiers (stratégies). Le temps passé à pêcher (effort de pêche) est spatialisé et se distribue différemment selon les métiers et les saisons dans les 9 rectangles. Selon le métier, cet effort de pêche est plus ou moins efficace pour capturer des langoustines et l'efficacité de pêche peut changer au cours du temps (**dérive d'efficacité de pêche = 0**). A chaque mois de l'année, en multipliant l'effort de pêche par un facteur appelé capturabilité, le modèle calcule une carte de la mortalité par pêche des langoustines pour chaque métier.

Trois réglementations sont envisagées : **la taille minimale de débarquement** (SCÉNARIO_1, scénario de référence), **une limitations des captures par quota** (SCÉNARIO_2 = TAC = 500 tonnes) et **une aire marine protégée** (SCÉNARIO_3 = AMP = zone 23E6 - 24E6).

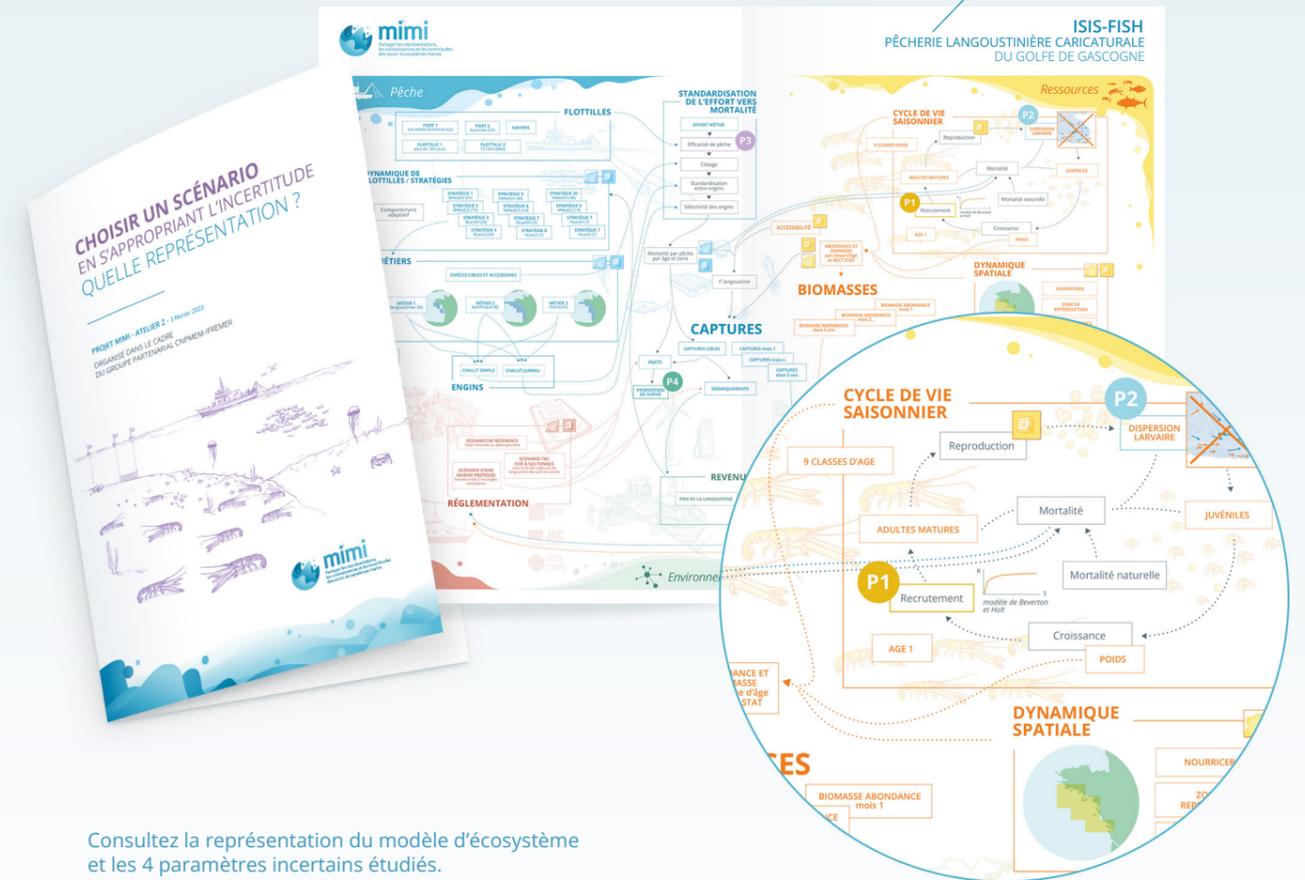
La pêcherie est simulée avec le modèle sur une période de 5 ans. Le modèle simule les captures, l'abondance et biomasse de langoustine par rectangle en superposant les cartes de mortalité par pêche des métiers et la carte d'abondance des langoustines.

Lors de l'atelier 1, les participants avaient identifié dans les modèles décrits les éléments incertains. Nous avons choisi pour ce deuxième atelier d'explorer la représentation de l'incertitude de 4 paramètres d'entrée du modèle qui figuraient dans les éléments incertains du premier atelier et qui sont présents dans le modèle ISIS-Fish.

IL S'AGIT DE :

- P1** **La relation stock-recrutement**
Lien entre le nombre de jeunes poissons devenant accessibles à la pêche et l'effectif des géniteurs approximé par la biomasse féconde.
- P2** **La dispersion larvaire**
La dispersion larvaire inclut la ponte, le transport larvaire (ie déplacement des larves résultant du transport physique et du comportement de nage des larves sur la verticale), la survie larvaire, puis la sédentarisation des larves à l'issue de leur phase larvaire.
- P3** **La dérive d'efficacité de pêche**
Évolution moyenne de la capacité à capturer le poisson accessible (efficacité / puissance = capacité à capturer le poisson accessible)
- P4** **La proportion de survie**
Pourcentage de survie des captures non débarquées pour des raisons diverses (taille illégale, animal endommagé, absence de marché ou dépassement de quotas) (source : Ifremer, Gardons la Pêche)

Figure 1



Consultez la représentation du modèle d'écosystème et les 4 paramètres incertains étudiés.

DURANT CET ATELIER, NOUS NOUS ATTACHONS À RÉPONDRE AUX QUESTIONS SUIVANTES EN PROPOSANT UNE DÉMARCHE ET DES OUTILS DIDACTIQUES :

PHASE 1

- *Quelle est l'incertitude sur les paramètres d'entrée du modèle ? Comment la représenter ?*

PHASE 2

- *Quelle est l'incertitude en sortie du modèle (biomasse et captures) induite par l'incertitude des paramètres d'entrée ? Comment la représenter ?*

PHASE 3

- *Peut-on poser un diagnostic sur les scénarios de gestion malgré cette incertitude ?*
- *Peut-on identifier les paramètres qui influent le plus ? Peut-on les trier et identifier ceux sur lesquels on pourrait travailler collectivement pour espérer avoir moins d'incertitude en sortie ?*

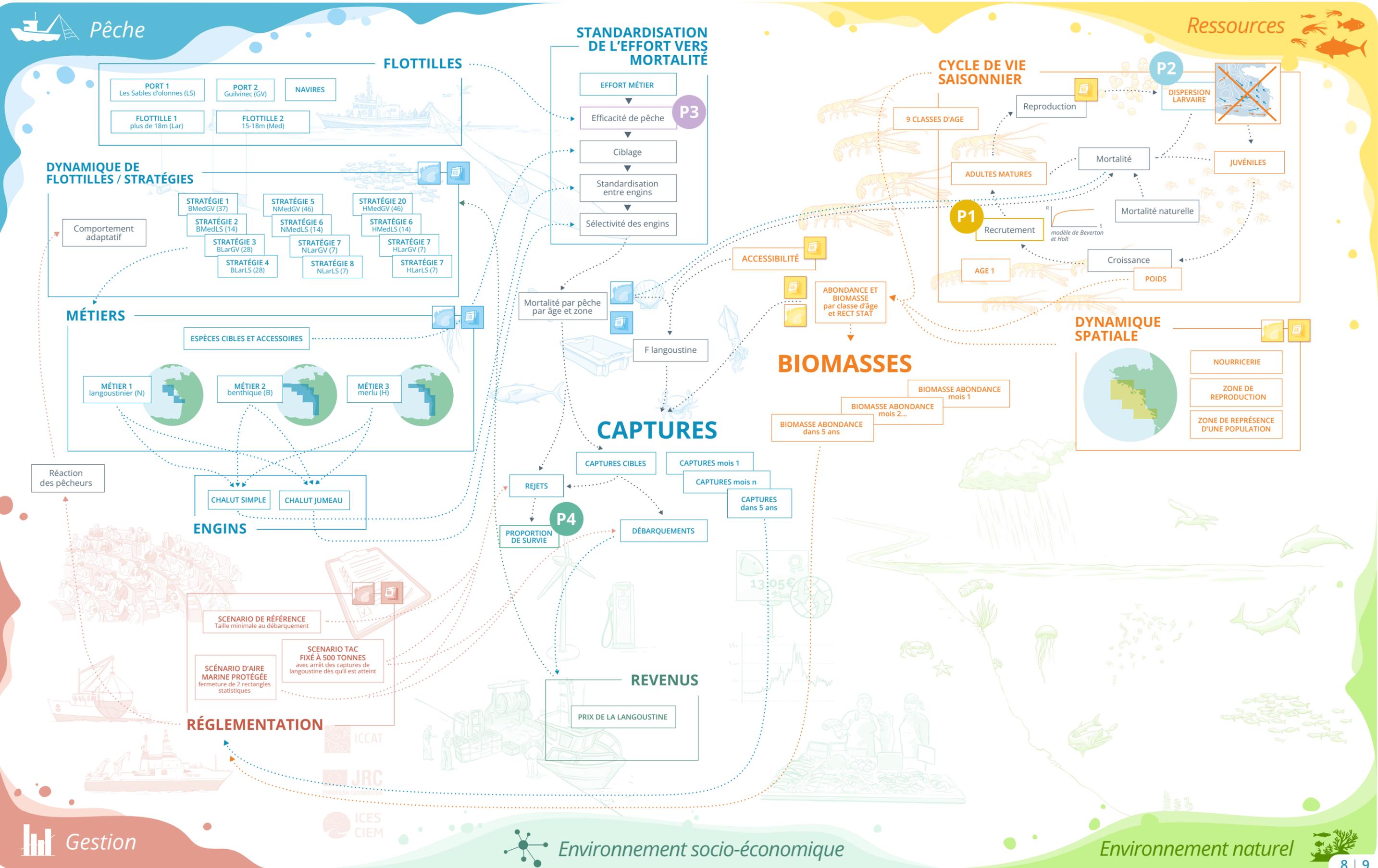


Figure 1

OUTIL PÉDAGOGIQUE CARACTÉRISATION DE L'INCERTITUDE D'UN PARAMÈTRE D'ENTRÉE ET D'UNE VARIABLE DE SORTIE

Durant cet atelier nous avons proposé et expliqué un ensemble de représentations possibles des incertitudes en entrée du modèle (INPUT) (pour les paramètres P1, P2, P3, P4) et en sortie du modèle (OUTPUT) (biomasse, biomasse de géniteurs et captures). Durant l'atelier les participants ont voté pour identifier le mode de représentation qui leur semblait le plus adapté (pratique et visuel). Consultez les 8 types de représentation proposés : Figure 3 (les schémas 1, 2, 3 et 4) et Figure 4 (les schémas 5,6,7 et 8) avec les calques associés.

Le choix majoritaire est présenté* dans le livret pour chaque paramètre et les variables de sortie.



Le choix majoritaire

Figure 3
Les schémas de représentation 1/2

Calque 1
Entrée du modèle (paramètre)

Calque 2
Sortie du modèle (variable)



Figure 4
Les schémas de représentation 2/2

Calque 3
Entrée du modèle (paramètre)

Calque 4
Sortie du modèle (variable)

PHASE 1

Quelle est l'incertitude sur les paramètres d'entrée du modèle ? Comment la représenter ?

PRÉSENTATION DES VALEURS CHOISIES POUR CHAQUE PARAMÈTRE ET LEUR INCERTITUDE ASSOCIÉE

P1 LA RELATION STOCK/RECRUTEMENT

La relation-stock recrutement (relation S/R, cf. glossaire) n'est pas toujours bien définie en fonction des stocks étudiés. Plusieurs relations S/R existent qui sont associées à différentes hypothèses biologiques et écologiques (évolution de la fécondité avec la taille, importance de l'habitat et des courants, compétition entre adultes et juvéniles...). Pour définir quelle relation S/R utiliser, les scientifiques s'appuient à la fois sur les données disponibles et sur la connaissance qu'ils ont des stocks, acquise par exemple par une revue de la bibliographie.

Nous avons reproduit ce processus de sélection de relation S/R, en commençant par ajuster 5 types de relation S/R aux données (nuage de points) issues de l'évaluation de stock de la langoustine. Nous avons procédé à une première évaluation de la relation S/R à utiliser, en sondant les participants sur celle qui semblait la plus adaptée.

BIOMASSE FÉCONDE

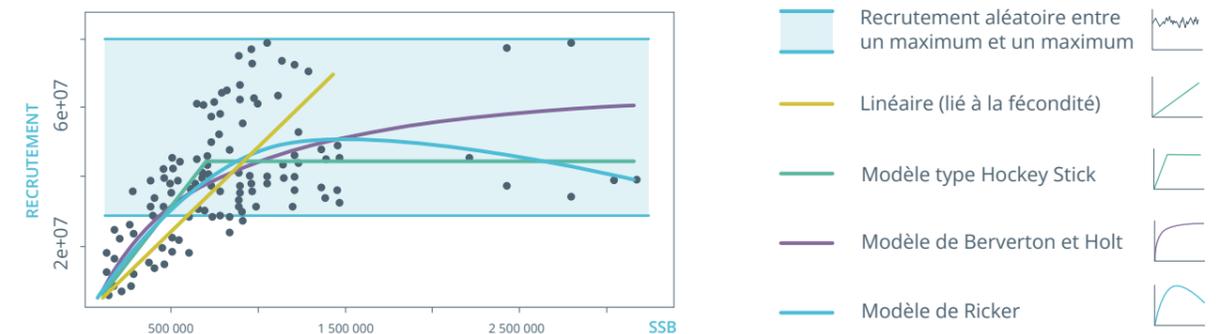


Figure 2 - Illustration de l'ajustement de différents types de relation S/R (listés à droite) aux points issus de l'évaluation de stock de langoustine. Les différents relations S/R semblent être toutes valables pour ce cas d'étude, montrant l'incertitude existante quant à la relation S/R à utiliser pour ce stock.

Trois documents ont ensuite été présentés, afin d'apporter de la connaissance pour aider au choix de la relation S/R à utiliser. Le premier document, un article scientifique assez ancien, indiquait une relation linéaire entre le nombre d'œufs et la taille des langoustines. Le deuxième document, issu d'un stage de master récent, montrait qu'un modèle de courants pouvait expliquer une partie de la variabilité du recrutement. Le troisième document présentait des photos de terriers de langoustine, accompagnées d'explications d'experts sur l'utilisation des terriers pour caractériser la relation entre adultes (stock) et juvéniles (recrutement). À la suite de la prise de connaissance de ces documents, un sondage a de nouveau été effectué pour évaluer quelle relation S/R semblait la plus adaptée.

La comparaison des sondages et les discussions qui ont suivi ont montré que l'apport de connaissance via les trois documents modifiait la perception des participants sur l'interprétation du nuage de points et de la relation S/R qui semble la plus adaptée. L'importance d'avoir des connaissances sur la biologie et l'écologie de l'espèce a été soulevée, bien que tous les documents n'aient pas été jugés utiles de la même façon. Ainsi la source d'information prédominante dans le choix final de la relation S/R reste le nuage de points issus des données d'évaluation de stock (15 voix attribuées), suivie des documents sur les courants (9 voix) et photos de terriers (9 voix), puis enfin le document sur la fécondité (7 voix).

L'apport de connaissance peut également rendre valide des relation S/R qui ne semblaient pas l'être initialement. Il a également été noté que plusieurs choix peuvent être considérés valides pour ce stock, ce qui peut entraîner un choix « par défaut ». Dans ce cas, c'est généralement la relation S/R associée à de l'aléatoire qui sert de relation par défaut. Toutefois, en l'absence de consensus, il est possible d'utiliser plusieurs types de relation S/R dans les simulations à 5 ans. C'est d'ailleurs ce qui est généralement fait par les scientifiques lorsque l'incertitude persiste sur la forme que doit avoir la relation S/R.

LES SCHÉMAS DE REPRÉSENTATION 1/2

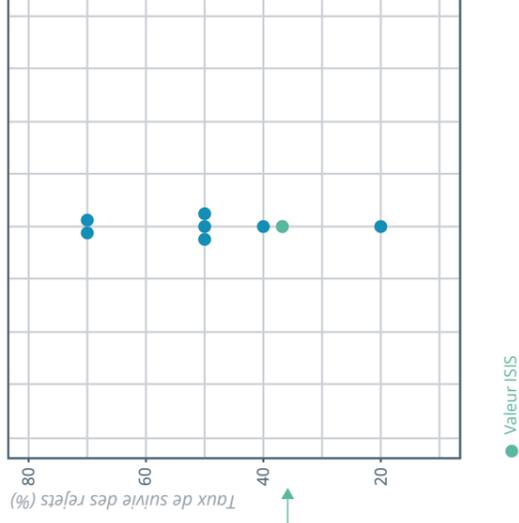
1_ GRAPHIQUE DES POINTS

Les points représentent l'ensemble des valeurs obtenues. On visualise donc bien la dispersion (minimum et maximum), la continuité (y a-t'il des points partout ? des trous ?). Par contre si deux observations ont la même valeur, les points se superposent et on n'a donc pas accès à la fréquence d'obtention des valeurs (la distribution). Dans le cas des sorties de simulation, on ne sait pas quels points ont été obtenus dans la même simulation.

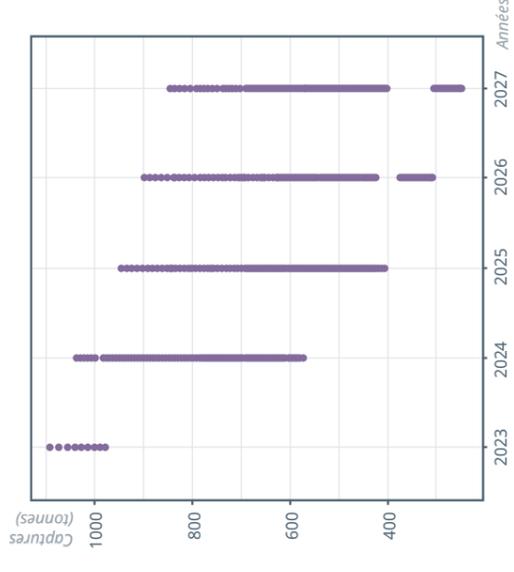
La plus faible valeur (20% de survie) n'est choisie que par un participant. La valeur la plus souvent choisie est un taux de survie de 50% (3 réponses) puis 70% (2 réponses) et enfin 40% (1 réponse). Tous les participants considèrent donc qu'une partie des langoustines rejetées survit aux opérations de pêche puis de rejet.

Discontinuité dans les valeurs obtenues en 4^e et 5^e année.

PARAMÈTRES D'ENTRÉE



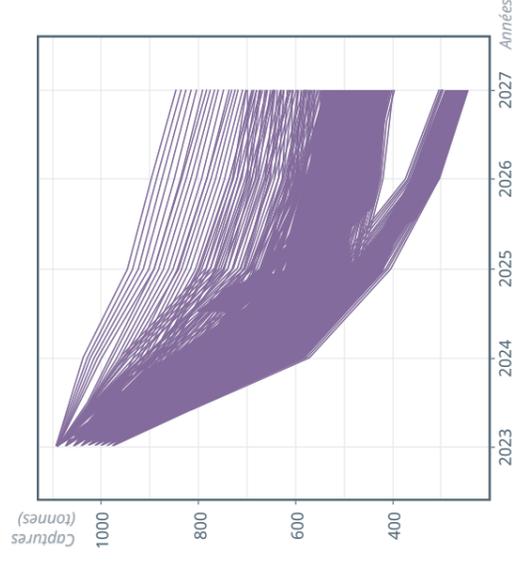
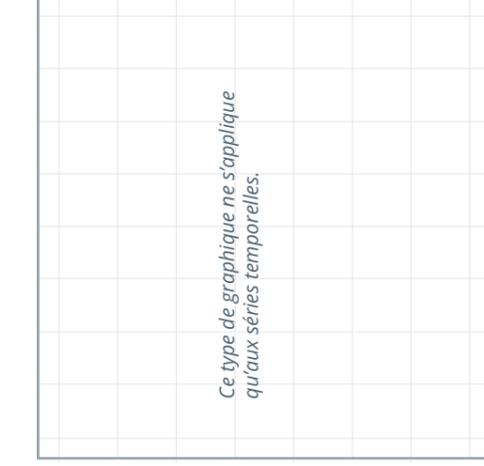
VARIABLES DE SORTIE



2_ GRAPHIQUE EN LIGNE

Les lignes connectent les valeurs obtenues au cours d'une même simulation et permettent de visualiser la trajectoire (ou série temporelle). C'est particulièrement intéressant lorsque les tendances sont différentes d'une simulation à l'autre et cela donne une idée du nombre de simulations qui suivent la même évolution par la densité des lignes. Par contre, ce type de graphique devient très difficile à lire quand il y a beaucoup de trajectoires et qu'elles se croisent.

Trajectoires à la baisse au cours de la simulation. Souvent, diminution rapide les premières années puis plus lente (stabilisation). On observe que la majorité des trajectoires (forte densité noire) ont des trajectoires avec des diminutions plus fortes des captures, et deux groupes discontinus de trajectoires à partir de la 4^{ème} année.

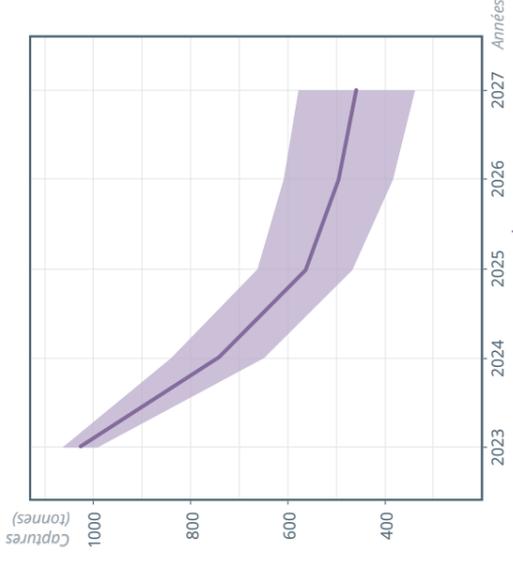


Ce type de graphique ne s'applique qu'aux séries temporelles.

3_ GRAPHIQUE ENVELOPPE

La représentation en enveloppe traduit la dispersion des trajectoires. Plus l'enveloppe est large plus les résultats obtenus s'étalent sur une plage large. L'enveloppe peut représenter différentes mesures de l'étalement des valeurs : le minimum et le maximum par exemple, ou l'écart type, comme c'est le cas ici (cela doit être dit dans la légende).

Trajectoires à la baisse au cours de la simulation. Souvent, diminution rapide les premières années puis plus lente (stabilisation). En moyenne, les captures diminuent de 1031t en 1^{ère} année à 457t en 5^e année. L'incertitude est plus grande en fin de simulation avec un écart type à la moyenne de 120t contre 36t en début de simulation.



Ce type de graphique ne s'applique qu'aux trajectoires (abscisse avec des valeurs ordonnées, ici le temps en année).

4_ FOURCHETTES

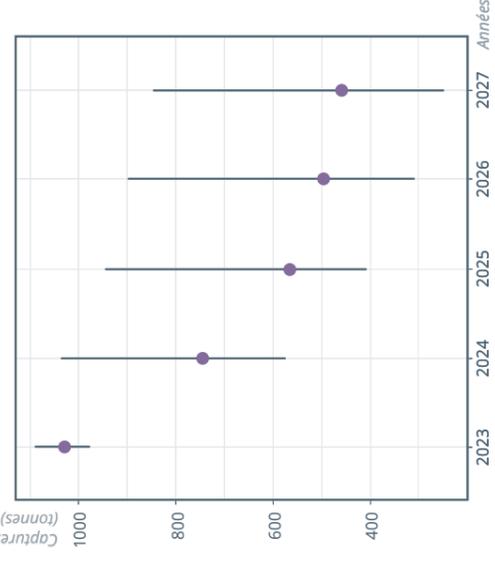
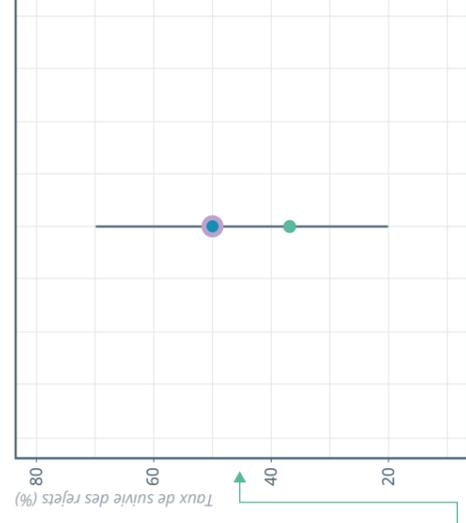
Les fourchettes de valeurs représentent des métriques qui résument la distribution des observations.

Souvent on utilise la moyenne des observations, représentée par un point, et une mesure de la distance des points à la moyenne, représentée par les barres verticales de part et d'autre de la moyenne. Ici, il s'agit de l'écart-type (cf. glossaire), mais d'autres statistiques peuvent être utilisées (c'est renseigné dans la légende). Il s'agit de graphes très synthétiques et faciles à lire.

Cependant, ils donnent une impression, possiblement fautive, de symétrie (si le point dans la barre est la moyenne) et de continuité des valeurs. De plus, les statistiques utilisées peuvent ne pas être intuitives et ne pas illustrer toute la dispersion des observations.

Les valeurs minimales et maximales de survie des rejets considérées par les participants sont de 20% et de 70%. Ici la valeur moyenne et la valeur médiane sont confondues et égales à 50%.

Trajectoires à la baisse au cours de la simulation. En moyenne, les captures diminuent de 1031t en 1^{ère} année à 457t en 5^e année. L'incertitude est plus grande en fin de simulation avec un écart type à la moyenne de 120t contre 36t en début de simulation.



Incertitude sur les captures dès la première année (979t à 1091t) qui s'amplifie avec le temps (247t à 846t).

Figure 3

LES SCHÉMAS DE REPRÉSENTATION 2/2

5_ BOÎTES À MOUSTACHES

La boîte à moustaches (boxplot en anglais) rend compte de la fréquence d'obtention des valeurs, cette fois à l'aide de quantiles. Par convention, la barre centrale représente la médiane des observations (cf. glossaire). Les contours de la boîte représentent en général les valeurs comprises entre le premier et troisième quartiles (cf. glossaire), que les valeurs à l'extérieur représentent le quart des valeurs inférieures et supérieures) et le bout des lignes (les « moustaches ») délimitent l'intervalle quantiles à 5 % et 95 %, (90% des valeurs autour de la médiane, choix fait pour les entrées) ou la gamme valeurs minimale-maximale (choix fait pour les sorties).

Quand les moustaches montrent l'intervalle des quantiles à 5% et 95%, on observe les valeurs aberrantes à l'extérieur de l'intervalle. Il est donc important de bien lire la légende pour savoir quels quantiles ont été choisis pour la boîte et pour les moustaches. Cette représentation graphique illustre la possible asymétrie de la distribution des observations par rapport à la barre centrale.

La médiane (point violet) des valeurs de survie (cf lexique) est égale à la moyenne (point bleu). Dans cette représentation, les limites des « moustaches » (ou traits de part et d'autre de cette boîte) représentent approximativement l'intervalle de confiance à 95%. Une survie de 20% est donc considérée comme une valeur potentiellement aberrante (outilier).

Incertitude sur les captures dès la première année (979 à 1091t) qui s'amplifie avec le temps (247t à 846t). En 2027, 50% des simulations ont des captures supérieures à 458t et 5% sont supérieures à 663t. Distribution asymétrique : dispersion plus grande pour les valeurs de captures élevées. Au contraire, les 5% valeurs les plus faibles sont très proches autour du quantile 5%.

6_ DIAGRAMME À POINTS « DOTPLOT »

Le diagramme à points (en anglais, dotplot) donne une représentation de la fréquence des valeurs regroupées par intervalle en représentant côte à côte l'ensemble des points associés aux valeurs dans l'intervalle. Lorsqu'ils sont utilisés pour plusieurs valeurs en abscisse (axe horizontal), comme ci-contre pour une trajectoire, ils peuvent être trompeurs car les points ne sont plus alignés avec leur valeur en abscisse, on peut donc penser qu'ils sont obtenus pour des valeurs différentes en abscisse.

7_ VIOLONS

Le violon permet de rendre compte de la fréquence d'obtention de chaque valeur. C'est comme si on dessinait les contours du dotplot. Plus le violon est large, plus la valeur est fréquente. Cependant, pour les dessiner, une interpolation est réalisée et peut être trompeuse : le violon peut avoir de l'épaisseur pour des valeurs qui n'existent pas dans les observations. En effet, le violon « lisse » le contour pour obtenir une forme arrondie.

On observe de manière encore plus visuelle qu'avec les box plot l'asymétrie de la distribution. La dispersion est plus grande pour les valeurs faibles par rapport à la moyenne. Cette distribution est « tirée » par la survie estimée de 20%.

Discontinuité dans les valeurs obtenues en 4^e et 5^e année. Distribution asymétrique : dispersion plus grande pour les valeurs de captures élevées. En 2027, majorité de simulations autour de 450t, avec de moins en moins de simulations pour des valeurs plus élevées. Au contraire pour les valeurs moins élevées, on note une discontinuité entre 430t et 300t, et de nombreuses simulations en-deçà.

8_ GRAPHIQUE EN BARRE DE LA DENSITÉ

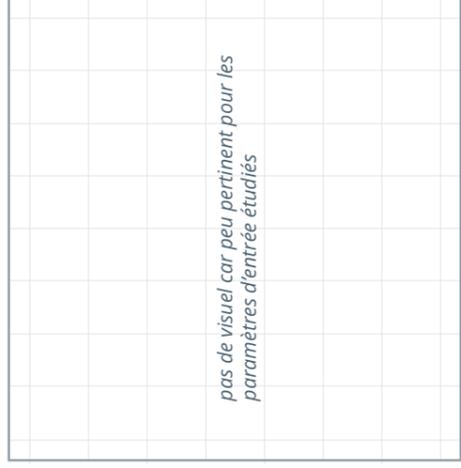
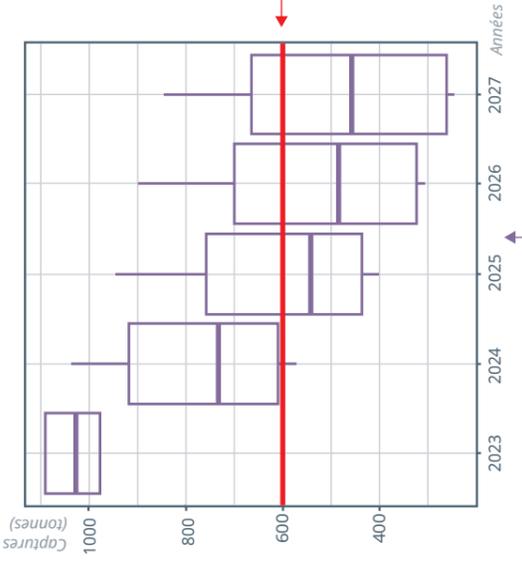
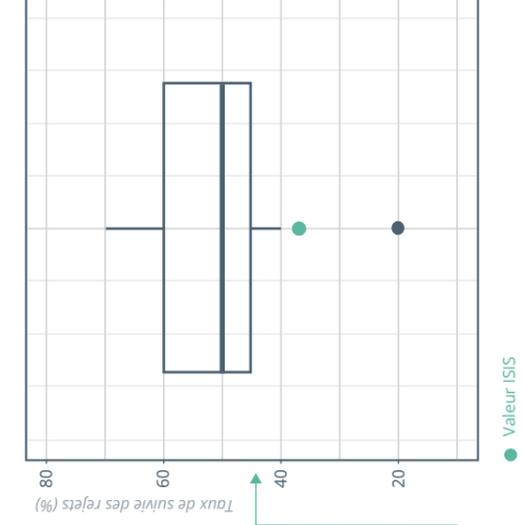
Le graphique en barre (en anglais, barplot) de la densité permet de rendre compte de la fréquence d'obtention de chaque valeur. Comme pour le violon, la densité est une interpolation et peut être trompeuse car cela donne l'illusion que toutes les valeurs en abscisse existent dans les observations. On peut lire en ordonnée la fréquence de la valeur dans les observations (approche la probabilité).

La valeur la plus fréquente est 50%

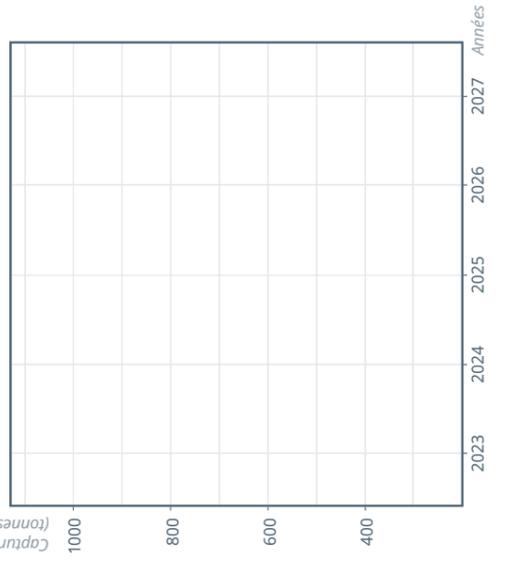
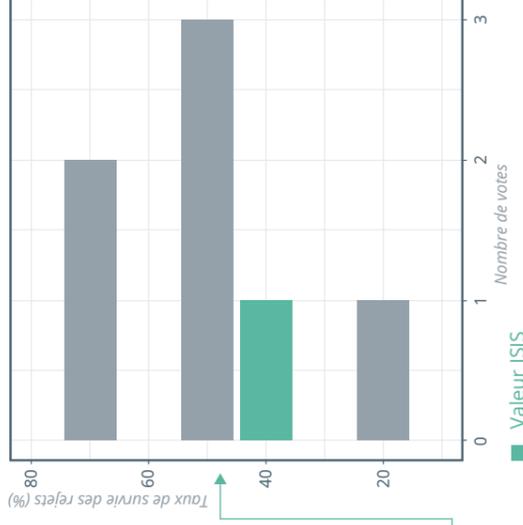
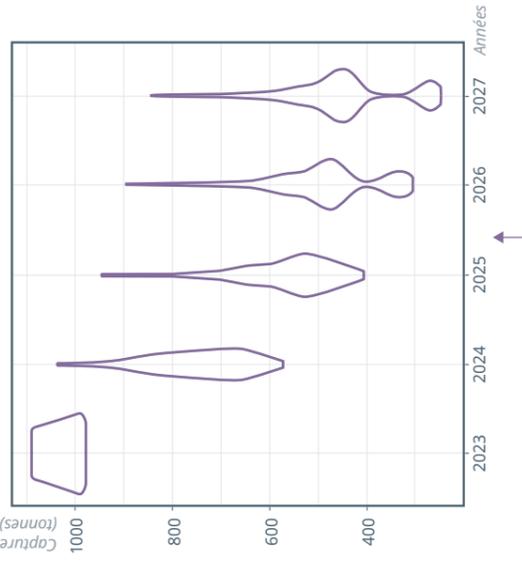
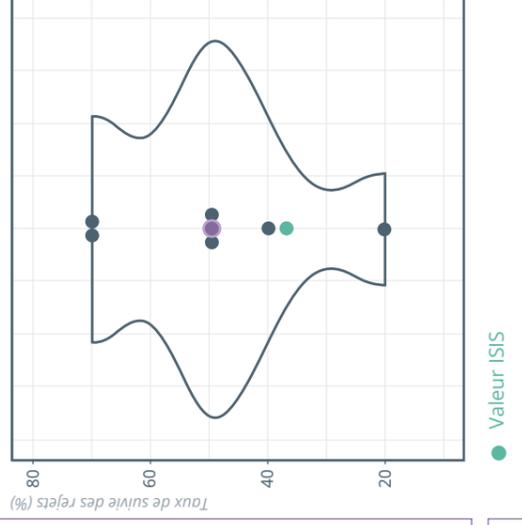
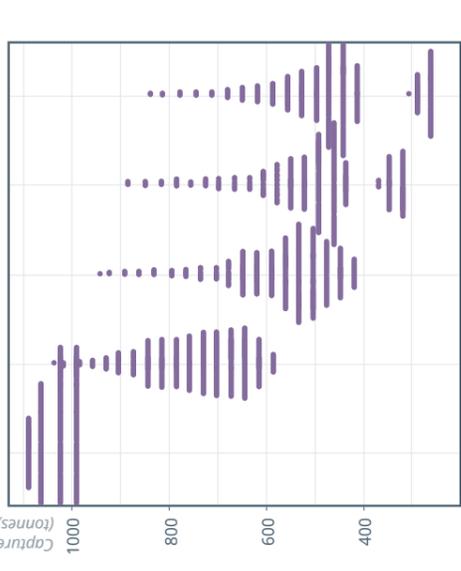
La ligne horizontale rouge indique l'objectif à atteindre (ici 600 tonnes). Elle permet de calculer le risque de ne pas atteindre l'objectif chaque année. Pour chaque année, le risque est la proportion de valeurs simulées au-dessous de la ligne divisée par le nombre total de valeurs simulées. Par exemple en 2023 le risque est nul, alors qu'en 2027 il est fort et égal à 90%.

PARAMÈTRES D'ENTRÉE

VARIABLES DE SORTIE



pas de visual car peu pertinent pour les paramètres d'entrée étudiés

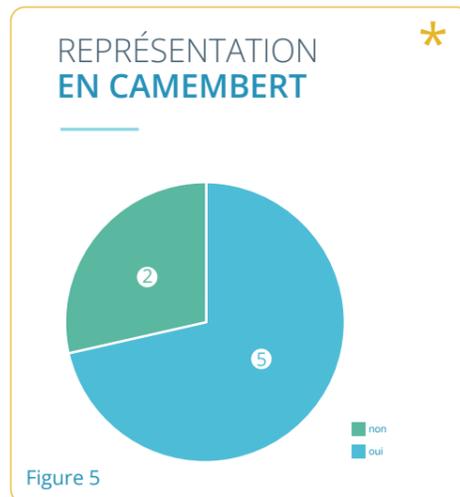


Incertitude sur les captures dès la première année (979t à 1091t) qui s'amplifie avec le temps (247t à 846t).

Figure 4

P2 LA DISPERSION LARVAIRE

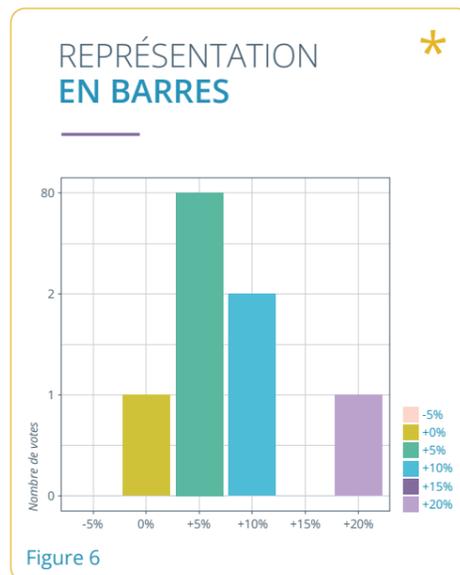
80 % des participants pensent qu'il y a de la dispersion larvaire chez la langoustine. Pour représenter les réponses à ce sondage à deux modalités (oui-non), deux modes de représentation ont été proposés (représentation en barres ou en camembert). C'est une représentation en camembert qui est unanimement retenue, considérée comme la plus visuelle et la plus pratique.



P3 LA DÉRIVE D'EFFICACITÉ

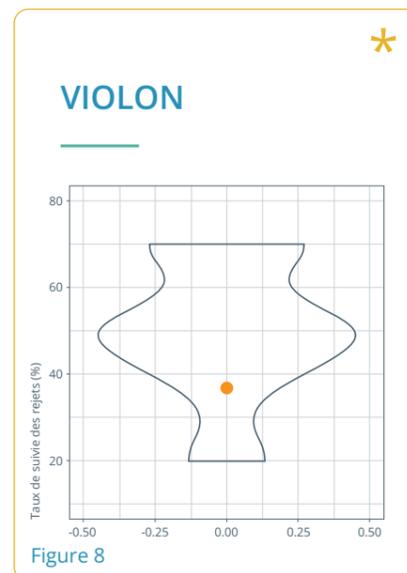
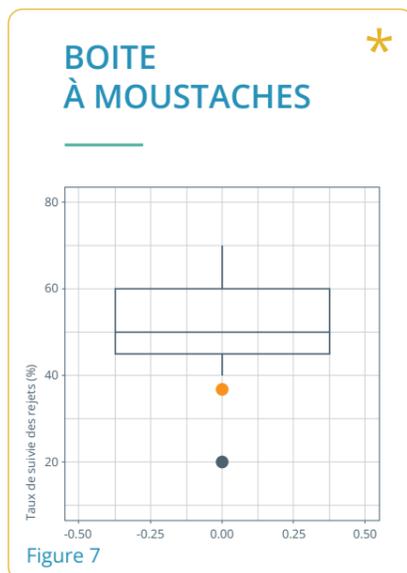
86 % des participants pensent qu'il y a une dérive dans le temps de l'efficacité de pêche. Pour représenter les réponses à ce sondage à six modalités (-5, 0, 5, 10, 15, 20 % de dérive de l'efficacité), c'est une représentation en barres qui est unanimement retenue.

Sur l'ensemble des votes, seule une personne considère qu'il n'y a pas de dérive, une majorité pense que la dérive est entre 5 et 10 % et une personne considère que cette dérive atteint 20 %.



P4 LA PROPORTION DE SURVIE

L'ensemble des participants considère qu'une partie des langoustines survit lors des opérations de rejet. Pour représenter les réponses à ce sondage, les représentations en violon et en boîte à moustaches (boxplot) sont retenues. Sur l'ensemble des votes, le pourcentage de survie le plus faible renseigné est de 20 % par un participant et le pourcentage maximal est de 70 % par 2 participants.



Présentation des valeurs possibles et de la représentation de l'incertitude choisie : combinaison des résultats du sondage E3 et E4 (sortie Klaxoon)

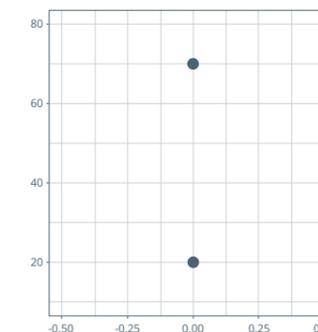
● Valeur ISIS

OUTIL PÉDAGOGIQUE COMMENT CONSTRUIT-ON UNE BOÎTE À MOUSTACHE ET UN VIOLON ?

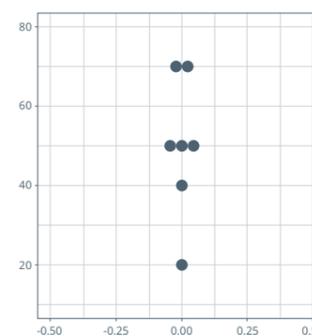
ÉTAPE 1

La première étape consiste en la caractérisation des valeurs minimale et maximale du paramètre. Pour la proportion de survie des rejets, les participants ont choisi respectivement 20 % et de 70 % (Min-Max). Cette représentation permet de rendre compte de la gamme de variation possible du paramètre et du positionnement de la valeur moyenne dans cet intervalle.

MIN-MAX



TOUTES LES VALEURS



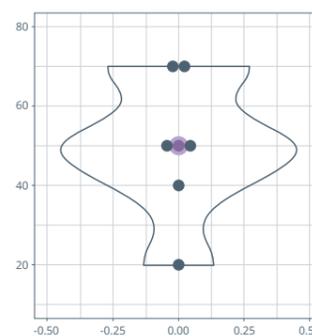
ÉTAPE 2

La deuxième étape consiste en la représentation de toutes les valeurs du paramètres. La plus faible valeur (20 % de survie) n'est choisie que par un participant. La valeur la plus souvent choisie est un taux de survie de 50 % (3 réponses) puis 70 % (2 réponses) et enfin 40 % (1 réponse).

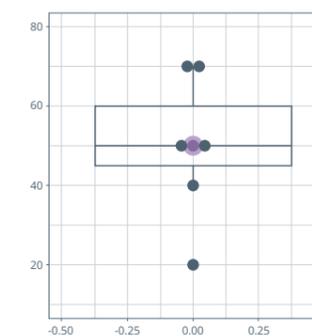
ÉTAPE 3

La troisième étape consiste à rendre compte de la distribution des valeurs et de leur fréquence d'apparition, 3 modes de représentation sont classiquement utilisés.

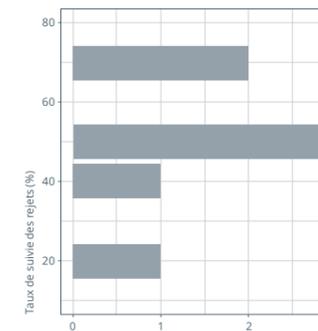
VIOLON



BOITE À MOUSTACHES



BARRES



● Médiane ● Moyenne

Figure 9

Le violon est le résultat de deux interpolations. L'interpolation des fréquences d'apparition des valeurs permet d'obtenir la densité de probabilité d'observation de ces valeurs. Le violon consiste à représenter cette densité avec son symétrique par rapport à l'axe central. En plus de la valeur moyenne, on peut aussi ajouter la valeur médiane (en violet, cf. glossaire). Ce mode de représentation en « courbe continue » pousse à extrapoler des fréquences pour des valeurs non observées.

La boîte à moustaches est un deuxième mode de représentation. La boîte représente l'ensemble des valeurs situées entre le premier et le troisième quartile (cf. glossaire). Cette représentation positionne toutes les valeurs par rapport à la médiane (barre horizontale dans la boîte). Les barres verticales au dessus et en dessous de la boîte indiquent les limites inter-quartiles (à 5 % et 95 %) représentant la distribution de 90 % des valeurs autour de la médiane. Ces barres sont appelées les moustaches. Les points au-delà des moustaches sont des valeurs souvent qualifiées d'« aberrantes ». Par exemple, ici la probabilité de survie égale à 20 % est jugée aberrante. Ce type de représentation montre une distribution des valeurs asymétrique par rapport à la médiane et une dispersion plus grande pour les valeurs faibles.

Le graphique en barres représente directement les fréquences de chaque valeur ou des valeurs regroupées en classe (Fig.9 - BARRES). Ici il s'agit des valeurs et non des classes. Cette dernière représentation permet de visualiser rapidement l'étendue des valeurs et la valeur la plus fréquemment donnée (50 %).

Quelle est l'incertitude en sortie du modèle (biomasse et captures) induite par l'incertitude des paramètres d'entrée ?
Comment la représenter ?

SIMULER LES CAPTURES ET LA BIOMASSE SUR 5 ANS AVEC LES VALEURS DE RÉFÉRENCE

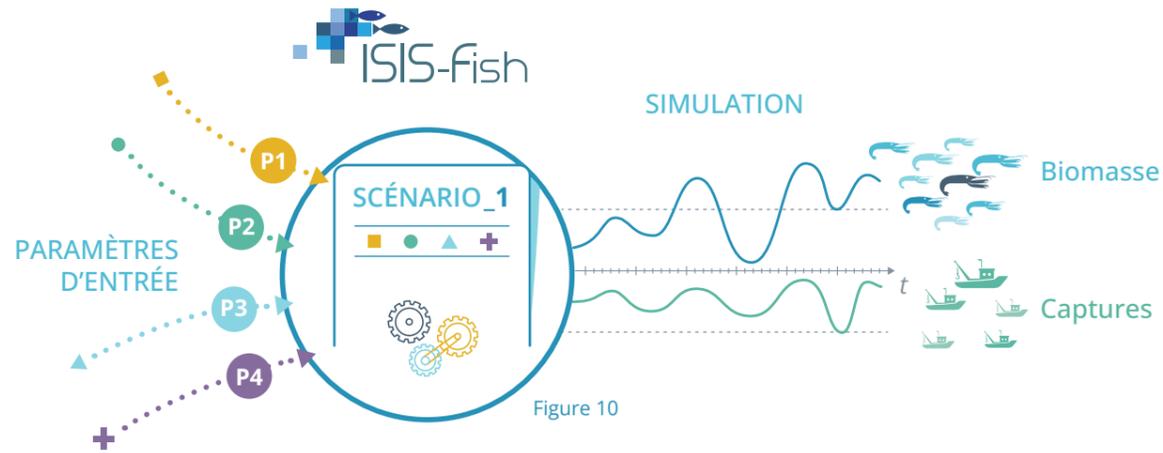


Figure 10

La simulation de référence (SCENARIO_1) correspond à la paramétrisation initiale (décrite page 4, Présentation du cas d'étude) de la pêcherie avec la réglementation taille minimale.

Pour évaluer les conséquences de l'incertitude des quatre paramètres d'entrée du modèle (la relation stock-recrutement, la proportion de survie, la dispersion larvaire et la dérive d'efficacité de pêche) sur les variables de sortie du modèle (captures et biomasse de langoustines sur 5 ans), nous avons simulé la pêcherie langoustinière pour un ensemble de valeurs possibles.

En sortie, on analyse les valeurs mensuelles de captures et de biomasse de la langoustine de la période 2023 à 2027. Ce plan de simulations est répété pour les 2 autres scénarios de gestion (SCENARIO_2 et _3).

PLAN DE SIMULATIONS AVEC LES VALEURS INCERTAINES

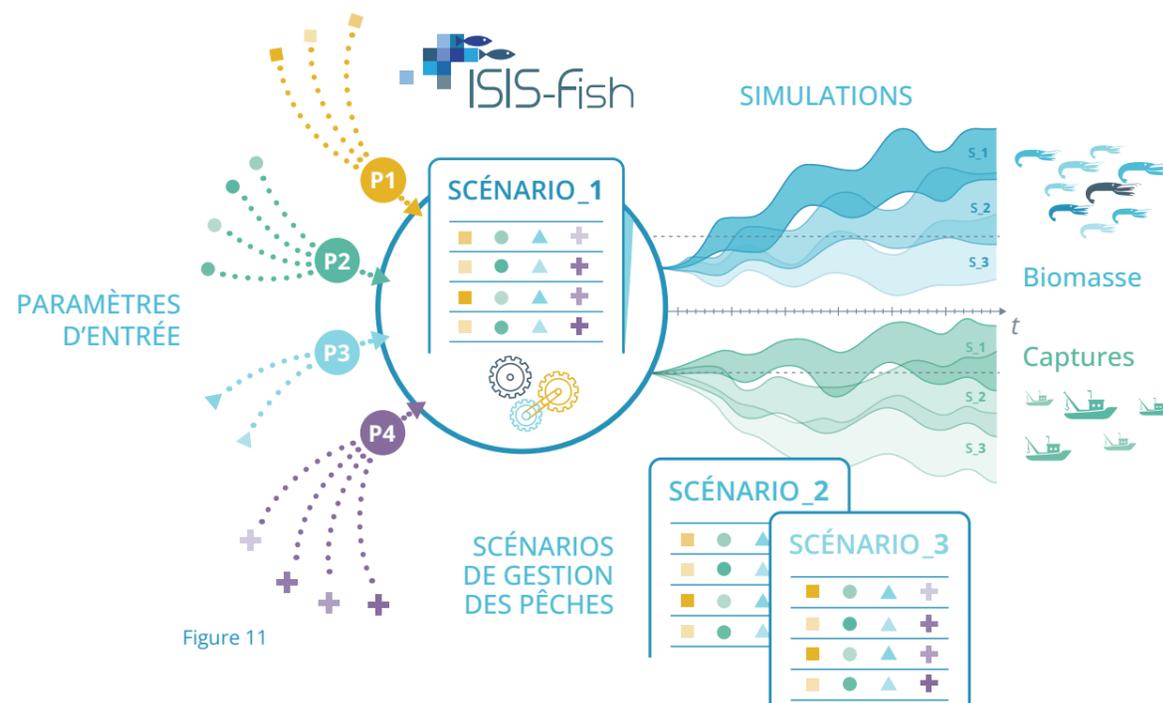


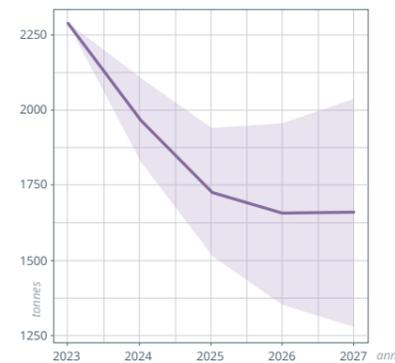
Figure 11

REPRÉSENTER L'INCERTITUDE SUR LES VARIABLES DE SORTIES DU MODÈLE

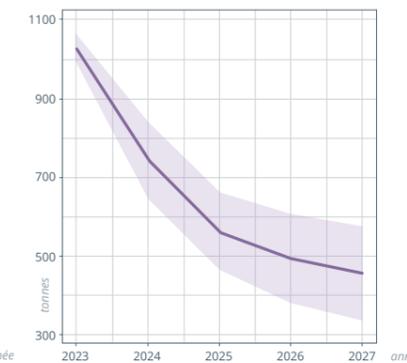
Dans le cas du scénario de référence, on observe l'évolution au cours du temps des trois variables de sortie : biomasse, captures annuelles et biomasse de reproducteurs (Fig. 12). Parmi toutes les représentations proposées de l'incertitude des variables de sortie (Fig. 3 et 4, calques 2 et 4), celle qui est majoritairement préférée est l'enveloppe.

La biomasse et les captures diminuent au cours des cinq années de simulation. La SSB diminue la première année et réaugmente en 4^e et 5^e années, sans atteindre le niveau initial. L'incertitude augmente au cours du temps, on parle de propagation de l'incertitude, en particulier sur la biomasse. Pour la SSB, il n'y a pas d'incertitude les trois premières années de simulation, témoignant du fait que les paramètres incertains qui concernent plutôt les petits individus au travers des rejets (probabilité de survie) et du recrutement (relation stock-recrutement) n'influencent pas beaucoup les individus matures avant 4 années de simulation. Les valeurs d'incertitude de dérive d'efficacité quant à elle ne sont très différentes qu'au bout de 3 ans de simulation et ne peuvent donc pas beaucoup influencer les sorties durant les 3 premières années de simulation. **Une même incertitude n'impacte donc pas les sorties de la même manière.**

BIOMASSE ENVELOPPE



CAPTURES ENVELOPPE



BIOMASSE DE GÉNITEURS (SSB) ENVELOPPE

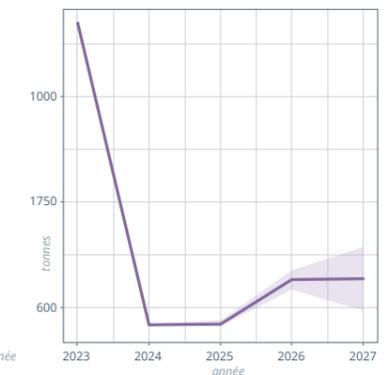


Figure 12 - Présentation du SCENARIO_1 avec l'incertitude induite par P1, P2, P3 et P4. Trajectoire d'évolution de la biomasse (gauche), des captures annuelles (centre) et de la biomasse de géniteurs (droite) utilisant une ligne pour la moyenne des simulations et une enveloppe pour visualiser l'écart-type.

L'écart type à la moyenne en 5^e année de simulation est de 300 t pour la biomasse, 100 t pour les captures et 50 t pour la SSB. D'autres représentations graphiques (non montrées) mettent en évidence un décrochage de certaines simulations par rapport à la tendance générale (l'une des relations stock-recrutement choisies produisant des valeurs de biomasse très inférieures aux autres). Certaines représentations mettent en évidence que pour un plus de 5 % des simulations la biomasse finale est supérieure à la biomasse initiale.

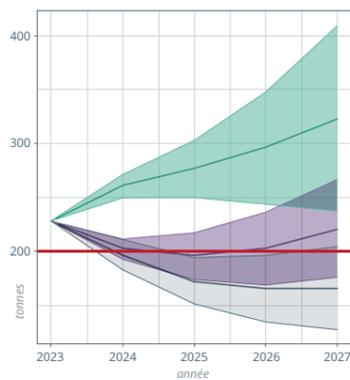
REPRÉSENTER L'INCERTITUDE DU DIAGNOSTIC SUR LES SCÉNARIOS DE GESTION EN UTILISANT LES VARIABLES DE SORTIE DU MODÈLE

Représenter sur un même graphique, les valeurs des variables de sortie pour les 3 scénarios permet de comparer leurs résultats et leur incertitude et ainsi de conclure sur la significativité des différences entre scénarios. Par exemple, dans le cas de la SSB (Figure 13), les trajectoires des scénarios AMP et de référence sont proches les trois premières années. Cependant l'incertitude est faible et on peut donc conclure que la SSB sera supérieure dans le scénario AMP la seconde année mais inférieure la première année. En fin de simulation, malgré une incertitude plus grande, les valeurs sont bien distinctes et les enveloppes ne superposent pas.

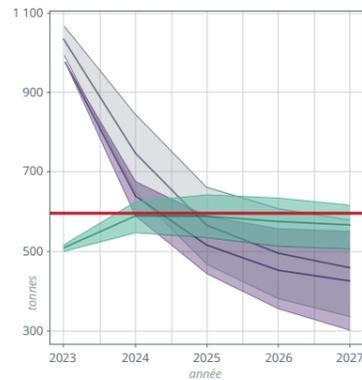
On peut dès lors conclure que le scénario TAC permettra de très largement augmenter la SSB par rapport au scénario AMP, et que quelque soit le scénario TAC ou AMP, la SSB sera plus importante qu'avec la gestion de référence (taille minimale). Pour les captures, la superposition des enveloppes d'incertitude rend le classement des scénarios difficile, et ce, même si les lignes des valeurs moyennes positionnent le scénario AMP en dessous du scénario de référence et du scénario TAC.

En effet, rapidement au cours de la simulation, les enveloppes se superposent et il est hasardeux de conclure en se basant sur les moyennes. D'autres représentations montrent néanmoins que le TAC produit fréquemment (> 95 % des simulations) des valeurs de captures supérieures à celles des deux autres scénarios (quantile 75 %) en dernière année de simulation. Elles montrent également que pour de rares combinaisons de paramètres (< 1 % des simulations), les captures sont plus élevées avec le scénario de référence qu'avec le TAC.

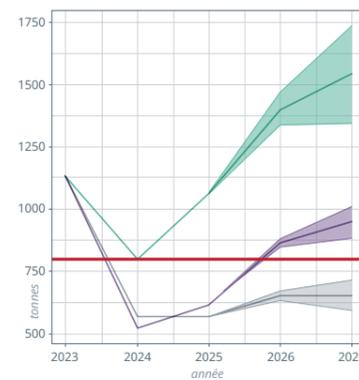
BIOMASSE ENVELOPPE



CAPTURES ENVELOPPE



BIOMASSE DE GÉNITEURS (SSB) ENVELOPPE



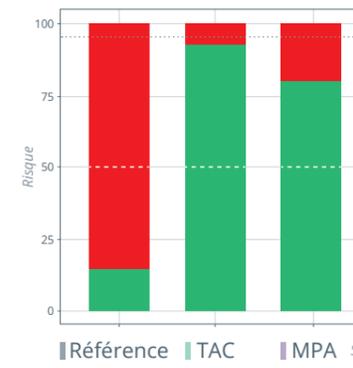
SCÉNARIOS : ■ Référence ■ TAC ■ AMP

Figure 13 - Trajectoires d'évolution de la biomasse (gauche), des captures annuelles (centre) et de la biomasse de reproducteurs (droite) dans les trois scénarios simulés (référence, TAC et AMP) représentés par des couleurs différentes. La représentation utilise une ligne pour la moyenne des simulations et une enveloppe pour visualiser l'écart-type. La ligne rouge horizontale représente la valeur de l'objectif pour chaque variable.

RISQUE

Le risque ne peut être quantifié qu'en comparant les sorties à des objectifs de gestion (symbolisé par la ligne rouge dans la Fig. 13). Les simulations montrent que l'objectif de biomasse n'est en moyenne pas atteint dans le scénario de référence et qu'il l'est en moyenne dans le cas d'un TAC (Fig. 13 - BIOMASSE). Cependant, le risque est plus facilement compris en évaluant la fréquence d'atteinte (ou non atteinte) d'un objectif que par le biais des enveloppes autour de la moyenne. Ainsi la représentation en boîte à moustaches est intéressante puisqu'elles donnent accès à la proportion des simulations au-dessus (resp. en dessous) d'une certaine valeur. La représentation du risque en barre (rouge/verte) où la hauteur de la barre rouge est égale à la proportion de simulations n'atteignant pas l'objectif et la hauteur de la verte est égale à la proportion d'atteinte de l'objectif a été privilégiée par les participants à l'atelier. Ici on représente le risque d'atteinte de l'objectif de gestion en dernière 2027 (Fig. 14). On voit donc que même si en moyenne l'objectif est atteint en fin de simulation avec un TAC, il existe un risque supérieur à 5 % qu'il ne le soit pas.

BIOMASSE RISQUE



CAPTURES RISQUE

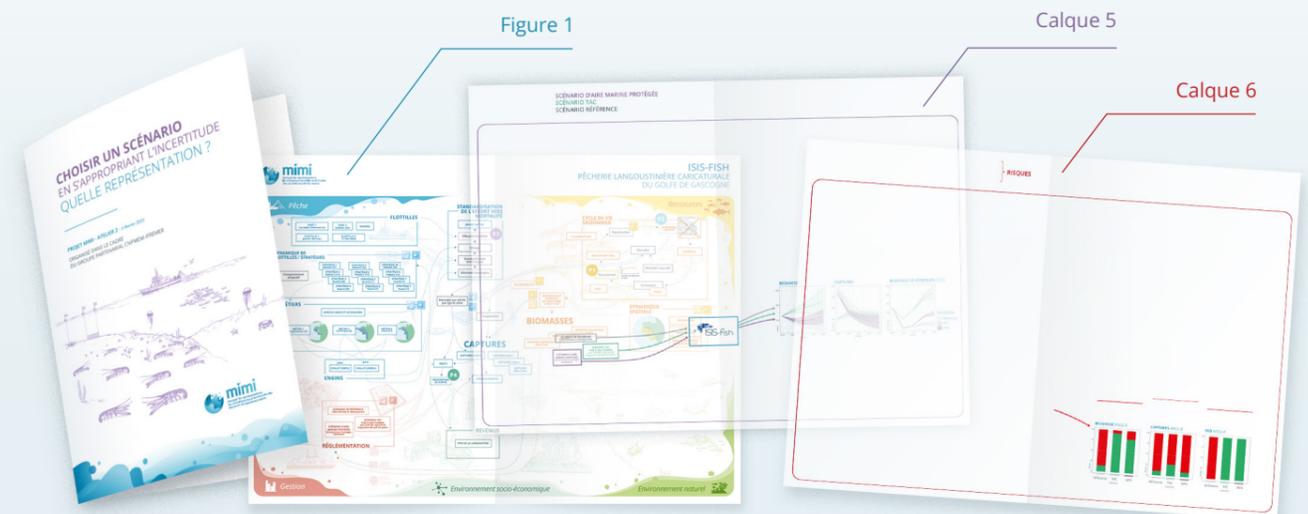


BIOMASSE DE GÉNITEURS (SSB) RISQUE

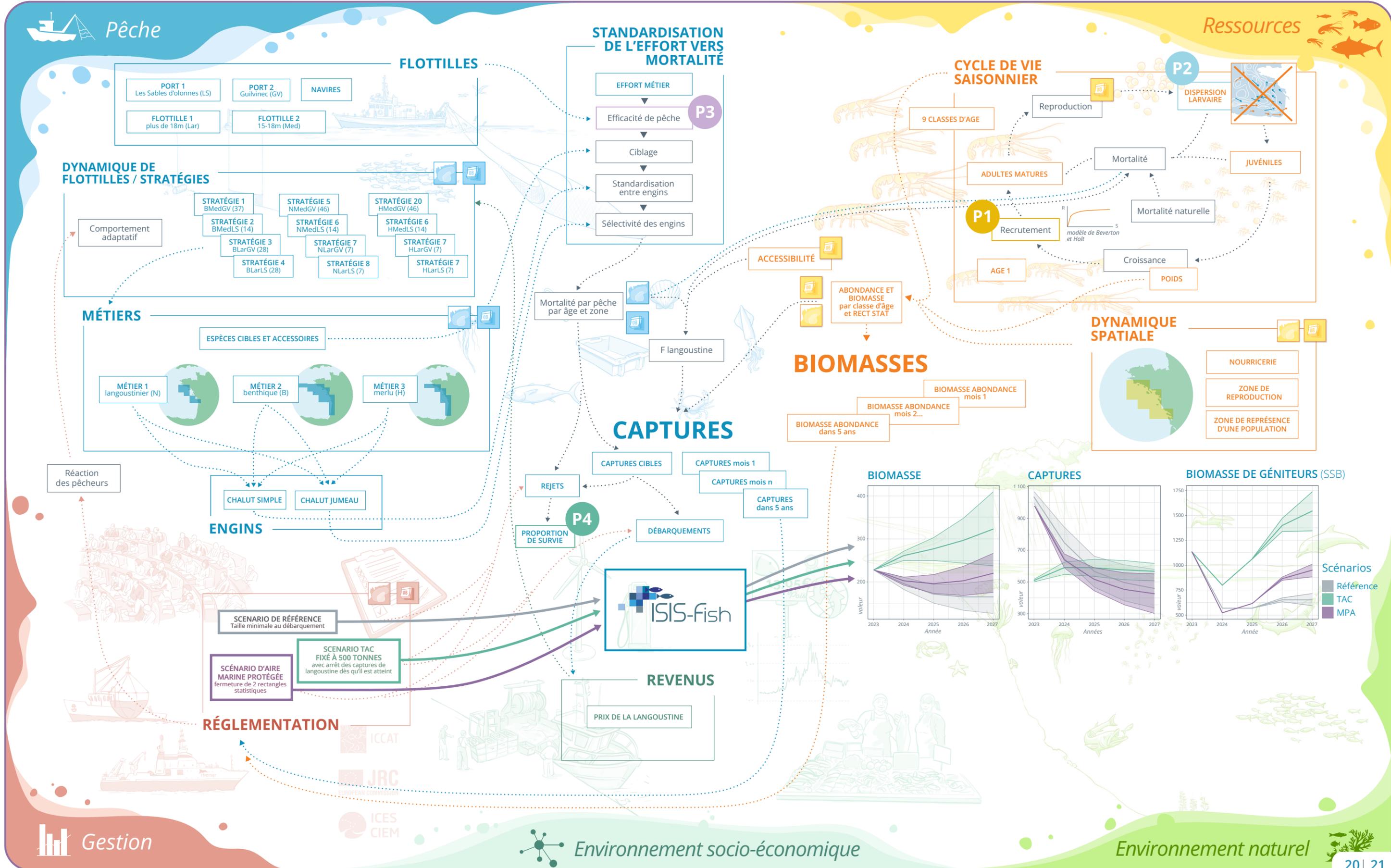


■ Risque de ne pas atteindre l'objectif ■ Risque d'atteindre l'objectif

Figure 14 - Risque associé à l'atteinte des objectifs en fin de simulation pour les trois variables considérées biomasse (gauche), captures annuelles (centre) et biomasse de reproducteurs (droite) dans les trois scénarios simulés (référence, TAC et AMP). Il est calculé comme la proportion des simulations dans lesquelles l'objectif est atteint.



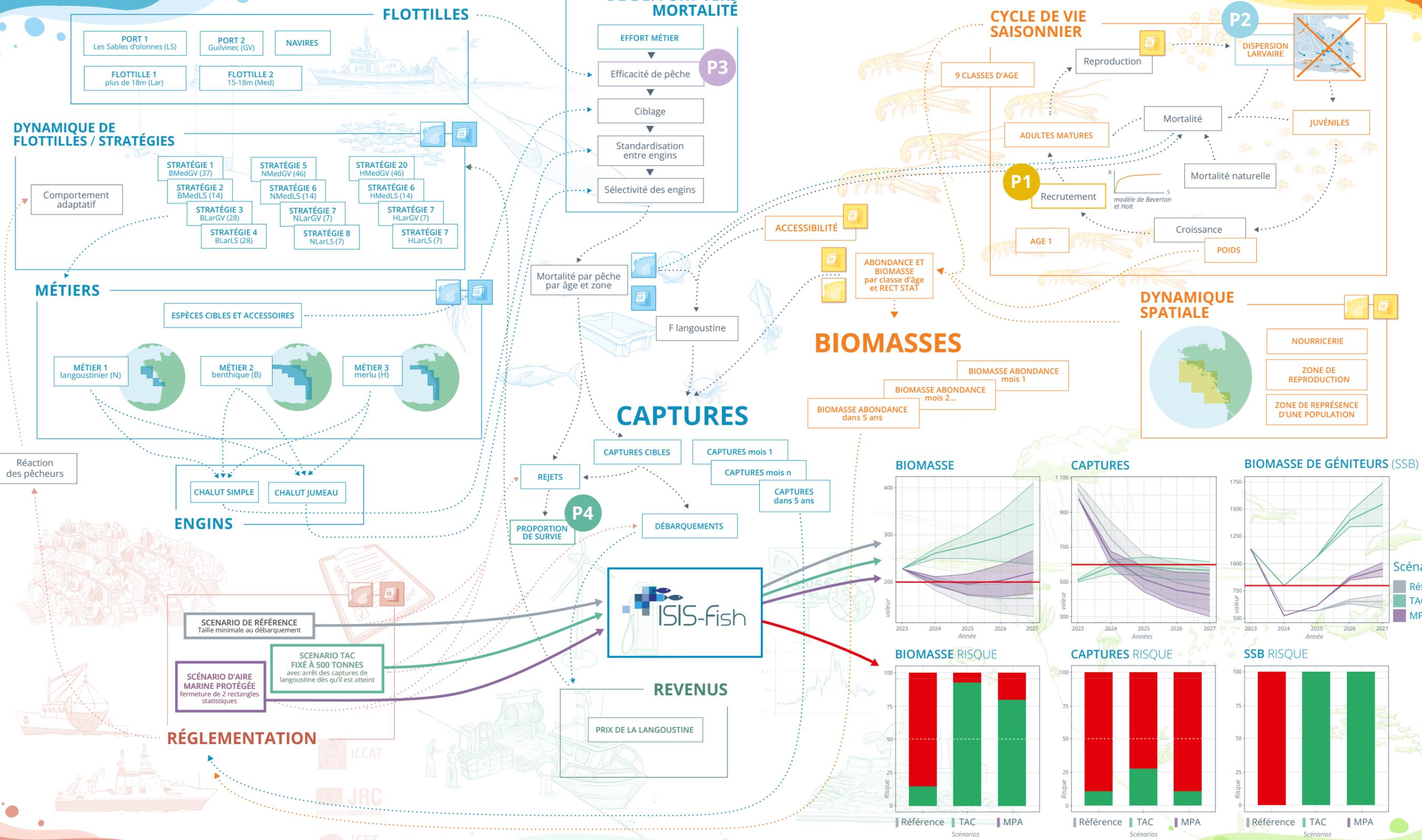
Consultez la Figure 1 en apposant le calque 5 pour visualiser les 3 scénarios de gestion et le calque 6 pour la représentation des risques.



Calque 5 Figure 1

Pêche

Ressources



Peut-on identifier les paramètres qui influent le plus ? Peut-on les trier et identifier ceux sur lesquels on pourrait travailler collectivement pour espérer avoir moins d'incertitude en sortie ?

PRÉSENTER L'IMPORTANCE, LE POTENTIEL D'AMÉLIORATION ET LA PRÉCISION DES VARIABLES

Les incertitudes en entrée du modèle entraînent des incertitudes sur les captures et la biomasse simulées par le modèle, qui rendent parfois difficile le choix d'une mesure de gestion parmi plusieurs comme nous avons pu le voir pour les captures (Fig.13). Pour éviter cet écueil, il faut réduire les incertitudes des paramètres en améliorant la connaissance sur tous les paramètres. Une telle stratégie peut être très coûteuse. Pour prioriser les paramètres sur lesquels on va chercher à réduire l'incertitude, il est intéressant d'estimer l'influence de chaque paramètre sur les sorties et d'identifier ceux qui ont à la fois la plus forte influence et dont le potentiel de réduction de l'incertitude le plus important.

L'analyse de sensibilité est une méthode qui permet de quantifier l'influence des paramètres sur les captures et la biomasse. En exploitant les simulations du plan de simulations, on peut calculer un indice de sensibilité par paramètre sur chaque sortie (captures et biomasse) et ordonner les paramètres incertains selon leur influence.

Dans le modèle, le paramètre le plus influent sur les captures est la dérive d'efficacité de pêche, suivie de la relation stock-recrutement alors que seule la relation stock-recrutement influe fortement la biomasse (Fig. 15). Les deux paramètres les moins influents sur les deux variables de sorties sont la dispersion larvaire et la survie des langoustines.

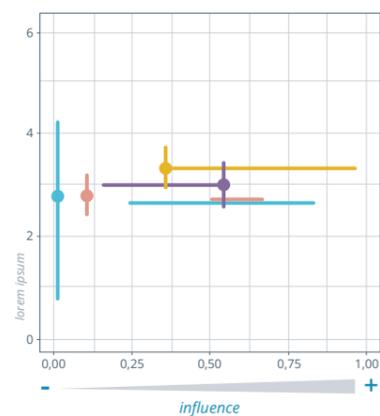
Il est intéressant de comparer ce résultat issu du modèle à l'a priori des participants que nous avons questionnés avant de faire tourner le modèle. Les estimations sont assez différentes entre les participants, sauf pour la survie de la langoustine (barres horizontales, Fig. 15). Relativement à l'estimation du modèle, il apparaît qu'ils surestiment l'influence des paramètres biologiques et sous-estiment celle de l'efficacité de pêche. Si on fait une moyenne des estimations des participants, l'influence la plus forte selon les participants sur les deux variables de sortie est attribuée aux 3 paramètres biologiques (Fig. 15).

Pour évaluer le potentiel de réduction de l'incertitude de chaque paramètre, nous avons interrogé les participants sur les possibles améliorations de la connaissance sur les 4 paramètres (sur une échelle de 1 à 5).

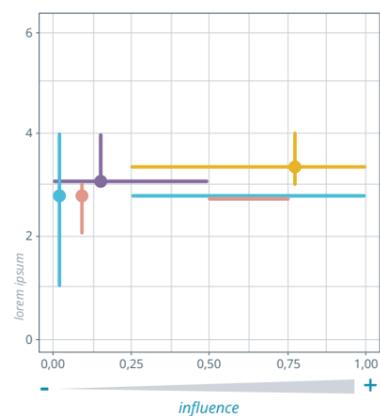
Les participants considèrent que tous les paramètres ont un bon potentiel d'amélioration (autour de 3 sur 5), même si les perceptions sont plus variables pour la dispersion larvaire (barre verticale la plus longue, Fig. 15). Les deux paramètres qui ont le potentiel d'amélioration le plus fort (dans l'ordre relation stock-recrutement et efficacité de pêche) sont aussi ceux qui ont le plus d'influence sur les captures et la biomasse (Fig. 15). Cette configuration est très favorable pour chercher à améliorer la précision des captures et de la biomasse en sortie du modèle et faciliter le choix d'un scénario de gestion.

Dans cette perspective, on pourrait se concentrer sur la réduction de l'incertitude sur la relation stock-recrutement et la dérive d'efficacité de pêche.

INFLUENCE CAPTURES



INFLUENCE BIOMASSE



● Relation Stock-Recrutement ● Dispersion larvaire ● Efficacité de pêche ● Survie des langoustines

Figure 15 - Représentation de l'influence des paramètres sur les captures et du potentiel de réduction de leur incertitude. Le point désigne l'estimation avec le modèle de l'influence du paramètre entre 0 et 1. Plus le point est à gauche (proche de 0) moins il est influent, et inversement plus un point est à droite plus il est influent. Il y a un point par paramètre. Pour chaque paramètre (chaque point), la barre horizontale désigne la gamme d'influence relative estimée par les participants au début de l'atelier, et la barre verticale la gamme relative de potentiel réduction de leur incertitude.

CONCLUSIONS

Le travail de cet atelier a reposé sur un modèle très stylisé de la pêcherie langoustinière inspirée de la pêcherie de la grande vasière dans le golfe de Gascogne (pour une paramétrisation plus réaliste, voir le projet FFP Macco, www.macco.fr).

Les résultats ainsi obtenus, notamment en matière de choix de scénario, doivent être interprétés au regard de cette simplification et ne sont pas généralisables.

En revanche, la démarche de caractérisation et de représentation de l'incertitude est reproductible pour des modélisations plus complexes de pêcheries et pour d'autres paramètres que ceux retenus ici à la suite de l'atelier 1. Par ailleurs, la démarche globale construite sur les deux ateliers peut être appliquée à d'autres modèles que le modèle ISIS-FISH.

Cet atelier a permis de montrer comment poser un diagnostic sur les conséquences de scénarios de gestion malgré des incertitudes sur le fonctionnement d'une pêcherie.

Les représentations graphiques des modèles et de l'incertitude des paramètres d'entrée et des variables de sortie des modèles, produites lors de ces ateliers ont pour vocation d'être utilisées comme un support didactique, mis à disposition des participant·es des ateliers.

La démarche a permis d'identifier les paramètres incertains d'un modèle de capture et biomasse à 5 ans, et de qualifier leur influence et leur potentiel d'amélioration. Une suite à ces ateliers sera de travailler collectivement à l'amélioration de la connaissance des paramètres influents potentiellement améliorables, en produisant de la connaissance scientifique et en intégrant la connaissance de terrain ou empirique des pêcheurs.



GLOSSAIRE

DÉRIVE D'EFFICACITÉ DE PÊCHE : Évolution moyenne de la capacité à capturer le poisson accessible (efficacité / puissance = capacité à capturer le poisson accessible) (<https://halieutique.institut-agro-rennes-angers.fr/files/fichiers/pdf/136.pdf>)

PROPORTION DE SURVIE DES REJETS : Proportion (entre 0 et 1) de survie des captures non débarquées pour des raisons diverses (taille illégale, poisson endommagé, absence de marché ou dépassement de quotas) (source : Ifremer, Gardons la Pêche)

DISPERSION LARVAIRE : La dispersion larvaire inclut la ponte, le transport larvaire (ie déplacement des larves résultant du transport physique et du comportement de nage des larves sur la verticale), la survie larvaire, puis la sédentarisation des larves à l'issue de leur durée de vie larvaire. (<https://emarinlab.obs-banyuls.fr/plus/images/Observer/Glossaire-dispersion-larvaire.pdf>)

RELATION STOCK-RECRUTEMENT S/R : Lien entre le nombre de jeunes poissons devenant accessibles à la pêche (Recrutement) et l'effectif des géniteurs approximé par la biomasse féconde (Stock)

MOYENNE : La moyenne est l'indicateur le plus simple pour résumer l'information fournie par un ensemble de données statistiques : elle est égale à la somme de ces données divisée par leur nombre.

MÉDIANE : La médiane est le point milieu d'un jeu de données ordonnées, de sorte que 50 % des observations ont une valeur inférieure ou égale à la médiane et 50 % des observations ont une valeur supérieure ou égale. C'est aussi le 2^e quartile.

BOITE À MOUSTACHE : Représentation graphique de la distribution de données reposant sur 5 éléments de la distribution : minimum, premier quartile, médiane, troisième quartile, maximum. La longueur des moustaches peut valoir 1,5 * écart interquartile.

RISQUE : Dans MiMi, le risque est défini par la probabilité de ne pas atteindre l'objectif fixé (ex. que la biomasse < Blim).

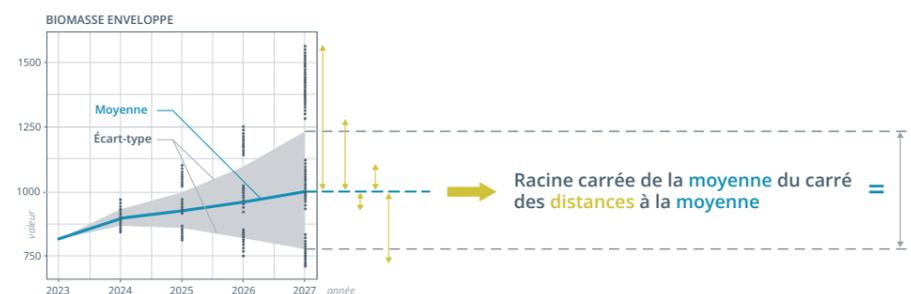
INDICE DE SENSIBILITÉ : L'indice de sensibilité d'un paramètre sur une variable, mesure de l'influence du paramètre sur une variable.

QUANTILE : Les quantiles sont des valeurs qui divisent un jeu de données en intervalles de même fréquence.

QUARTILE : Il existe 3 quartiles. Chacune des trois valeurs divisent les données triées en quatre parts égales, de sorte que chaque partie représente 1/4 des valeurs. Le quartile fait partie des quantiles. Le premier quartile est la valeur qui délimite le premier quart de valeurs observées. Le deuxième quartile est la médiane. Le troisième quartile est la valeur au-delà de laquelle se trouve le dernier quart des valeurs les plus grandes.

ÉCART TYPE : L'écart type est une mesure de dispersion des valeurs observées autour de leur moyenne. Il est obtenu en calculant l'écart de chaque valeur à la moyenne (flèches jaunes), en faisant la moyenne de ces écarts au carré, puis en prenant la racine carrée de cette moyenne. C'est l'écart « type » de la variable observée. Il est égal à la racine carrée de la variance.

INCERTITUDE : L'incertitude c'est la dispersion des valeurs possibles d'une variable. Elle se mesure avec des statistiques de dispersion (écart-type, variance, quantiles...).



PRÉCISION ET CONFIANCE : La précision, représente l'incertitude relativement à un niveau de confiance. Par exemple, la précision à 90%, c'est la dispersion de 9 valeurs sur 10. Plus l'incertitude est faible, plus la précision est grande. Plus le niveau de confiance est grand, plus la précision est faible.

DISTRIBUTION : La distribution d'une variable est le profil des valeurs, c'est-à-dire l'ensemble des valeurs possibles et leur fréquence d'apparition.

CRÉDITS

CONTACTS PROJETS

Stéphanie Mahévas
Stephanie.Mahevas@ifremer.fr

Sophie Pardo
Sophie.Pardo@univ-nantes.fr

REMERCIEMENTS

La direction scientifique de l'Ifremer, les modélisateurs ISIS-Fish (Dedah Ahmed-Babou, Pierre Bourdaud, Étienne Joubert, Jean-Baptiste Lecomte, Antoine Ricouard, Charlotte Sève, Pablo Vajas), Gilles Lazuech (Maitre de Conférence en Sociologie), Oscar Navarro (Professeur en Psychologie sociale et environnementale).

ÉQUIPES SCIENTIFIQUE D'ANIMATION

Vincent Badts, Sigrid Lehuta, Stéphanie Mahévas, Sophie Pardo, Youen Vermard (animateur modèle et scribe), Morgane Travers-Trolet.

LES PARTICIPANTS (PROFESSIONNELS & ARTISTES)

Emmanuel Bassinet (CRPM Occitanie), Jérôme Blin (photographe), Perrine Cuvilliers (OP du Sud), Bruno Dachicourt (CFTC), Jérôme Fihey (com), Maxime Labat (médiateur scientifique), Julien Lamothe (FROM Sud-Ouest), Franck Le Barzic (OP COBRENORD), Nicolas Michelet (CNPMM), Perrine Mornay (metteuse en scene - partie en fin de matinée), Solène Prevalet (FROM Nord), Morgane Ramonet (CDPMEM 29),

DONNÉES

Mahevas Stephanie, Lehuta Sigrid (2024). Modelling marine ecosystems and choosing a management scenario that takes uncertainty into account - the MIMI experiment. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/99834>



<https://projet-mimi.fr>