

# Présentation de l'outil « Exploration d'indicateurs thermiques liés à l'écologie du saumon Atlantique en eau douce »

12/11/2024

Martin LUQUET, Cédric TENELIER, Emilien LASNE

Contact : Martin Luquet, [martin.luquet.pro@gmail.com](mailto:martin.luquet.pro@gmail.com)

Le but de ce document est de présenter succinctement le fonctionnement de [l'application Shiny](#) développée dans l'objectif d'explorer des jeux de données de température en cours d'eau et de caractériser la variation d'indicateurs thermiques liés à l'écologie du saumon Atlantique (*Salmo salar*) adulte en montaison (et potentiellement d'autres organismes).

## 1. Objectif de l'application

L'objectif de l'appli est d'**explorer des jeux de données de température** afin de **caractériser la variation d'indicateurs liés à l'écologie du saumon Atlantique** (principalement adulte, pendant la montaison). Des indicateurs « écologiquement pertinents » ont été caractérisés à partir d'informations trouvées dans la littérature portant sur l'écophysiologie du saumon Atlantique, mais également en s'inspirant d'indicateurs développés chez d'autres taxons (voir plus bas). L'objectif de l'application est d'identifier, dans un jeu de données de température affilié à un cours d'eau, les profils de variation de ces différents indicateurs : lesquels ont plus ou moins tendance à varier, lesquels marquent ou non des tendances temporelles, et le degré de covariation entre ces indicateurs. Ainsi, un objectif de l'application peut être d'identifier des variables « potentiellement critiques » pour la conservation ou la gestion du saumon dans un cours d'eau particulier, et potentiellement d'indiquer à quelles conditions particulières il faut faire attention au-delà de caractéristiques très générales comme la température moyenne annuelle (conditions qui ne seront pas forcément les mêmes en fonction du cours d'eau !).

A ce stade, il s'agit encore d'une version beta qui ne demande qu'à être améliorée, tant au niveau de ses fonctionnalités que dans la diversité et l'exhaustivité des indicateurs qu'elle permet d'explorer (et aussi clairement dans la clarté et l'optimisation du code...). Le développement de l'application a été pensé de façon à ce que ses utilisateurs puissent eux-mêmes y ajouter leurs propres indicateurs (bien que cela demande une certaine connaissance de l'environnement R ; voir ci-dessous). Cependant, elle fonctionne déjà en tant que telle.

## 2. Contenu du dossier

Le dossier est construit comme suit :

- Dans le dossier principal se trouve ce **README**, un fichier PDF nommés **pistes\_amelioration.pdf**, un fichier « R Project » (**Temp\_indices\_salmon\_app.Rproj**) et trois sous-dossiers **Data**, **Documents** et **R**.
- Le fichier **Temp\_indices\_salmon\_app.Rproj** est le projet R permettant de lancer l'appli.

-- Le dossier **Data** contient des exemples de jeux de données pour l'exploration d'indicateurs thermiques : il s'agit des jeux de données de température mesurées dans les 4 cours d'eau de l'ORE DiaPFC.

-- Le dossier **Documents** contient des documents détaillant le choix et le calcul des indicateurs implémentés dans l'application (voir 3. Choix des indicateurs).

-- Le dossier **R** contient les scripts .R permettant de lancer l'appli. En particulier, il contient le script **tempIndices\_shinyApp.R** qui permet de lancer l'appli en tant que telle, ainsi qu'un dossier **Functions** contenant diverses fonctions appelées en interne (plus de détail dans les parties 5 et 6).

-- Le pdf **pistes\_amelioration.pdf** contient une liste d'améliorations envisageables pour l'appli (bien sûr sentez-vous libres de vous en saisir 😊).

### 3. Choix des indicateurs

#### 3.1 Caractérisation des indicateurs

Les indicateurs ont été identifiés de différentes façons :

- Dans la littérature sur l'écologie thermique et la physiologie du saumon. La littérature a été épluchée afin de caractériser les composantes importantes de la relation entre température et survie du saumon Atlantique pendant la montaison. Ces composantes concernent à la fois la résistance et la tolérance à des températures stressantes, à la capacité des saumons à s'acclimater ou encore aux coûts d'opportunité liés à leur performance. Pour plus de simplicité dans l'utilisation de l'application, elles ont été divisées en 6 catégories (voir section 3.2), mais certains indicateurs peuvent être présents dans plusieurs de ces catégories.
- A notre connaissance, il n'existe pas encore vraiment de tels indicateurs ayant été développés pour le saumon Atlantique (d'où notre démarche), mais quelques-uns ont été développés pour d'autres espèces de salmonidés : ils ont donc été directement repris dans l'application.
- Enfin, il existe une vaste littérature sur le choix d'indicateurs « écologiquement informés » au-delà des salmonidés : sans bien sûr en faire une revue exhaustive, nous nous en sommes inspirés pour le développement de certains indicateurs, notamment grâce à la revue de González-Trujillo et al. (2023).
- Il convient de noter que notre revue de la littérature n'a **pas eu la vocation d'être exhaustive ni systématique**. Des composantes importantes de l'écologie du saumon ou des indicateurs inter-taxons pertinents ont pu être ignorés. Notre démarche vise avant tout à présenter un panel d'indicateurs indicatif de la diversité et de la complexité des relations entre température environnementale et survie du saumon, sans forcément en être totalement représentatif : c'est aussi pour cette raison que l'utilisateur est encouragé à ajouter ses propres indicateurs dans l'application pour compléter son exploration, s'il le souhaite.
- Le choix des indicateurs est détaillé dans les fichiers présents dans le dossier **Documents** :
  - o « Indicateurs.xls » présente un par un les indicateurs proposés, en détaillant leur calcul, la fonction utilisée dans R pour les calculer (dans le script **R/Functions/indices\_list.R**), les mécanismes biologiques sous-jacents et les références bibliographiques associées.
  - o Il existe également un **Google Sheet** qui détaille les informations ayant été prélevées dans chaque source pour conduire les indicateurs : [ici](#)

### 3.2 Catégorisation des indicateurs

Dans cette version, les indicateurs ont été « rangés » dans les catégories suivantes :

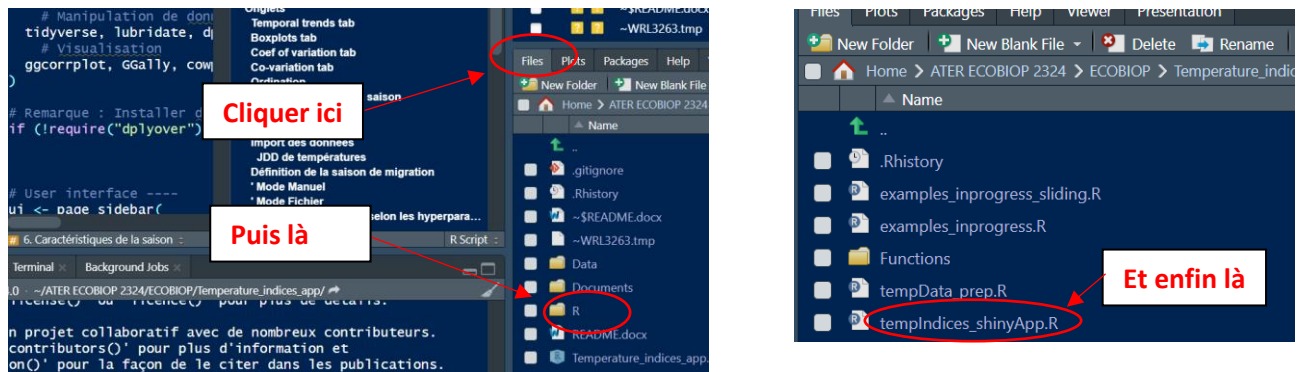
- **Indices généraux** : il s'agit d'indices simples assez généraux et synthétiques qui sont probablement corrélés à la mortalité des saumons, mais ne sont pas associés à un mécanisme particulier (ou sont probablement le reflet d'une multiplicité de mécanismes agissant conjointement) : il s'agit par exemple des températures moyennes et maximales enregistrées pendant la saison de migration, etc.
- **Dépassement de Tcrit** : il s'agit d'indicateurs qui traduisent la fréquence, la durée et l'intensité des événements où la température est un facteur de stress direct pour les poissons car la température « seuil » critique **Tcrit** a été dépassée – baisse drastique de performance due au passage à la respiration anaérobie, altération des fonctions physiologiques, accumulation d'acide lactique et de déchets métaboliques, etc. Par simplicité, les indicateurs correspondant au dépassement de la température létale **CTmax** sont aussi inclus dans cette catégorie (voir plus bas et dans les **Documents**).
- **Canicules** : ces indicateurs traduisent la fréquence, la durée et l'intensité des « canicules », définies comme les périodes où la température a dépassé un seuil stressant pour les poissons pendant un temps trop long pour permettre la récupération physiologique.
- **Fluctuation des températures** : ces indicateurs traduisent la variabilité des conditions thermiques, indicatrice de la difficulté des saumons à s'acclimater (physiologiquement et/ou au niveau comportemental) – mais qui peut aussi dans certaines conditions améliorer leur faculté à s'acclimater (voir les **Documents** pour plus de détails).
- **Acclimatation** : concerne d'autres indicateurs liés à la capacité d'acclimatation des poissons : rapidité/brutalité des variations thermiques, fréquence de l'exposition à des températures jamais expérimentées avant, différence entre les conditions pré- et post- stress, etc.
- **Effets sublétaux** : indicateurs illustrant le rôle que la température peut avoir sur la fitness des poissons sans pour autant constituer un stress direct (coûts d'opportunité liés par exemple à la résistance aux maladies ou à la performance de l'activité de nage).

## 4. Présentation et utilisation de l'application

### 4.1 Lancement de l'application

Si vous n'avez pas spécialement l'intention de modifier le code, l'appli est trouvable en ligne à **ce lien** : [https://martinluquetecology.shinyapps.io/salmon\\_temp\\_indices/](https://martinluquetecology.shinyapps.io/salmon_temp_indices/)

Alternativement, pour utiliser l'application, vous pouvez lancer le projet R **Temperature\_indices\_app.Rproj**, puis de charger le script **tempIndices\_shinyApp.R** depuis R (Dans RStudio, aller dans l'onglet Files, puis cliquer sur le dossier R, puis cliquer sur **tempIndices\_shinyApp.R** comme dans l'image ci-dessous). Exécuter ce code lancera l'appli (attention, il demande le chargement de certains packages, qui s'installeront présents s'ils ne sont pas déjà présents dans la bibliothèque).



Une fois l'application lancée, si tout a bien marché la fenêtre suivante apparaît.

Exploration d'indicateurs thermiques liés à l'écologie du saumon Atlantique en eau douce

Choisir un fichier de température

Browse... No file:

Définition de la saison :

-----

Indicateurs à afficher

Hyperparamètres

Temporal trends   Boxplots   Coefficients of variation   Metrics covariation   PCA   Season features

Options

☐ Add smoother

☐ Add linear trend

☐ Show statistics (linear)

☐ Group variables (windows)

## 4.2 Chargement des données

La première étape est de charger un jeu de données de température. Pour ce faire il suffit de cliquer sur « Browse » et d'aller chercher le JDD en question sur votre PC. Dans sa version actuelle, l'appli pose quelques contraintes sur la structure du jeu de données :

- Il doit être au format **.csv**, avec un **délimiteur point-virgule** et une **virgule pour la séparation des décimales**.
- Il doit contenir **au moins** les colonnes suivantes : une colonne **YEAR** qui correspond à **l'année de capture**, une colonne **DAYN** correspondant au **numéro de jour** dans l'année (pas à la date), et trois colonnes **Tmoy**, **Tmin** et **Tmax** correspondant respectivement aux températures **moyennes**, **minimales** et **maximales** mesurées chaque jour. Le calcul des indicateurs ne marchera pas si l'une de ces colonnes est manquante. Par contre le jeu de données peut contenir d'autres colonnes.
- Le jeu de données ne doit **pas contenir de données manquantes** (« NA »). Si l'utilisateur a des données manquantes, la charge lui revient de choisir une procédure d'imputation de ces données selon sa connaissance de son jeu de données (ou d'enlever les années où trop de données manquent). Dans une future version, une procédure d'imputation de données manquantes pourrait éventuellement être ajoutée à l'appli mais ce n'est pas prévu dans l'immédiat.

- Il vaut mieux que **les années soient complètes**, c'est-à-dire qu'on ait bien une ligne pour chaque jour de chaque année, du 1<sup>er</sup> janvier au 31 décembre. En fait, l'appli tournera même en cas d'années incomplètes mais risque de donner des résultats aberrants.

#### 4.3 Définition de la saison

Avant que tout résultat s'affiche, la seconde étape est de choisir un mode de définition de la saison. En effet, de nombreux indicateurs sont calculés le long d'une fenêtre temporelle donnée, correspondant à la saison de migration des saumons adultes : par exemple, le cumul des températures au-delà d'un seuil de telle date à telle date. Il convient donc de définir les dates de début et de fin de la saison de migration. Ici, deux choix s'offrent à l'utilisateur : définir la saison **manuellement** ou grâce à un **fichier de captures**.

- **Mode Manuel** : Si l'utilisateur choisit le mode « Manuel » (image ci-contre), alors il peut choisir les dates de début et de fin de la saison en faisant défiler les curseurs. Les nombres affichés correspondent aux numéros de jours dans l'année qui correspondent à ces dates (pour une année non-bissextile typique : par exemple le jour 1 correspond au 1<sup>er</sup> Janvier et le jour 60 au 1<sup>er</sup> Mars – l'appli se chargera de recalculer les données pour les années bissextiles). Notez que si l'utilisateur n'a aucune idée des dates de début et de fin de saison, rien ne l'empêche de définir la saison comme correspondant à toute l'année (du jour 1 au jour 365), dans ce cas les indicateurs seront définis sur l'année entière.
- **Mode Fichier de captures** : l'utilisateur peut également choisir de définir la saison à partir d'un fichier de captures de saumons. Dans ce cas, l'appli définira la saison comme la période allant du **5<sup>e</sup> centile au 95<sup>e</sup> centile des dates où des saumons sont capturés**. Comme vous pouvez le voir dans l'appli ci-contre, l'utilisateur a une option supplémentaire : définir la période comme « Fixée » ou « Glissante ». S'il coche la case « Fixée », alors les dates de début et de fin de saison seront fixées pour l'ensemble de la période échantillonnée, en fonction de *l'entière des données*. La saison correspondra à la période allant du 5<sup>e</sup> au 95<sup>e</sup> centile des dates de captures sur l'ensemble des années et sera définie de la même façon pour l'année  $n$  et pour l'année  $n+1$ . Si l'utilisateur coche la case « Glissante », alors la saison sera définie de façon *différente chaque année* : la saison de l'année  $n$  correspondra à la période allant du 5<sup>e</sup> au 95<sup>e</sup> centile des dates de captures pour cette année-là.
  - Là aussi des contraintes s'appliquent à la structure du fichier : il doit être au format csv, avec un **délimiteur point-virgule** et une **virgule pour la séparation des décimales**. Il doit également contenir une ligne par capture, une colonne YEAR correspondant à l'année et une colonne DAYN indiquant le numéro de jour de l'année pour chaque capture. Le jeu de données peut contenir d'autres colonnes.
  - Notez que rien n'empêche de cocher à la fois la case « Fixée » et la case « Glissante » : dans ce cas les indicateurs seront calculés pour les deux options et l'utilisateur pourra comparer les 2.

Définition de la saison :

Manuel ▼

Season start date:

1 60 365

Season end date:

1 274 365

Définition de la saison :

Fichier de captures ▼

Choisir un fichier de captures

Browse... salm

Finishing upload

La période est

☒ Fixée

☐ Glissante

#### 4.4 Exploration des indicateurs

Une fois le(s) jeu(x) de données chargé(s) et le mode de définition de la saison choisi : l'utilisateur devrait alors voir apparaître une liste d'indicateurs qu'il est possible d'afficher en bas à gauche de son écran. Il devrait obtenir une arborescence dont les 6 principales catégories correspondent à la

typologie générale des indicateurs, contenant chacun un certain nombre d'indicateurs (certains indicateurs peuvent se trouver dans plusieurs catégories à la fois), comme dans l'image ci-dessous. L'utilisateur a alors la possibilité de sélectionner les indicateurs qu'il souhaite afin d'en explorer la (co-)variation.

**Définition de la saison :**

Manuel ▼

**Date de début de la saison :**

1 55 365

**Date de fin de la saison :**

1 60 365

**Options**

- ☐ Add smoother
- ☐ Add linear trend
- ☐ Show statistics (linear)
- ☐ Group variables (windows)

**Indicateurs à afficher**

- ☒ Indices généraux
- ☒ avWarmHw\_c20\_n3
- ☒ sdSeas\_fixed
- ☒ avSeas\_fixed
- ☒ avWarmJA\_fixed
- ☒ avWarm90perc\_fix
- ☒ maxSeas\_fixed

**Cliker ici pour afficher tous les indicateurs correspondant à cette catégorie**

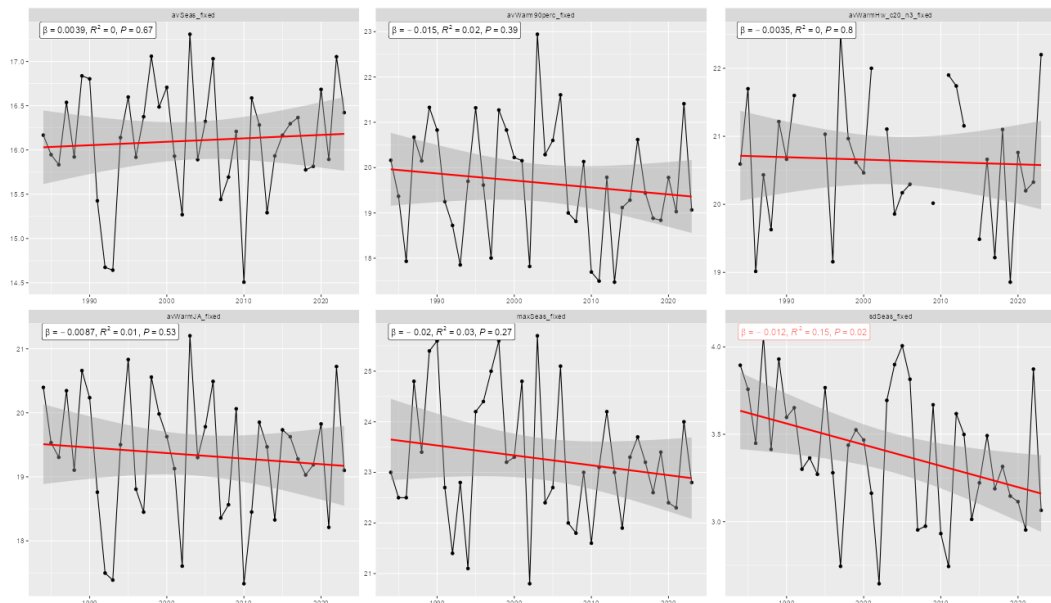
**Cliker ici pour sélectionner tous les indicateurs de cette catégorie**

Ensuite, l'utilisateur peut explorer les caractéristiques des indicateurs sélectionnés dans chacun des onglets suivants :

Tendances temporelles   Boxplots   Coefficients de variation   Co-variation   ACP   Caractéristiques saison

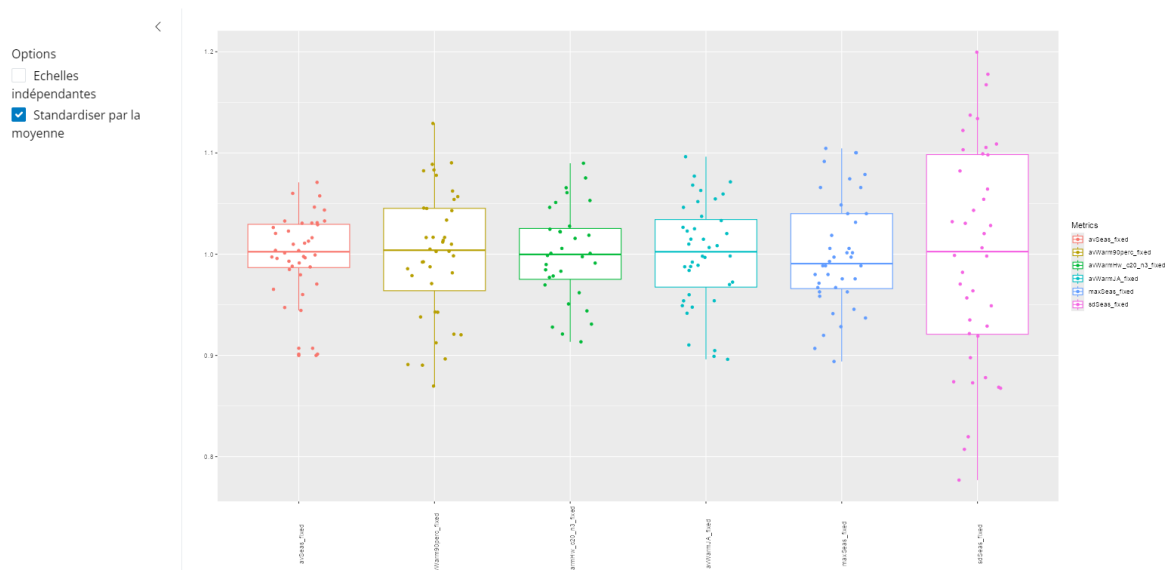
- **Tendances temporelles** permet d'observer la variation de chaque indicateur année par année.
  - o « Smoother » ajoute une fonction lissante (LOESS ou GAM pour les très gros jeux de données) afin de visualiser la tendance générale.
  - o « Tendance linéaire » permet de visualiser la pente de la régression linéaire de l'indicateur en fonction de l'année (avec IC95).

- « Statistiques (linéaire) » affiche les stats de la régression linéaire (si « Tendance linéaire » est coché) : coefficient de la pente,  $R^2$  et p-value. Le texte s'affichera en couleur si la relation est significative (bleu si positive, rouge si négative).
- Grouper les variables (fenêtres) : cette option ne s'applique que si l'utilisateur a choisi « Fichier de captures » comme mode de définition de la saison et qu'il a coché à la fois « Fixée » et « Glissante ». Dans ce cas, cocher cette case permet de visualiser les deux variantes de chaque indicateur sur les mêmes graphiques (cela permet notamment de voir si choisir l'un ou l'autre mode de définition des fenêtres temporelles change substantiellement le calcul des indicateurs).



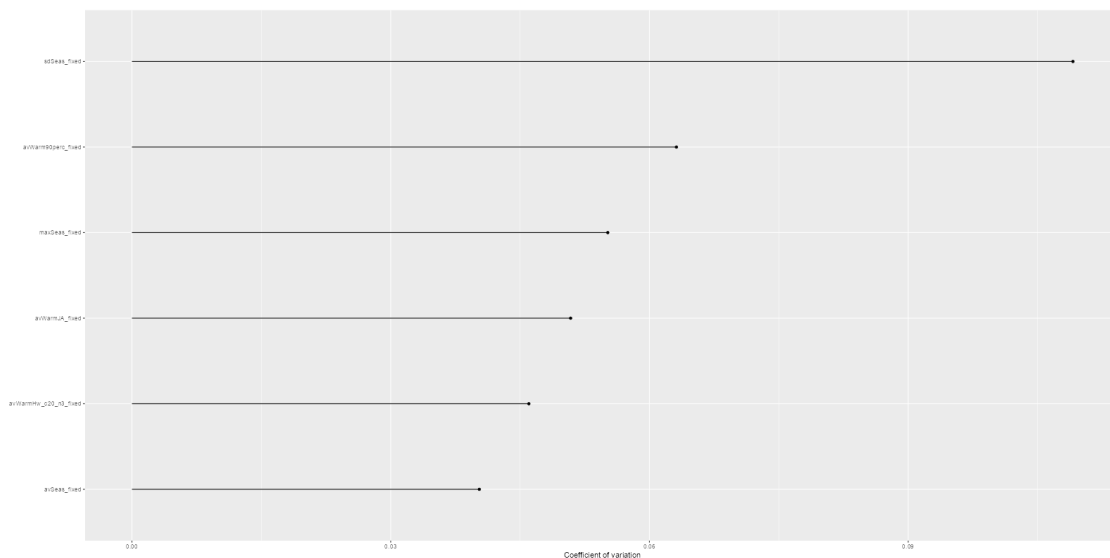
*Un exemple sur quelques indicateurs avec les données « Nivelle »*

- **Boxplots** permet de visualiser la variation des données pour chaque indicateur. Par défaut, les boîtes à moustache sont centrées sur la médiane de chaque indicateur et les points correspondent aux données, permettant d'en visualiser la variation.
  - La différence d'échelle entre les variables peut gêner la visualisation de certaines d'entre elles. L'option « Echelles indépendantes » permet d'obtenir une échelle différente pour l'axe des ordonnées de chaque variable.
  - Par ailleurs, la même différence d'échelle rend difficile la comparaison entre les variables. L'option « Standardiser par la moyenne » divise chaque point par la moyenne de l'indicateur : ainsi, la variation des points autour de la moyenne devient comparable pour chaque indicateur sur une échelle commune.
    - Attention, cette approche ne fonctionne pas toutefois pour des variables ayant une moyenne très proche de 0. C'est le cas pour *devMaxPrevYear* par exemple (dans la catégorie « **Acclimatation** »).



Un exemple sur quelques indicateurs avec les données « Nivelle » (ici la saison est définie manuellement comme allant du jour 60 de l'année au jour 292). Ici la variable `sdSeas_fixed` semble être celle qui varie le plus si on la rapporte à son échelle.

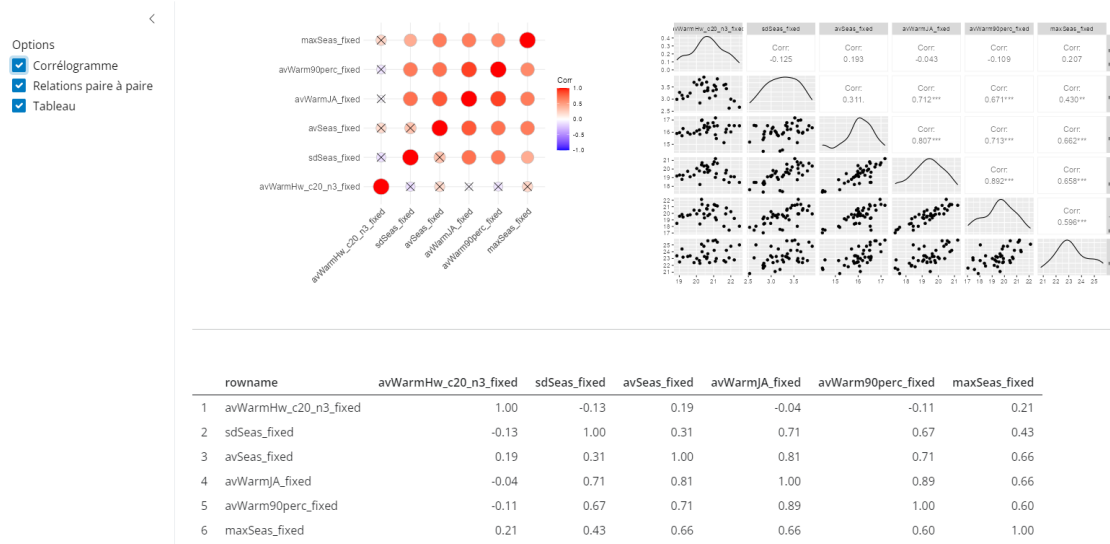
- **Coefficients de variation** affiche les coefficients de variation (écart-type/moyenne) associés à chaque indicateur, par ordre décroissant. Il permet donc également de comparer les profils de variation des indicateurs, même à des échelles différentes.
  - o Même commentaire ici : attention aux variables ayant une moyenne très proche de 0 telles que `devMaxPrevYear`. Pour ce genre de variable le coefficient de variation pourra être très élevé (à cause d'une division par un petit nombre) sans forcément être signe d'une forte variation inhérente à l'indicateur.



Un exemple sur quelques indicateurs avec les données « Nivelle ». Comme on pouvait déjà le voir dans le graphique précédent, la variable `sdSeas_fixed` est celle qui montre la plus grande variation rapportée à son échelle.



- L'onglet **Co-variation** permet de visualiser les patrons de covariation et de corrélation entre les indicateurs. Plusieurs options peuvent être cochées en même temps pour explorer plusieurs facettes de ces patrons.
  - « Corrélogramme » (coché par défaut) permet de visualiser rapidement la corrélation entre chaque paire d'indicateur. Un cercle barré indique que la corrélation linéaire n'est pas significative ; un cercle non-barré indique une relation significative. Le périmètre du cercle indique la force de la corrélation et sa couleur indique à la fois sa force et sa direction comme indiqué dans la légende à droite.
  - L'option « Relations paire à paire » permet de représenter par un nuage de point la relation entre chaque paire de variables. Elle affiche également la valeur du coefficient de chaque corrélation pour sa paire, ainsi que sa significativité, et la distribution de chaque variable (sous la forme d'une estimation de sa densité). **Attention : l'affichage de ce graphique est long pour un grand nombre de variables et il devient de toute façon illisible. Je conseillerais de ne l'utiliser que pour analyser la covariation d'un petit nombre d'indicateurs en même temps (pas plus d'une douzaine).**
  - L'option « Tableau » affiche le coefficient de la corrélation linéaire pour chaque paire de variables.

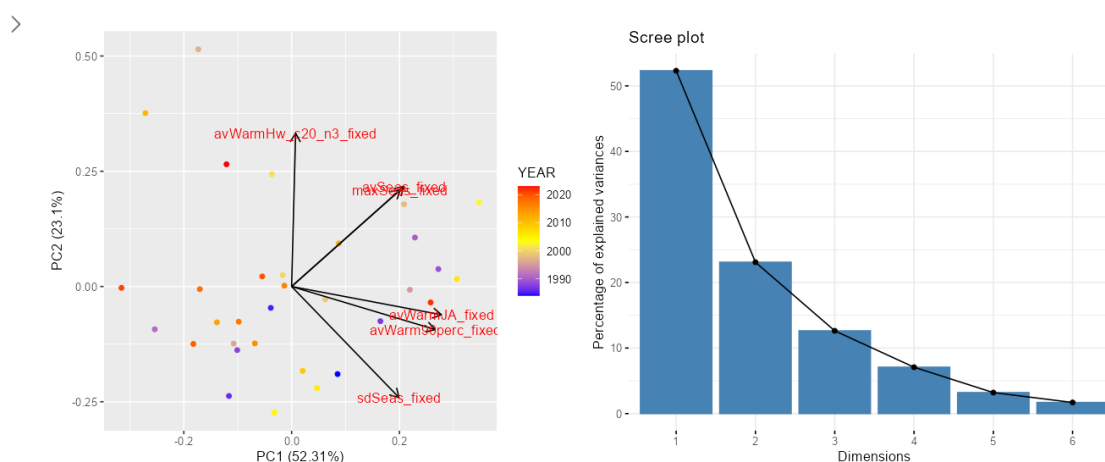


Un exemple sur quelques indicateurs avec les données « Nivelle ».

- L'onglet **ACP** permet de réaliser une analyse en composantes principales à partir des indicateurs choisis.
  - « Représentation 2D » permet de visualiser les données le long des 2 axes principaux de l'ACP. Les flèches montrant la contribution de chaque indicateur aux axes sont également représentées.
  - « Contribution des axes » montre la contribution de chaque axe à l'ACP (en termes de pourcentage de la « variance expliquée »).
  - « Cercle des corrélations » permet de visualiser rapidement la contribution de chaque variable aux deux axes principaux (valeurs le long des axes = corrélation entre la variable et l'axe).
  - « Tableau » donne la contribution de chaque variable à chaque dimension de l'ACP (matrice des valeurs propres).

- « Enlever les variables avec des NA ». Cette option est importante. En effet, lors du calcul des indicateurs, il est possible que l'utilisateur obtienne des NA sur certaines années (par exemple, si un indicateur correspond à une moyenne de valeurs au-delà d'un seuil mais que ce seuil n'est jamais dépassé pendant la saison, alors la valeur obtenue sera NA). Dans ce genre de cas, il y a deux options possibles pour l'ACP. L'option par défaut est d'**enlever les années où il y a une donnée manquante (NA) pour au moins un indicateur**. Avec cette option on perd donc l'information que portent les autres variables pour les années en question. La seconde option est celle qui s'applique en cochant la case « Enlever les variables avec des NA » : elle consiste plutôt à enlever les indicateurs pour lequel au moins une donnée est manquante. Cette approche évite de « perdre des années » mais fait à la place « perdre des indicateurs ».

Tendances temporelles   Boxplots   Coefficients de variation   Co-variation   ACP   Caractéristiques saison



Un exemple avec les données « Nivelle » (notez qu'il est possible de cacher la liste des options pour une meilleure visibilité, en cliquant sur la petite flèche en haut à gauche).

- L'onglet **Caractéristiques saison** permet simplement d'afficher certaines caractéristiques de la saison de migration choisie. A ce stade, il affiche simplement les dates de début et de fin de saison.

#### 4.5 Choix des hyperparamètres

Une dernière chose que l'utilisateur peut modifier sont ce qu'on a appelé les « hyperparamètres » : il s'agit de seuils ou d'autres paramètres qui vont conditionner la valeur des variables choisies. En effet, un certain nombre d'indicateurs dépend du choix de paramètres liés à la biologie des saumons, dont les valeurs exactes ne sont pas connues ou dépendent d'une population à une autre, voire au sein d'une population. Pour prendre en compte cette variation et cette incertitude, l'utilisateur a la possibilité de modifier et de tester plusieurs valeurs en cliquant sur l'onglet « Hyperparamètres » (voir ci-dessous).

Cliquer ici pour faire dérouler

Choisir un fichier de température

Browse...
No file

Définition de la saison :

----

**Hyperparamètres**

**T<sub>opt</sub>**

☐ 12
 ☐ 13
 ☐ 14
 ☐ 15
 ☒ 16
 ☐ 17
 ☐ 18
 ☐ 19
 ☐ 20
 ☐ Adapt

**T<sub>crit</sub>**

☐ 16
 ☐ 17
 ☐ 18
 ☐ 19
 ☒ 20
 ☐ 21
 ☐ 22
 ☐ 23

**N**

☐ 1
 ☐ 2
 ☒ 3

**nY**

☐ 1
 ☐ 2
 ☒ 3
 ☐ 4
 ☐ 5

L'utilisateur a la possibilité de modifier les hyperparamètres suivants :

- **T<sub>opt</sub>** : la **température optimale** (en °C), représentant la valeur de température pour laquelle les performances des poissons sont optimales. Elle peut s'échelonner de 12 à 20°C pour représenter la variation présente dans la littérature (voir le document « Documents/Indicateurs.xls »). L'onglet « Adapt » permet de tester l'hypothèse adaptative que la température optimale pour les saumons adultes d'un cours d'eau correspond à la température moyenne dans ce cours d'eau pendant la saison de migration (Breau 2013), **T<sub>opt</sub>** sera alors calculée en fonction.
- **T<sub>crit</sub>** correspond à la **température critique** (en °C) au-delà de laquelle les saumons passent de la respiration aérobie à anaérobie et où la température commence à devenir un facteur de stress pouvant générer de la mortalité directe (par le biais de différents mécanismes, voir Documents). Elle peut être comprise entre 16 et 23°C pour prendre en compte la variation présente dans la littérature (voir le document « Documents/Indicateurs.xls » pour plus d'infos).
- **CT<sub>max</sub>** correspond à la **température létale** (en °C) correspondant au seuil thermique critique maximal, au-delà duquel la survie des saumons devient nulle. Cet indicateur peut être compris entre 24 et 33°C pour prendre en compte la variation présente dans la littérature (voir le document « Documents/Indicateurs.xls » pour plus d'infos).
- **N** correspond au nombre de jours minimal pour définir une « canicule », c'est-à-dire une période où la température est stressante pendant trop longtemps pour permettre la récupération physiologique ou l'acclimatation comportementale par les saumons (Breau 2013) : cet hyperparamètre conditionne le calcul de nombreux indicateurs, notamment dans la catégorie... « Canicules ».
- **nY** correspond à un nombre d'années de décalage entre l'année en cours et une année précédente. Actuellement il ne sert qu'à calculer qu'un seul indicateur, *devMaxPrevYear*, c'est-à-dire l'écart entre la température maximale de l'année *n* en cours et celle de l'année *n-nY* afin de considérer la possibilité que la température expérimentée par les juvéniles conditionne la capacité d'acclimatation des adultes lors de leur retour en rivière (Jonsson & Jonsson 2009 ; voir les documents pour plus de détails).

Choisir une valeur différente pour un hyperparamètre donné va modifier la liste d'indicateurs possibles à cocher dans l'onglet « Indicateurs à afficher » en bas à gauche de l'écran. Bien sûr, il est possible de cocher plusieurs valeurs possibles pour le même hyperparamètre (par exemple, deux valeurs différentes possibles pour la température critique) : dans ce cas, l'indicateur sera calculé pour ces deux valeurs et l'utilisateur aura la possibilité de les comparer. A ce stade, il n'y a pas encore la possibilité d'afficher les deux résultats sur le même graphique mais cela pourra faire l'objet d'un développement futur.

Tcrit

☐ 16 ☐ 17 ☐ 18 ☐ 19 ☒ 20 ☐ 21 ☐ 22 ☐ 23

Valeur de 20°C sélectionnée pour **Tcrit** -> les indicateurs concernés sont calculés avec un seuil de 20

indicateurs à afficher

- ☐ Indices généraux
- ☐ Dépassement de Tcrit
  - ☐ nDTmaxsupCrit\_c20\_fixe
  - ☐ nDTminsupCrit\_c20\_fixe
  - ☐ TCumCrit\_c20\_fixe
- ☐ Canicules
- ☐ Fluctuation de la tempéra
- ☐ Acclimatation
- ☐ Effets sublétaux

Tcrit

☐ 16 ☐ 17 ☐ 18 ☐ 19 ☐ 20 ☒ 21 ☐ 22 ☐ 23

Valeur de 21°C sélectionnée pour **Tcrit** -> les indicateurs concernés sont calculés avec un seuil de 21

indicateurs à afficher

- ☐ Indices généraux
- ☒ Dépassement de Tcrit
  - ☐ nDTmaxsupCrit\_c21\_fixe
  - ☐ nDTminsupCrit\_c21\_fixe
  - ☐ TCumCrit\_c21\_fixe
- ☐ Canicules
- ☐ Fluctuation de la tempéra
- ☐ Acclimatation
- ☐ Effets sublétaux

Tcrit

☐ 16 ☐ 17 ☐ 18 ☐ 19 ☒ 20 ☒ 21 ☐ 22 ☐ 23

Valeurs de 20 et 21°C sélectionnées pour **Tcrit** -> les indicateurs concernés sont calculés à la fois avec un seuil de 20 et avec un seuil de 21

indicateurs à afficher

- ☐ Indices généraux
- ☐ Dépassement de Tcrit
  - ☐ nDTmaxsupCrit\_c20\_fixe
  - ☐ nDTminsupCrit\_c20\_fixe
  - ☐ TCumCrit\_c20\_fixe
  - ☐ nDTmaxsupCrit\_c21\_fixe
  - ☐ nDTminsupCrit\_c21\_fixe
  - ☐ TCumCrit\_c21\_fixe
- ☐ Canicules
- ☐ Fluctuation de la tempéra
- ☐ Acclimatation
- ☐ Effets sublétaux

L'utilisateur a donc la possibilité de tester de nombreuses combinaisons et d'évaluer la sensibilité de ces conclusions aux choix de certains paramètres. Notez que les limites choisies pour les hyperparamètres peuvent être modifiées dans le script si l'utilisateur le souhaite :

- Il faut modifier les choix possibles dans les groupes de cases à cocher correspondant aux hyperparamètres (lignes 28 à 48)
- Il faut aussi modifier les valeurs de la fonction generate\_varnames() ligne 285, afin que les noms de variables générés correspondent
- Il faut aussi modifier les valeurs au moment du calcul des variables, ligne 391
- Là encore ce n'est pas optimal, à améliorer pour que tout se fasse en une seule fois !

## 5. Ajouter de nouveaux indicateurs

La philosophie de l'application est que les utilisateurs peuvent ajouter eux-mêmes leurs indicateurs au-delà de ceux qui sont proposés par défaut. Pour ce faire, le script est découpé en plusieurs parties dans le dossier **R**. En particulier, le sous-dossier **Functions** comprend deux scripts :

- `indices_list.R` contient la liste des fonctions permettant de calculer les indicateurs. Dans ce script, une fonction correspond au calcul d'un indicateur donné pour saison donnée et éventuellement une valeur d'hyperparamètre donnée.
- `indices_calc.R` permet de calculer l'ensemble des indicateurs avec toutes les valeurs d'hyperparamètres possibles.

Si un utilisateur souhaite ajouter un indicateur dans ceux qui sont calculés par `indices_calc.R`, il doit donc remplir les deux étapes suivantes :

- D'abord, créer la fonction dans **`indices_list.R`**. La fonction doit permettre le calcul de l'indicateur pour une année donnée. Par commodité, les fonctions sont rangées par catégories correspondant à la typologie des indicateurs telle qu'actuellement définie dans le document et dans l'appli. Mais l'utilisateur peut « ranger » les fonctions où il le souhaite dans le script, elles seront calculées dans tous les cas.
  - En revanche, il y a des « **règles** » à suivre pour que les indicateurs soient rangés dans la catégorie souhaitée dans l'appli. Elles sont détaillées au début du script. Rapidement, pour qu'un indicateur soit rangé dans la catégorie souhaitée la fonction doit contenir une chaîne de caractère donnée dans son nom :
    - "Indices généraux" : *Seas* ou *avWarm*
    - "Dépassement de **Tcrit**" : *supCrit* ou *CumCrit*
    - "Canicules" : *Hw*
    - "Fluctuation de la température" : *sd* ou *avDailyRange*
    - "Acclimatation" : *SlopeG*, *nbNewMaxTCrit* ou *Prev* ou *avDailyRange*
    - "Effets sublétaux" : *BelCrit*
  - Ces règles peuvent bien sûr être modifiées dans les lignes 340 à 348 du script principal « `tempIndices_shinyApp.R` » : l'utilisateur peut créer de nouvelles catégories, en supprimer, ou modifier les règles correspondant aux catégories existantes.
- Ensuite, l'utilisateur doit modifier le script **`indices_calc.R`**. Ici il y a une petite subtilité : les indicateurs ne sont pas « rangés » selon leur catégorie mais selon **le nombre et la nature des hyperparamètres dont ils dépendent**. En effet, pour éviter les redondances le script est écrit de façon à ce que de multiples indicateurs soient calculés et nommés en même temps (en utilisant notamment les fonctions du package *dplyover*, Tiefenbach 2024). L'utilisateur devra donc introduire l'indicateur qu'il souhaite ajouter à la liste dans la catégorie correspondante (indicateur ne dépendant d'aucun paramètre, de **Tcrit** uniquement, de **Tcrit** et de **Topt** en même temps, etc.). Quelques infos supplémentaires :
  - Si l'indicateur ne dépend d'aucun hyperparamètre, il doit donc être inclus dans la catégorie des « indicateurs ne dépendant d'aucun paramètre » et son calcul doit être formulé ainsi : **`"nomIndicateur_{per}" := nomFonction(arguments)`**
  - Si l'indicateur dépend d'un ou plusieurs hyperparamètres, il doit être inclus dans la catégorie correspondante, à la suite des autres et son calcul doit être formulé ainsi : **`nomIndicateur = ~ nomFonction(arguments)`**. Les arguments correspondant aux hyperparamètres doivent être nommés (dans l'ordre) **`.x`** et **`.y`**
  - Si un indicateur dépend d'une combinaison d'hyperparamètres qui n'est pas présente dans le script (par exemple, **Topt** et **N**), l'utilisateur peut alors créer une nouvelle

catégorie grâce aux fonctions *over()* et *over2x()* de *dplyover* de la même façon que les autres catégories – n’hésitez pas à me contacter en cas de souci.

- Il y a un seul cas où l’intégration de nouveaux indicateurs est un peu plus compliquée, c’est pour les versions « adaptatives » : par exemple quand on considère que **Topt** correspond à la moyenne annuelle. Le problème vient ici que le nom de la variable est différent de la valeur servant à la calculer et donc l’argument *.names* de *over* et *over2x* ne peut pas être utilisé de la même manière (la valeur numérique correspondant à **Topt** sera remplacée par la chaîne de caractère *Adapt* dans le nom de la variable).
- **J’ai conscience que cette façon de faire n’est pas idéale. Cela constitue une piste d’amélioration pour les prochaines versions.**

## 6. Bibliographie

- Breau, C. (2013). Knowledge of fish physiology used to set water temperature thresholds for in-season closures of Atlantic salmon (*Salmo salar*) recreational fisheries. Canadian Science Advisory Secretariat = Secrétariat canadien de consultation scientifique.
- González-Trujillo, J. D., Román-Cuesta, R. M., Muñoz-Castillo, A. I., Amaral, C. H., & Araújo, M. B. (2023). Multiple dimensions of extreme weather events and their impacts on biodiversity. *Climatic Change*, 176(11), 155.
- Jonsson, B., & Jonsson, N. (2009). A review of the likely effects of climate change on anadromous Atlantic salmon *Salmo salar* and brown trout *Salmo trutta*, with particular reference to water temperature and flow. *Journal of Fish Biology*, 75(10), 2381-2447.
- Tiefenbach, T. (2024). *dplyover: Create columns by applying functions to vectors and/or columns in 'dplyr'.* R package version 0.0.8.9002, commit f0cd984586bafdc0dc78fc4ead2d76ba50d9370e, <https://github.com/TimTeaFan/dplyover>