

La continuité écologique, qu'en pensent les truites de la Loire ?

Patrice CADET et Christian LEVEQUE
Directeurs de Recherche IRD

« La continuité écologique désigne la capacité des cours d'eau à permettre la libre circulation des espèces aquatiques et le transport naturel des sédiments. Elle est essentielle pour le bon fonctionnement des écosystèmes aquatiques et la préservation de la biodiversité. »

Cette continuité peut être perturbée par des obstacles comme les barrages, les digues ou les seuils, qui empêchent les poissons de migrer et modifient le transport des sédiments. La restauration de la continuité écologique vise à supprimer ou aménager ces obstacles pour améliorer la qualité des milieux aquatiques. »

C'est la définition officielle de cette stratégie, assortie d'un axiome (*c'est-à-dire une proposition considérée comme évidente, admise sans démonstration, qui sert de base à un raisonnement ou à une théorie*), concernant le « bon fonctionnement des écosystèmes aquatiques, pour lequel elle serait « essentielle ». Mais sans qu'aucune démonstration n'aie jamais été faite.

La théorie est complétée par un autre axiome sur la technique nécessaire pour aboutir au résultat : « destruction et éventuellement aménagement des « barrages, digues ou seuils ».

Puis par un 3^{ème} axiome : « *La continuité écologique d'un cours d'eau est menacée par deux éléments : les ouvrages (linéaires tels que les routes, ponctuels tels que les seuils) et les plans d'eau sur cours (dit plans d'eau en barrage) »*. Pour les plans d'eau, l'accent est mis sur la « thermie ». Une ancienne unité de mesure, calculée pour les cours d'eau sur la moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds. Ce paramètre se justifie du fait que la température de l'eau est toujours proportionnelle à celle de l'air. Une approche logique étant donné que les poissons et tous les organismes vivants dans les rivières ne sont pas seulement dépendants de leurs habitats, mais aussi de leur préférendum thermique qui ne leur permet de vivre que dans certaines limites de température.

Tous les types d'ouvrages sont mis dans le même sac : seuils, digues, barrages. Pourtant, leurs impacts sur le fonctionnement de la rivière sont extrêmement différents. Avant que les hommes n'interviennent dans les rivières, pendant 6 millions d'années, il n'y avait que des barrages construits par les castors généralement moins de 2 m de haut, mais innombrables. Remplacés au moyen-âge et jusqu'à la fin du 17^{ème} siècle, après l'éradication des castors, par environ 100 000 « chaussées, digues », mais plutôt « seuils », franchit par surverse, de hauteur sensiblement équivalente à ceux des castors. Pour les castors, comme pour les hommes, l'objectif était de faire monter le niveau de l'eau, mais pas pour les

mêmes raisons. Pour camoufler l'entrée de sa hutte pour les castors, et pour détourner l'eau vers son moulin pour les hommes. Et ceci entraîne des choix d'emplacements généralement différents. Les hommes vont choisir de construire leurs seuils en haut des cascades naturelles, pour gagner de la hauteur de chute et donc de la puissance hydraulique ; alors que les castors ont tout intérêt à s'installer dans des zones plus plates parce qu'il y sera plus facile de faire monter le niveau de l'eau, même si l'ouvrage doit être plus grand. Le résultat, c'est qu'avec le retour du castor en France, les conflits se multiplient suite aux inondations provoquées par leurs barrages situées dans les zones de plaine agricole, alors qu'aucun seuil de moulin ne provoque d'inondations dommageables pour les agriculteurs. Il arrive parfois que l'instinct des ingénieurs hydrauliciens et des castors se rejoignent, comme ce fût le cas en République Tchèque (<https://www.leparisien.fr/animaux/des-castors-font-economiser-un-million-deuros-a-une-ville-tcheque-en-construisant-un-barrage-10-02-2025-33MFX5TY2ZHORGZWT4BBWCD5EI.php>).

La situation se complique au 19^{ème} siècle, quand les techniques de construction permettent de bâtir des ouvrages plus hauts, qui ne ressemblaient plus aux barrages de castors, et ensuite des grands barrages de plusieurs dizaines de m de haut pour produire de l'énergie électrique. Ces derniers sont définitivement infranchissables par les poissons et marquent d'ailleurs le début du déclin des espèces migratrices amphihalines. Alors que jusqu'au 17^{ème} siècles, ni les castors, ni les moulins n'avaient eu le moindre impact sur les populations de poissons. Il apparaît donc anormal de tout mettre dans le même sac, sauf si l'objectif est plutôt politique, destiné à répondre à une idéologie, qui considère que la liberté de circulation de l'eau dans une rivière est automatiquement synonyme de bien être, comme elle l'est pour les hommes. S'attaquer aux moulins sans défense est en plus un moyen facile de répondre aux injonctions européennes, influencées par les mêmes groupes de pression qu'en France.

Le SAGE Loire en Rhône-Alpes

Parmi les points positifs apportés par les agences de l'eau, il faut retenir les études HMUC : Hydrologie, Milieux, Usages, Climat, lancées à l'occasion de la préparation du 12^{ème} SDAGE de l'agence Loire-Bretagne, soit après plus de 15 ans de restauration intensive de la continuité écologique (Grenelle de l'environnement 2008). Ces études ont permis de collecter un grand nombre de mesures effectuées sur le terrain, qui sont très difficiles à trouver, mais « interprétées » par des bureaux d'études agréés, donc plutôt pilotés par les agences de l'eau. Aucune chance que les conclusions ne confortent pas les objectifs fixés dans le SDAGE. Aujourd'hui, l'accent est mis sur la pénurie d'eau, en attisant l'angoisse de la population sur une possible pénurie d'eau. La sobriété est maintenant l'axe central du 12^{ème} SDAGE. Curieusement, il n'est jamais fait état des réserves d'eau de la France, pourtant exposées dans le rapport sénatorial sur la panne sèche (Rapport d'information n° 142 (2022-2023)) :

- 480 milliards de m³ d'eau de pluie (dont on ne retient que 4% environ)
- 2000 milliards de m³ de nappes d'eau souterraines

- 430 000 km de cours d'eau

Autrement dit, des réserves considérables, que nous envie la très grande majorité des pays du monde. De ces masses d'eau nous ne pouvons utiliser que 192 milliards de m³, soit 7%, le reste étant pour la nature. De cette quantité, nous n'utilisons actuellement que 34 milliards de m³, soit 17%. Qui crie à la pénurie quand il n'a utilisé que 17 % de ses réserves ? Personne, d'autant plus que sur cette quantité, il n'y a que 11 milliards de m³ qui sont utilisés pour nos usages domestiques, agricoles ou industriels, le reste correspondant par exemple, à l'eau utilisée pour refroidir les centrales nucléaires et qui retourne dans les cours d'eau. N'oublions pas non plus que la terre est couverte à 75% d'eau de mer et que même si le dessalement est aujourd'hui onéreux, il ne faudrait pas longtemps, s'il y avait une demande forte (donc de l'argent à gagner), pour trouver d'autres techniques plus efficaces, comme la désalinisation de l'eau de mer. Qui pouvait imaginer, il y a 5 ans qu'on allait pouvoir rouler 1000 km avec une simple batterie dans une automobile ? Il semble bien que notre problème vienne essentiellement de la gestion de l'eau, plutôt que de sa raréfaction.

D'ailleurs, le bilan de plus de 50 ans d'action des agences de l'eau est plutôt décevant par rapport aux milliards d'euros engloutis :

- Les poissons migrateurs ont-ils cessé de disparaître : Non
- Les pénuries d'eau ont-elles disparu : Non
- Le milliard de m³ de fuite d'eau potable a-t-il été résorbé : non
- Les inondations ont-elles disparu : Non
- Les assèchements de rivières ont-ils disparu : Non
- La qualité de l'eau s'est-elle améliorée : Un peu
- La biodiversité aquatique a-t-elle cessé de décliner : Non
- L'agriculture a-t-elle suffisamment d'eau : Non
- La production hydroélectricité renouvelable a-t-elle augmenté : Non

Manifestement, et malgré un tel bilan catastrophique, c'est grâce à un budget communication astronomique que l'agence de l'eau arrive à faire croire à la population qu'elle a fait un travail remarquable, si bien que depuis plus de 50 ans, un demi-siècle tout de même, les SDAGE successifs sont des copier-coller du précédent. C'est notamment le cas pour la restauration de la continuité écologique qui privilégie la destruction sur l'équipement des seuils, malgré les avantages écologiques avérés associés à leur présence, qui ont même été rappelés par la présidente du BRGM au cours d'une audition au Sénat (mission d'information intitulée : "*Gestion durable de l'eau : l'urgence d'agir pour nos usages, nos territoires et notre environnement*", 15 mars 2023).

Dans le cadre de l'élaboration du SAGE Loire en Rhône-Alpes, un certain nombre de mesures réalisées sur le terrain ont été rendues accessibles et ont pu être analysées objectivement statistiquement, notamment celles de la Fédération de pêche et de la commission « Milieu aquatique et biodiversité ».

La continuité écologique, les poissons et les seuils de moulins

A l'aide des pêches électriques, la Fédération de Pêche de la Loire a étudié les communautés de poissons de 3 bassins versants du département, celui de l'Aix, de la Coise et du Lignon (Figure 1). L'objectif principal concernait plus spécifiquement les populations de truites farios.



Figure 1 : localisation des sites d'observations

L'étude porte sur 17 sites répartis sur ces 3 bassins versants qui ont été étudiés pendant plusieurs années. Les résultats ont été analysés par le bureau d'études ECOGEA et présentés comme compléments aux mesures HMUC du SAGE Loire en Rhône-Alpes.

En ce qui concerne les poissons, les paramètres suivants ont été mesurés pour chacun des 17 sites : biomasse moyenne de truites (kg/ha), biomasse totale de poissons (kg/ha), densité truites (individus/ha), biomasse totale truites (kg/ha), taille truites (mm) et poids moyen truites (g).

Comme les stations sont distribuées d'aval en amont des 3 bassins, **la FDP a mis en évidence que la biomasse moyenne de truites était proportionnelle à l'altitude et donc inversement proportionnelle à la température** (Figure 2)

Ces observations ne sont pas surprenantes quand on sait que les truites préfèrent les eaux fraîches, mais elles ont de quoi inquiéter quant à l'avenir des truites dans nos rivières, car avec le réchauffement climatique, les populations de truites pourraient bien disparaître progressivement. On notera que les 3 stations où il n'y avait pas de truites, n'ont pas été prises en compte. Or, comme elles sont toutes les 3 situées à basse altitude, leur utilisation aurait renforcé la relation avec l'altitude. En revanche, **la biomasse totale de toutes les espèces de poissons dénombrées à chaque site n'est pas corrélée à l'altitude** (Figure 3).

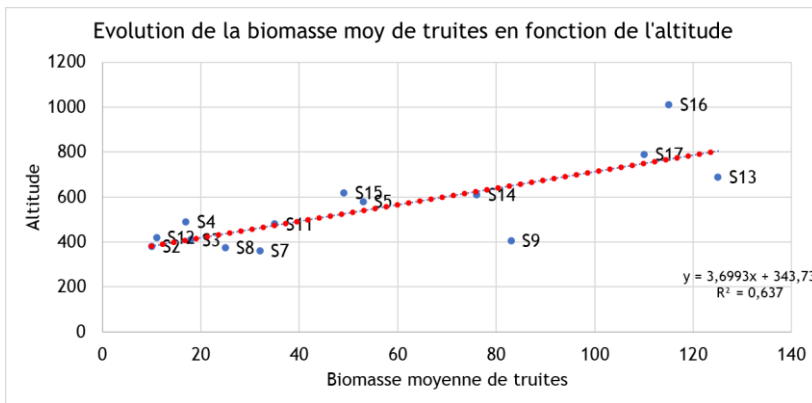


Figure 2 : biomasse moyenne en fonction de l'altitude

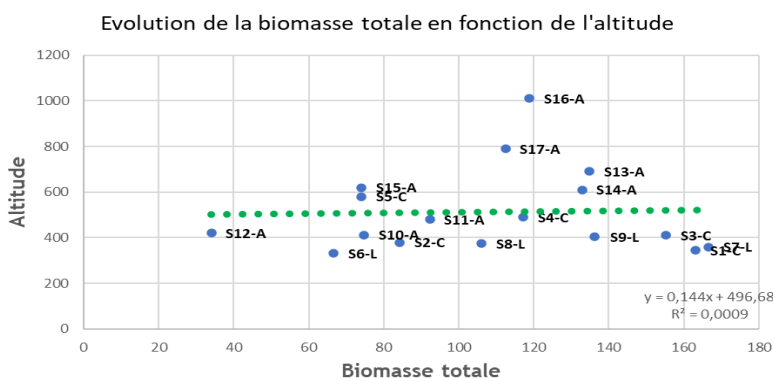


Figure 3 : biomasse totale en fonction de l'altitude



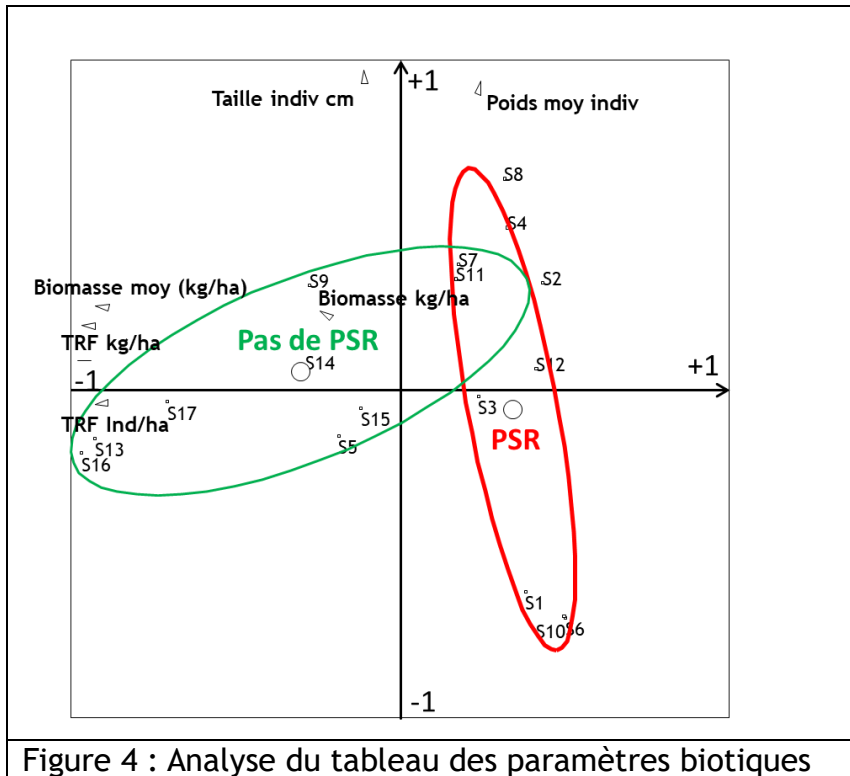
parfois le goujon asiatique *Pseudorasbora*, connu pour véhiculer un parasite mortel pour les salmonidés : *Sphaerotcheum destruens* (Ercan D et al., 2015). Est-ce que le goujon asiatique a effectivement un impact sur les populations de truites de la Loire ?

Populations de truites en présence de *Pseudorasbora*

Le tableau regroupant les informations sur les poissons, décrit précédemment a été soumis à une analyse en composantes principales pour tous les paramètres simultanément (Figure 4). Puis, les sites ont été regroupés selon qu'ils contiennent ou non le goujon asiatique, matérialisés sous forme d'une ellipse. Les 6 paramètres ont été représentés sur le même plan. Les plus importants se trouvent le plus à gauche sur l'axe horizontal. Il s'agit de la densité et de la masse totale ou moyenne de truites. Les moins importants se trouvent au centre du plan. Ici, un seul paramètre : la masse totale de poissons. Enfin la taille des individus et

Ce sont surtout les truites qui sont sensibles à la température, avec un préférendum variant de 4 à 19°, seuils largement dépassés aujourd'hui en été, et une température létale de 25°, il n'y a rien de surprenant.

En revanche de nombreuses autres espèces ne souffrent pas aux températures observées si bien que le peuplement de poissons reste stable, s'il n'est pas tenu compte de l'espèce emblématique qu'est la truite. Parmi ces espèces, se trouve



le poids moyen des individus sont d'importance secondaire, situés à l'extrémité de l'axe vertical.

L'ellipse du groupe de sites sans *Pseudorasbora* se trouve à gauche, parce que les 3 paramètres localisés de la même manière ont tendance à avoir des valeurs plus élevées que pour les sites regroupés dans l'ellipse des sites contenant *Pseudorasbora*, à droite.

Cela signifie que la densité de truites, et les 2 paramètres qui y sont rattachés, est plus importante quand il n'y a pas de goujon asiatique.

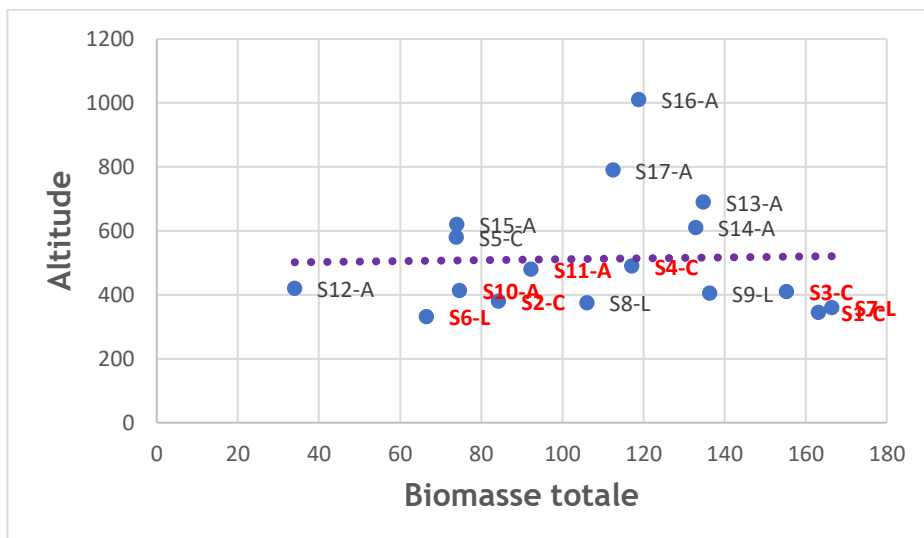


Figure 5 : *Pseudorasbora* et biomasse totale de poissons

La biomasse totale de poissons n'est pas affectée de manière importante par cette espèce (Figure 5). (Les sites en rouge contiennent *Pseudorasbora*). Elle aura tendance à être très légèrement plus faible, probablement en raison d'une biomasse de truites plus faible.

En revanche, la taille et le poids moyens de chaque truite capturée n'est affecté que très irrégulièrement en présence de *Pseudorasbora*. Les sites S8 et S4 situés au nord du plan (Figure 4), ont des valeurs plus élevées que ceux situés au sud comme S1, S10 et S16. C'est aussi plus flagrant lorsque le goujon asiatique est présent.

Evaluation de l'impact de *Pseudorasbora* sur les populations de truites

En faisant la moyenne des densités de truites en présence et en absence de *Pseudorasbora*, la différence est spectaculaire, elle atteint 78%.

	TRF Ind/ha	TRF kg/ha	Altitudes moyennes
Avec PSR	254	15	400 m
Sans PSR	3479	72	611 m

Mais la comparaison des altitudes moyennes montre que le goujon asiatique se trouve essentiellement aux altitudes les plus basses (Figure 6). Pour corriger cette

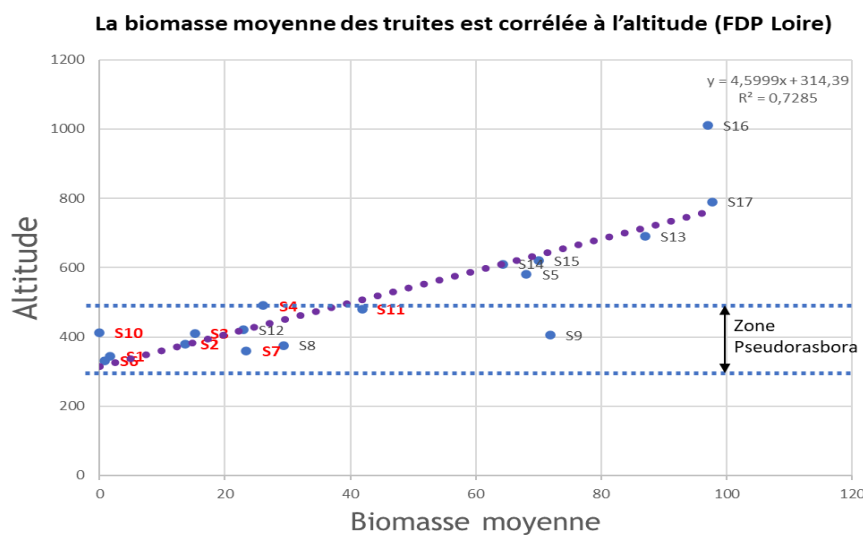


Figure 6 : Les sites en rouge contiennent *Pseudorasbora*

distorsion, afin de tenir compte du fait que la densité de truites est proportionnelle à l'altitude, le pourcentage a été recalculé pour les altitudes comparables dans les deux cas. C'est-à-dire pour les sites sans *Pseudorasbora* situés à des altitudes comparables à ceux avec *Pseudorasbora*.

Dans ce cas, la densité de truites reste encore de 60 à 65% inférieure à ce qu'elle est en absence du goujon asiatique (Figure 7). En moyenne, la croissance des

individus restants n'est réduite que de 30 à 40% environ, mais avec une grande variabilité entre les sites.

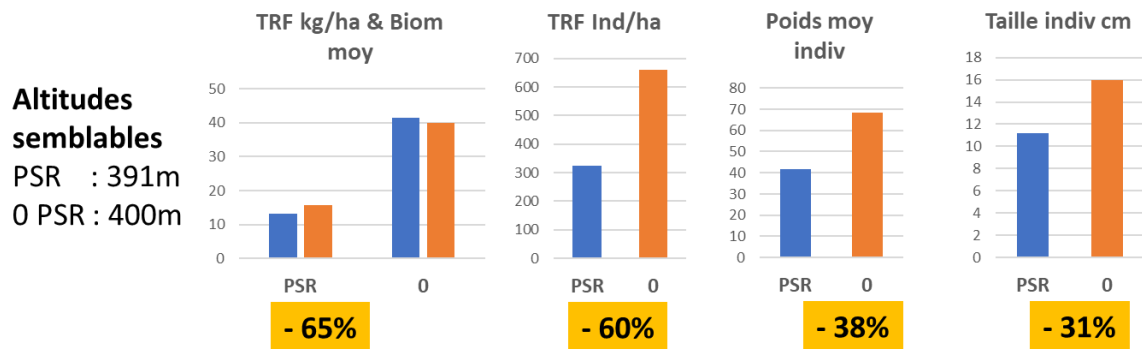


Figure 7 : Comparaison des densités de truites et paramètres associés aux altitudes comparables

Selon ces résultats on peut émettre l'hypothèse selon laquelle une partie des truites meurent en présence de *Pseudorasbora*, probablement infectée par le parasite qu'il transporte. Mais celles qui restent se développent presque normalement.

Où se trouve *Pseudorasbora* ?

Selon la carte publiée par Keith et al., en 2020, *Pseudorasbora* est quasiment omniprésent dans la Loire. Pourtant dans l'étude de la Fédération de pêche, il n'est observé que dans certains sites, encerclés en rouge sur la carte des bassins versants étudiés (Figure 8).

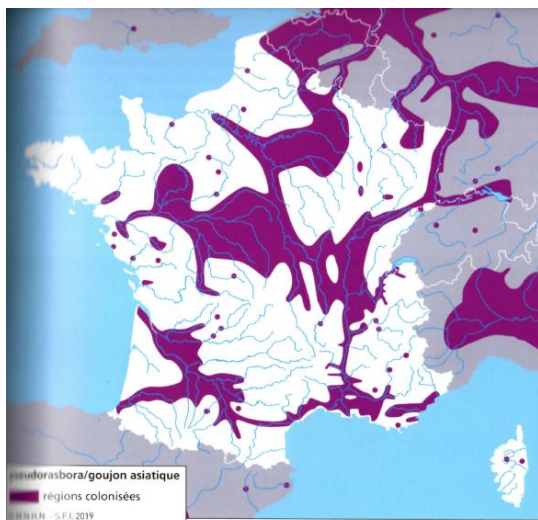


Figure 8 : distribution de *Pseudorasbora* en France et pour les sites étudiés



Figure 2 : Localisation des 17 stations d'étude

Il apparaît que le goujon asiatique reste cantonné à proximité du fleuve Loire, ce qui est étonnant vu que cette espèce, importée depuis les années 1970 pour servir de fourrage aux élevages de truites, possède toutes les caractéristiques d'une

espèce invasive efficace : temps de génération court, forte fécondité, capable de vivre en étang et en rivière, et surtout supportant une large plage thermique. *Pseudorasbora* peut se reproduire à des températures de 15°, correspondant à des zones à truites (Fletcher, 2018).

Grace à une étude détaillée du bassin de l'Aix-Isable réalisée par le syndicat de rivière local, il est possible d'examiner les caractéristiques morphologiques de ce bassin (Figure 9), et de calculer le nombre de seuils-obstacles, qui se trouvent entre la confluence avec la Loire et les différents sites, avec ou sans goujon asiatique.

Pour les 3 bassins, il n'y a qu'un faible nombre d'ouvrages entre la Loire et les sites infestés. En revanche pour les sites en tête de bassin, le nombre de seuils-obstacles depuis la Loire, ou le dernier site hébergeant *Pseudorasbora*, est très important : jusqu'à 36 seuils.

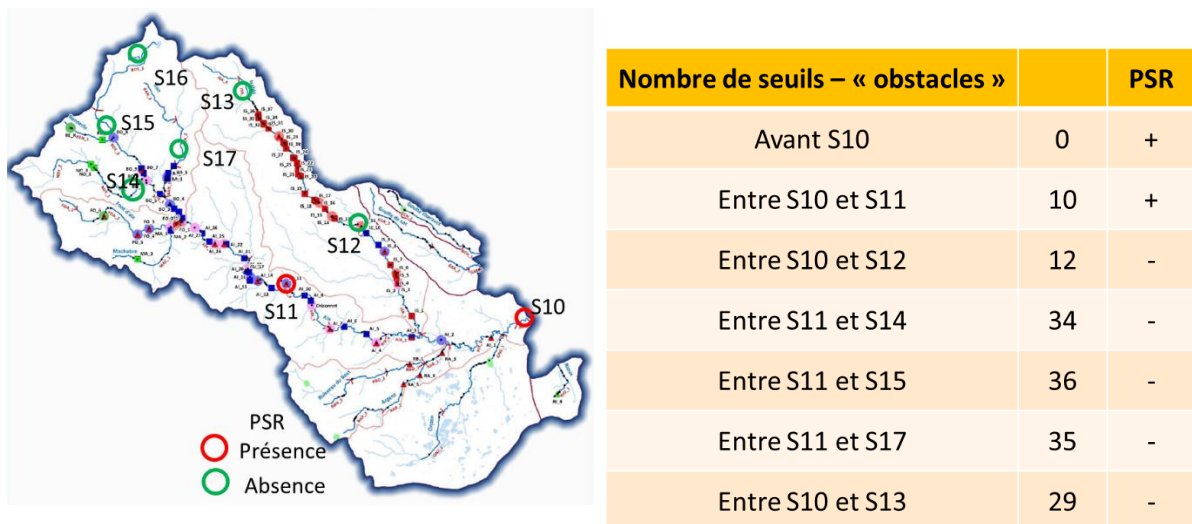


Figure 9 : carte des « obstacles » sur l'Aix et l'Isable et dénombrement des seuils entre la confluence avec la Loire et les sites d'observations

Il est probable qu'en raison de sa petite taille, le goujon asiatique ne peut franchir les seuils que très difficilement par lui-même, ce qui expliquerait son absence en tête de bassin (Chu et al., 2015). Mais la colonisation totale du bassin va être facilitée par la destruction des seuils ou bien la construction de dispositifs de franchissement rendue obligatoire pour restaurer la continuité écologique.

Finalement, ces dispositifs destinés à favoriser la multiplication des truites va conduire à les mettre en danger. C'est un peu comme si, lorsqu'un élevage de canards est atteint par la grippe aviaire, la loi obligerait le propriétaire à porter un canard malade dans les élevages voisins !

Les conséquences pour les truites

Selon les observations précédentes sur les seuils obstacles, il est possible de démontrer que leur nombre est proportionnel à l'altitude, puisque la source se situe forcément au point le plus haut, séparée de la confluence par l'intégralité de

la rivière. Par voie de conséquence, la densité de truites, qui est également plus importante en tête de bassin, est aussi proportionnelle au nombre de seuils présents jusqu'à la confluence avec la Loire (Figure 10).

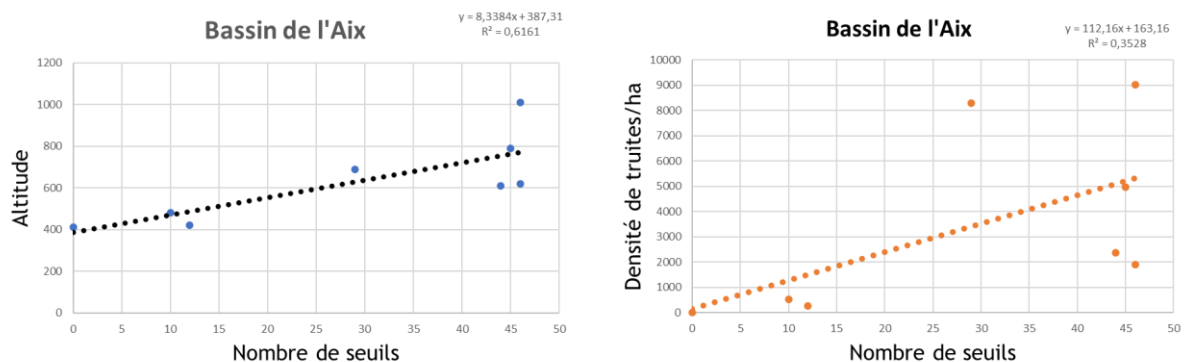


Figure 10 : relation entre le nombre de seuil et l'altitude ou la densité de truites

Autrement dit, plus il y a de seuils, plus il y a de truites. Ces résultats nous amènent à émettre deux hypothèses :

- Selon le Ministère de la Transition Ecologique, les DDT(M), l'OFB, et les Fédérations de pêche les truites doivent circuler dans les rivières, d'amont en aval et inversement pour se reproduire. Dans le cas de l'Aix, les truites, qui se trouvent en amont, ont donc été capables de franchir plus d'une trentaine de seuils chaque année en montaison, pour trouver les zones de reproduction situées elles aussi en amont, sinon, elles seraient absentes ? Sur cette base, il apparaît parfaitement inutile de restaurer la continuité écologique puisque, si les truites sont présentes en amont, cela signifie qu'elles ont pu franchir les « obstacles ».
- L'autre hypothèse, de loin la plus probable, c'est que les truites, dont la présence tout le long du linéaire « entre » les seuils, est démontrée par divers sondages, n'ont absolument pas besoin de migrer d'un bout à l'autre de la rivière, et sont capables de se reproduire dans la zone où elles évoluent, notamment si la thermie n'est pas trop élevée (Berrebi, 2006). Un fait corroboré par d'autres études. La conclusion est identique à celle de l'hypothèse précédente. La restauration de la continuité écologique est inutile.

Ces observations vont à l'encontre des affirmations selon lesquelles la présence de seuils sur un cours d'eau entraîne la disparition des poissons migrateurs comme la truite fario, les rendant incapables de rejoindre les zones de reproduction, de refuge ou d'alimentation. Très clairement les truites sont présentes partout en plus ou moins grand nombre et se reproduisent parfaitement bien là où elles sont, pourvu qu'il n'y ait pas de *Pseudorasbora* et que l'eau soit plus fraîche.

Les facteurs abiotiques favorables à la présence des truites

Parallèlement aux paramètres biotiques qui viennent d'être analysés, la Fédération de pêche a mesuré des facteurs physiques au niveau des sites étudiés. L'analyse de co-inertie permet d'identifier les paramètres statistiquement corrélés dans les deux tableaux analysés simultanément : le tableau biotique, précédemment exposé et le tableau abiotique (Figure 11). Ces deux tableaux ont des paramètres évidemment différents, mais les sites sont communs. Les cercles représentent des corrélations positives et les carrés, des corrélations négatives. La taille des symboles est proportionnelle à l'importance de la corrélation. On constate que 3 paramètres sont positivement corrélés à la densité et aux biomasses de truites, en plus de l'altitude : les abris en % de la surface mouillée, le débit minimum par habitat, et la pente moyenne. Tous les autres sont négativement corrélés, comme les débits minimum, module, surface bassin versant, largeur, profondeur, distance à la source et le niveau typologique.

Autrement dit, quand il y a peu d'eau en général dans la rivière et qu'on s'éloigne de la source, il y a moins de truites. Ce qui est conforme aux observations issues de l'analyse précédente. La taille des truites et la biomasse totale de poissons sont négativement corrélées, mais faiblement, vu la petite taille du carré et leur position à proximité de l'axe vertical. Quant au poids moyen des truites, également proche de l'axe vertical, aura une très légère tendance à être moins élevé en tête de bassin qu'en aval. Ces 3 paramètres ne sont pratiquement pas affectés par la position du site le long du cours d'eau.

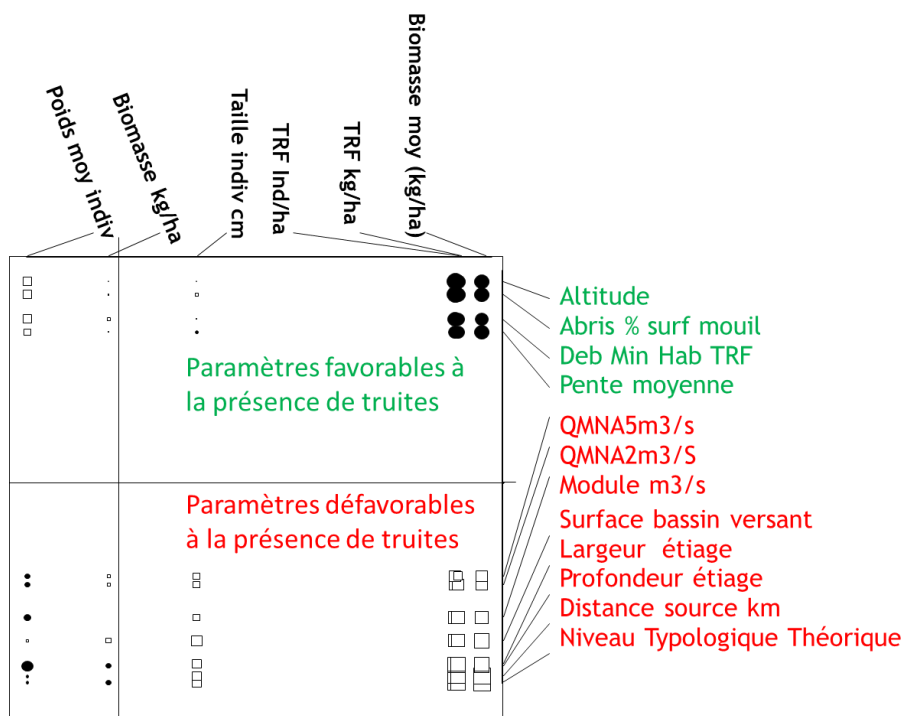


Figure 11 : identification des paramètres favorables et défavorables aux truites ;

Comparaison des têtes de bassin

Alors que normalement tous les sites localisés en tête du bassin de l'Aix devraient héberger des populations importantes de truites du fait de l'absence de *Pseudorasbora*, il apparaît que certains sites ont des densités de truites plus faibles qu'attendu (Figure 12). Comment expliquer ces différences ?

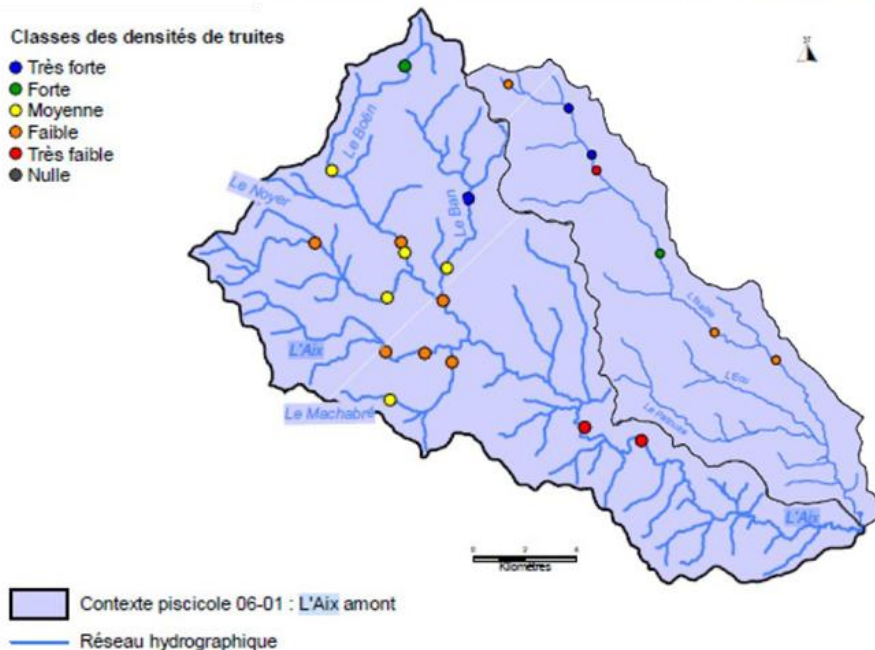
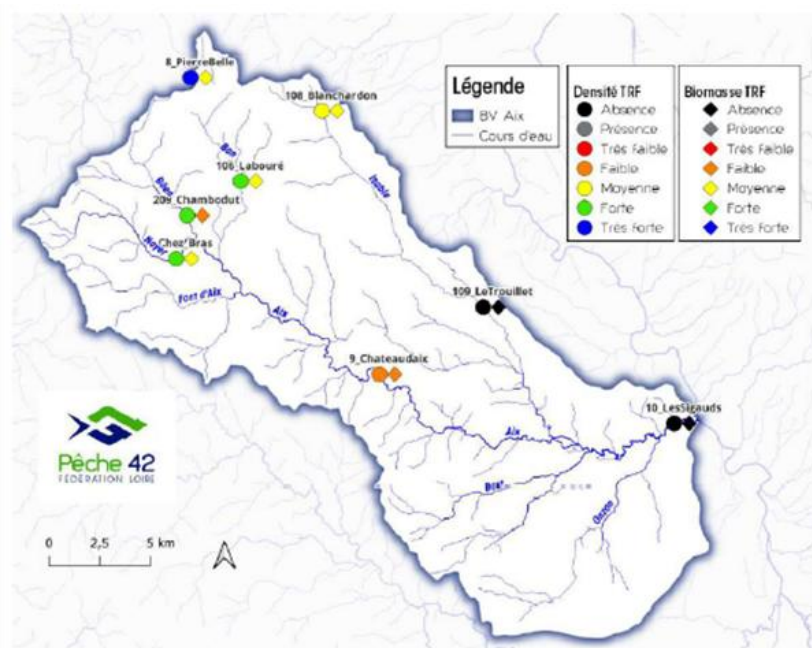


Figure 12 : densités de truites sur le bassin versant de l'Aix-Isable

Pour tenter de répondre à cette question, une étude a été réalisée à partir des données collectées pour caractériser les têtes de bassin du SAGE Loire en Rhône-Alpes. Le tableau utilisable comprend 205 sites représentant une partie de la surface du SAGE (les autres têtes de bassin n'ont pas pu être étudiées en raison d'un grand nombre de données manquantes). Les paramètres utilisés sont listés

dans le tableau suivant Parmi ceux-ci, certains sont considérés d'office comme dégradant les capacités du milieu à héberger des truites :

- La thermie, puisque la truite ne résiste pas aux températures élevées
- La présence de seuils qui ferait obstacle à son déplacement, considéré par l'administration comme indispensable à sa reproduction, comme les taux d'étagement et de fractionnement.

En d'autres termes, toujours selon l'administration, une tête de bassin idéale pour les truites doit absolument être dépourvue de seuils de moulins ou agricoles.

Nom des paramètres	Signification des abréviations des variables quantitatives
Surface_ha	Surface de la tête de bassin en hectare
Pente_BV	Pente de la tête de bassin
Pente_CE	Pente du cours d'eau
Densite_CE	Densité de cours d'eau du bassin versant
Gravelius	Indice de Gravelius / Indice de compacité
Thermie	Thermie (moyenne des 30j consécutifs les plus chauds)
BilanHydr	Bilan hydrique annuel
Haies	Densité de haies par bassin versant (ml/ha)
ForetAnc	Pourcentage de forêts anciennes par bassin versant
PrairieP	Pourcentage de prairies permanentes par bassin versant
PlanEau	Pourcentage de surfaces en eau par bassin versant
ZH_BV	Pourcentage de zones humides par bassin versant
Arbor_BR30	Pourcentage de couverture arborée en bande riveraine de 30m
Imper_BR30	Pourcentage d'imperméabilisation en bande riveraine de 30m
Agri_BR30	Pourcentage d'artificialisation en bande riveraine de 30m
Obstacles	Nombre d'obstacles inventoriés par le ROE (kmL)
tx_etageme	Taux d'étagement
tx_fractio	Taux de fractionnement
STEU	Pression des stations de traitement d'eaux usées (EH/ha)
Prelev	Pression de prélèvements (m ³ /ha)

L'analyse en composantes principales (ACP) effectuée sur les données quantitatives va donner deux types d'informations : un graphique (Figure 13) représentant les relations entre les paramètres quantitatifs (colonnes) et un graphique (Figure 13) représentant, la position des sites d'observations sur les bassins versants par rapport à l'ensemble des paramètres. C'est l'originalité de la technique. Chacun des 205 sites est localisé non pas par un seul paramètre, mais par sa contribution à tous les paramètres. C'est en fait une description des différents écosystèmes des têtes de bassin.

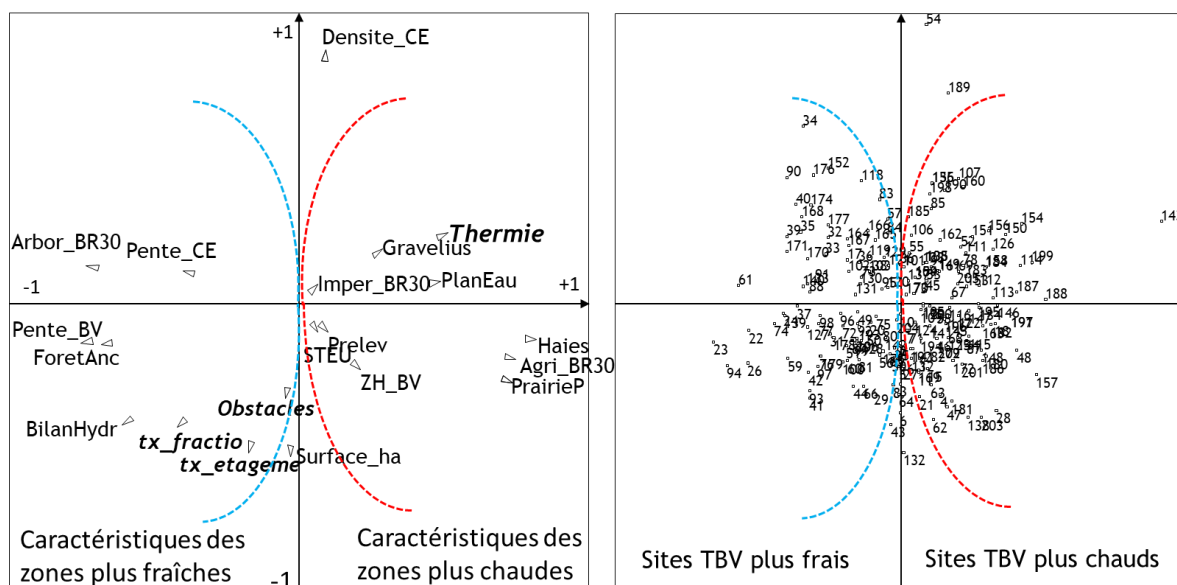


Figure 13 : Plans factoriels des paramètres et des sites après l'analyse en composantes principales

En ce qui concerne les relations entre paramètres, graphique de gauche, les corrélations les plus importantes sont réparties le long de l'axe horizontal. Et les plus fortes sont aux deux extrémités de l'axe horizontal. La thermie, paramètre crucial pour la survie des truites se trouve à droite et tous les paramètres qui sont autour de la thermie, sont donc plus ou moins corrélés avec ce paramètre. Sur le graphique de droite, les sites ont été numérotés de 1 à 205. Les sites qui se retrouvent à droite sont ceux pour lesquels tous les paramètres situés aussi à droite sur le plan de gauche ont tendance à avoir des valeurs plus fortes. Entre autres, la thermie y sera plus élevée. C'est exactement l'inverse pour les sites qui se trouvent à gauche du plan. La thermie y sera plus faible, mais les autres paramètres situés à gauche y seront plus élevés. C'est en balance. Par souci de clarté, les deux plans n'ont pas été superposés. Comme aucune comparaison numérique n'apparaît, le retour aux données a été fait avec la moyenne des 80 sites les plus à gauche et celle des 80 sites les plus à droite, donc ceux où la thermie est la plus ou la moins élevée.

Caractéristiques des têtes de bassin favorables aux truites

La différence de thermie entre ces deux groupes s'élève à 2°, ce qui est considérable. Les têtes de bassin versant, où la thermie n'est que de 15,9°, sont en fait dans une situation « climatique » équivalente à celle qui sévissait 30 ans en arrière, dans les années 1995. Ces sites sont nettement plus favorables à la reproduction des truites que ceux où la thermie moyenne atteint 17,8° (Figure 14).

Les caractéristiques des têtes de bassins versant résumées dans le tableau suivant, montre que dans les sites où la thermie est élevée, le bassin versant apparaît très anthropisés, avec un cours d'eau sujet à l'assèchement, beaucoup de plans d'eau et paradoxalement un fort % de zones humides. En revanche, lorsque la thermie est

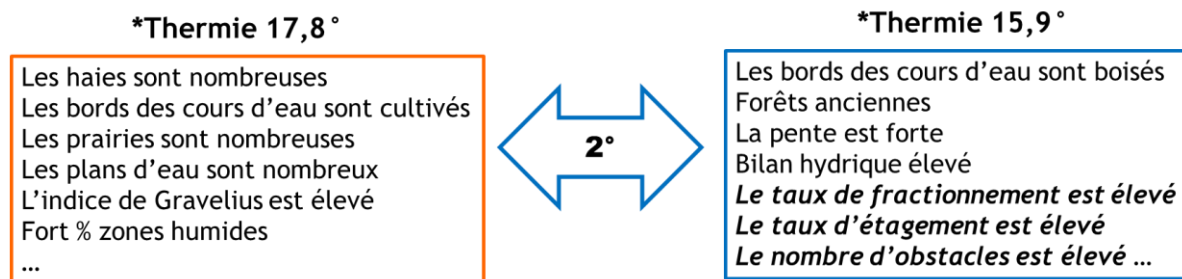


Figure 14 :

plus faible, les sites sont boisés, avec des cours d'eau peu sensibles à l'assèchement (indice Gravelius faible) mais paradoxalement avec des taux de fractionnement élevés et plus d'obstacles.

Pour faciliter la mise en évidence de ces différences paradoxales, les moyennes des 80 sites à thermie élevée et des 80 sites à thermie moins élevées, ont été représenté sous forme d'histogrammes (Figure 15).

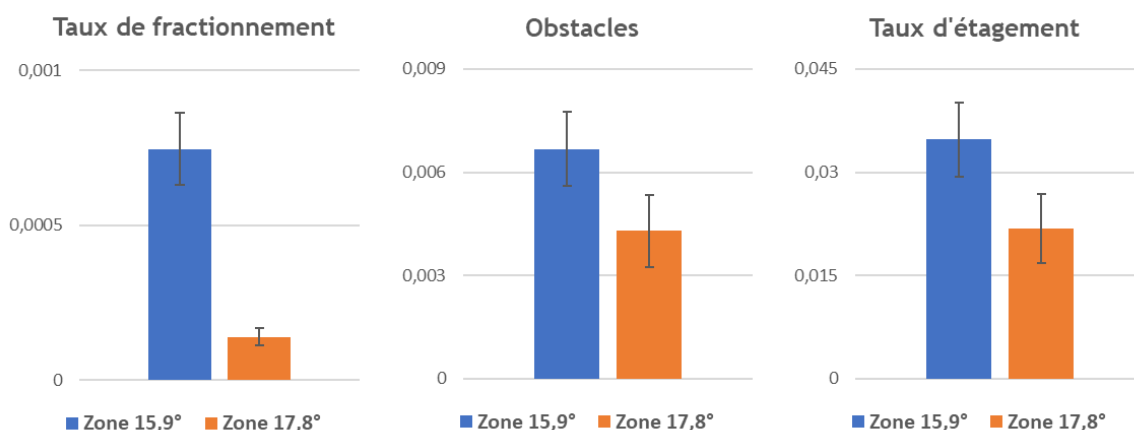


Figure 15 : comparaison des paramètres liés aux « obstacles » pour les sites à 15,9° et à 17,8°.

Cette observation va totalement à l'encontre des recommandations actuelles, selon lesquelles les retenues engendrées par les seuils réchauffent l'eau, accentuant l'impact du réchauffement climatique. Ces résultats suggèrent le contraire.

Pour expliquer ce phénomène il faut se reporter aux travaux du BRGM et à la loi de Darcy qui démontrent que l'infiltration de l'eau dans le sol et le remplissage des nappes alluviale ou phréatique, est dépendant de la hauteur de la ligne d'eau. Or, un seuil, comme n'importe quel ouvrage, y compris celui d'un castor, fait automatiquement monter la ligne d'eau et donc favorise ce phénomène (Figure 16).

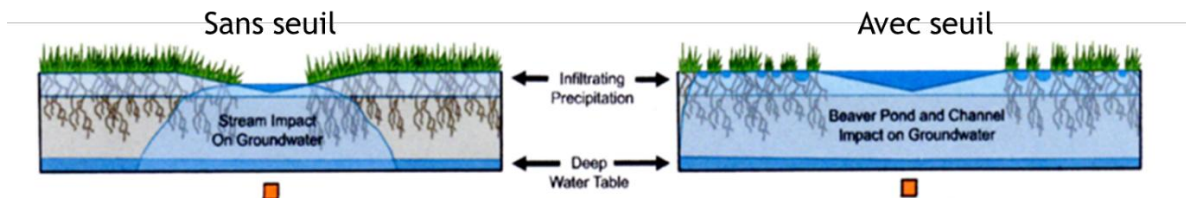


Figure 16 : Impact de la présence d'un ouvrage sur la hauteur de la ligne d'eau et le remplissage des nappes. (Fairfax et Whittle, 2020. Ecological applications)

En effet, lorsque le niveau de l'eau est élevé, l'eau s'infiltrate latéralement, remplit la nappe alluviale et le cas échéant, la nappe phréatique. Un processus actuellement étudié par l'OFB en collaboration avec le BRGM. Ce qui est très important voire cruciale pour la rivière c'est que lorsque le niveau de la rivière baisse, en étiage, l'eau de ces nappes va se redéverser dans la rivière (Figure 17), mais sans la réchauffer puisqu'elle a été stockée dans le sol, à l'abri du soleil.

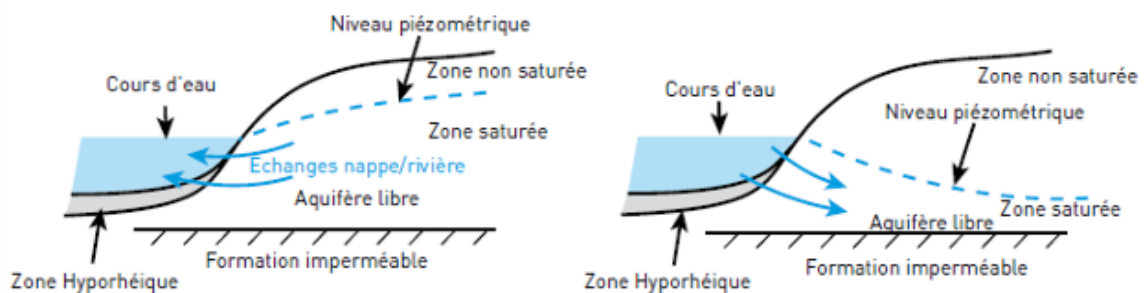


Figure 17 : Echanges nappe alluviale - rivière (Vernoux et al., 2011)

On peut émettre l'hypothèse selon laquelle, ce processus participe à ce que **les têtes de bassin largement pourvues de seuils, situées dans des milieux peu anthropisés, en altitude, sont celles qui s'assèchent le moins avec des températures moins élevées, donc les plus propices à héberger des populations de truites, en période de réchauffement climatique.**

Ce phénomène, ajouté à l'impact de l'inertie thermique qui fait qu'une grande masse d'eau se réchauffe moins vite qu'une petite, ou encore qu'en profondeur dans une retenue, la température est plus fraîche au fond, compense très largement l'effet de températures de surface effectivement plus chaudes en retenue que dans la rivière en amont, situation qui disparaît très rapidement après l'ouvrage.

Discussion

Même si notre étude très localisée porte sur un nombre limité de cas, elle montre que la destruction des seuils des rivières a des conséquences particulièrement néfastes pour la biodiversité aquatique et en particulier les truites fario. Elle met en évidence un certain nombre de points confortés par d'autres travaux scientifiques validés.

Le rôle mal connu des maladies parasitaires

Il est possible que la grande différence observée dans les populations de truites, pour des sites situés à la même altitude, mais dans lesquels *Pseudorasbora* est présent ou absent, s'explique par l'effet du parasite (l'agent rosette) transmis par cette espèce envahissante (Gozlan et al., 2020). D'après cet auteur, « il n'y a pas nécessairement de mortalité massive et simultanée, qui se traduit par l'apparition de nombreux poissons morts. Chez les truites infectées par *Sphaerothecum*, les symptômes sont souvent discrets au début, ce qui rend la maladie difficile à détecter, se manifestant par des lésions des organes internes, et une perte progressive de poids ». C'est également un symptôme qui a été détecté par l'analyse statistique. Dans une étude réalisée en Turquie (IRD et partenaires), trois ans après l'introduction du goujon asiatique, toutes les espèces locales étaient infectées, avec des baisses de population allant jusqu'à 90 % (https://gvoc.fr/wp-content/uploads/2021/01/fiche_goujon_asiatique.pdf). Un pourcentage encore plus important que celui qui a été calculé dans cette étude. Il ne s'agit pas d'un cas unique, le sandre où l'écrevisse américaine, sont également porteurs sains de maladies susceptibles de décimer d'autres poissons ou les écrevisses indigènes. Les maladies des poissons sont en général mal étudiées mais de nombreuses observations laissent penser que leur rôle dans la dynamique des populations est loin d'être négligeable.

Limiter l'expansion des espèces invasives ?

Il est difficile d'éradiquer des espèces invasives porteuses de maladies. Mais on peut essayer de limiter leur expansion. Ainsi, il est bien connu chez les écrevisses que les obstacles transversaux empêchent la remontée vers l'amont des espèces d'écrevisses invasives, préservant ainsi les populations autochtones

L'UE, comme les scientifiques, préconisent d'éviter de favoriser l'expansion des espèces invasives : « règlement 1143/2014 relatif à la prévention, et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes), repris par l'arrêté ministériel du 14/02/2018". ([liste_rue_eee_25-juillet-2019.pdf](#)). Or, la restauration de la continuité écologique par arasement des seuils ou construction de dispositifs de franchissement permet tout simplement au goujon asiatique de quelques centimètres, incapables de franchir les seuils, de gagner du terrain rapidement. Jusqu'à présent, il n'est tenu aucun compte de cette recommandation de l'UE, lorsque la Préfecture impose la réalisation d'un dispositif, alors que théoriquement, la réglementation européenne prime sur la réglementation nationale.

Les truites sont sédentaires

Le simple fait de démontrer que la densité de truites augmente avec l'altitude (Fédération de pêche), et donc avec des températures de l'eau plus fraîche, exclu de facto un effet des seuils. En effet, le nombre d'ouvrages augmente généralement de la confluence de la rivière à la tête de bassin où elle prend sa source. Donc, si la montaison et la dévalaison des truites d'amont en aval et réciproquement étaient impératives pour leur reproduction, comme l'affirme

l'administration, cela signifierait qu'elles sont capables de franchir les « pseudo-obstacles » sans difficulté. Si elles ne peuvent pas les franchir, on est amené à conclure que les truites sont capables de se reproduire en tête de bassin, sans avoir à migrer en aval après la reproduction. Autrement dit qu'elles sont sédentaires.

Ce phénomène a été mis en évidence sur le plan génétique. Ainsi, « les truites de l'Ardèche sont tellement sédentaires qu'on trouve des différences génétiques entre affluents très petits et très voisins, et même le long de l'Ardèche tous les 50 km ». Ce qui fait dire à P. Berrebi (2006) : « Compte tenu de la structuration géographique générale et à petite échelle, la truite méditerranéenne est sédentaire à l'extrême (http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/docs/poissons-migrateurs/jours-migrateurs_19nov2009/truites-mediterraneennes.pdf) ». Le même processus a été observé dans les cours d'eau savoyards, où Caudron (2008) a également mis en évidence une forte structuration génétique des populations de truites, ainsi que par la Fédération de Pêche de la Loire (FDPPMA Loire, 2016). Toutes ces différenciations sont le résultat de processus sélectifs d'adaptation à des conditions locales. Enfin, les travaux d'Ovidio et al., 2007, montre que les truites fario ne cherchent pas nécessairement à franchir un ouvrage quand elles trouvent des conditions propices à leur reproduction et à leur nutrition à l'aval immédiat du seuil, alors que c'est sur ce phénomène de présence de truites au pied de seuils qu'ils sont accusés à tort d'être des « obstacles » au déplacement et donc à la reproduction des truites. Si la restauration de la continuité écologique par effacement des ouvrages avait permis la circulation de ces truites, leur croisement avec d'autres souches aurait inévitablement conduit à une perte préjudiciable de biodiversité de cette espèce. C'est en effet cette diversité génétique qui est à la base des processus d'adaptation des espèces à un environnement nouveau.

Les barrières dans les rivières sont donc particulièrement importantes pour protéger les souches autochtones. Certaines populations isolées par des ouvrages ou obstacles naturels infranchissables ont pu conserver des profils génétiques particuliers, notamment en absence d'introgression suite aux lâchers commerciaux de poissons d'élevage (Berrebi, 2006 ; FDP Loire, 2016).

Le rôle positif de la fragmentation sur les nappes et les rivières

Les sites où les truites sont les plus abondantes sont tous situés en altitude, donc en tête de bassin, où les températures sont naturellement plus fraîches, mais la hausse des températures, qui se poursuivra par inertie pendant plusieurs décennies, même si on arrivait à réduire nos émissions de gaz à effet de serre (Lévêque, 2022), va mettre progressivement ces populations en danger. Or, cette étude montre que dans certaines conditions environnementales, l'élévation progressive de la température peut être freinée jusqu'à offrir des conditions climatiques qui sévissaient plus de 30 ans en arrière. Ces têtes de bassin sont forcément plus favorables à la conservation de populations de truites. Comme les deux études présentées sont indépendantes, il n'est pas possible de savoir si les sites où se trouvent les populations importantes de truites, sont également ceux dont l'environnement atténue la thermie.

En revanche, on sait que si un tronçon de rivière très anthropisé à cause d'un fort taux d'étagement et des seuils, traverse une zone terrestre peu anthropisée, alors l'élévation de température et les assecs sont limités. La fragmentation de la rivière, considérée par l'administration comme un facteur majeur du réchauffement de l'eau ne semble pas avoir d'effet aussi dramatique. En fait ce serait plutôt un avantage dans la mesure où les seuils relèvent la ligne d'eau, mécanisme indispensable au remplissage de la nappe alluviale, puis éventuellement de la nappe phréatique. Ces nappes se redéversent ensuite dans la rivière quand le niveau baisse en étiage. L'eau venant du sol est donc fraîche, tout en évitant l'assèchement du lit de la rivière. Et naturellement l'ombrage des forêts et la ripisylve contribuent aussi à limiter l'élévation de la température. Or, ces conditions sont faciles à reproduire ou à amplifier, ce qui permettraient à des populations de truites de continuer de se développer à des altitudes où elles sont condamnées aujourd'hui, et naturellement de renforcer l'effet indirect de l'altitude pour assurer leur protection.

Ce n'est cependant pas suffisant puisque la présence de truites n'est pas seulement dépendante de l'altitude, mais aussi du débit. En cas de sécheresse intense, lorsque les sources tarissent et que la nappe alluviale est vide ou inexistante, il n'y a pas d'autres moyens pour garantir un débit minimum en permanence que d'avoir une réserve d'eau qui sera relâchée dans la rivière lorsque c'est nécessaire. La construction de réserves quand l'eau est susceptible de manquer apparaît d'ailleurs comme la seule solution à même de sécuriser l'avenir, d'autant plus qu'elles peuvent être remplies quand il y a trop d'eau notamment en hiver et durant les inondations. Malheureusement des mouvements militants s'opposent à la création de réserves arguant que ces dispositifs s'apparentent au « vol d'un bien commun » ([https://reporterre.net/Des méga bassines à l'eau bien commun, conférence à Paris](https://reporterre.net/Des_méga_bassines_à_l'eau_bien_commun_conférence_à_Paris)), ce qui traduit un manque de culture hydrologique !

Pour les zones à thermie plus élevée, c'est l'inverse, l'environnement terrestre est très anthropisé par les activités agricoles, alors que le tronçon de rivière est peu anthropisé, avec peu de seuils et un faible taux d'étagement. Une situation considérée administrativement comme idéal pour la rivière et la vie aquatique, objectif de la restauration de la continuité écologique, mais qui ne l'est manifestement pas. Sans relèvement de la ligne d'eau par les petits ouvrages, le processus hydrodynamique (loi de Darcy) qui contribue au remplissage des nappes alluviales ou phréatique n'a pas lieu. Le sol s'assèche plus rapidement et sans déversement des nappes en étiage, le réchauffement sera nécessairement plus fort, d'autant plus que la rivière n'est pas ombragée. Une situation très défavorable à la vie des truites. Par répercussion, certaines zones humides pourraient s'assécher et les sols agricoles qui prédominent dans ces zones auront besoin d'irrigation. Sans compter que, malgré l'évaporation (sans laquelle il n'y aurait pas de pluie), les retenues d'eau peuvent servir à abreuver le bétail et de la faune sauvage, donc à préserver la biodiversité. C'est d'ailleurs ce principe qui est à la base de la restauration des mares dans les zones rurales par les Fédérations de chasse, alors que les agences de l'eau réclament simultanément la destruction des étangs. Une logique difficile à comprendre.

Curieusement tout le monde s'accorde à reconnaître que la fragmentation des rivières est indispensable à sa régénération, y compris les associations écologistes,

mais à condition que l'ouvrage ne servent pas aux hommes ! Il n'est pas rare que la presse rapporte l'action exemplaire de bénévoles qui construisent des barrages comme ceux des castors en abattant des arbres et des branches pour faire remonter le niveau de l'eau et la stocker pour le plus grand bénéfice de la biodiversité. (Remarquez que si les arbres en travers des cours d'eau ne sont pas coupés par des pionniers écologistes, on parle « d'embâcles » et d'amendes s'ils ne sont pas enlevés. Récemment une personne a été verbalisée parce qu'elle avait construit un petit seuil pour alimenter un étang (<https://www.lanouvellerepublique.fr/deux-sevres/je-pensais-etre-dans-les-regles-condamne-pour-avoir-construit-un-barrage-sur-un-cours-d-eau-a-la-peyratte-1750958715>)). Mais pour les hommes castors, tout est permis, la police de l'environnement ne les connaît pas et le propriétaire des arbres ne peut que les remercier de les avoir utilisés pour sauver le monde ! Pourtant, que le niveau de l'eau remonte grâce à un ouvrage en bois ou en pierre, le résultat hydrologique est exactement le même, avec toutefois un avantage pour la pierre qui durera plus longtemps que le bois, et la possibilité d'exploiter l'ouvrage pour produire de l'énergie renouvelable qui est en fait l'arme ultime pour sauver les truites, en freinant le réchauffement climatique.

Remerciements : les auteurs remercient Claude Delobel, Charles-François Champetier et Charles-Henri Eyraud pour leurs conseils.

Bibliographie

Berrebi P (2006), Structure génétiques de 10 populations de truites du Parc National du Mercantour marqueurs microsatellites. Rapport final - Novembre 2006. 26p.

Birnie-Gauvin K et al (2018), River connectivity reestablished: Effects and implications of six weir removals on brown trout smolt migration, *River Res Applic.*, doi.org/10.1002/rra.327.

Caudron A (2008), Etude pluridisciplinaire des populations de truite commune (*Salmo trutta* L.) des torrents haut-savoyards soumises à repeuplements : diversité intraspécifique, évaluation de pratiques de gestion et ingénierie de la conservation de populations natives. Thèse Université de Savoie.

Chu L, Wang W, Zhu R et al. (2015), Variation in fish assemblages across impoundments of low-head dams in headwater streams of the Qingyi River, China: effects of abiotic factors and native invaders. *Environ Biol Fish* 98, 101-112. <https://doi.org/10.1007/s10641-014-0239-6>.

David F (2018), Biological invasion risk assessment, considering adaptation at multiple scales: the case of topmouth gudgeon *Pseudorasbora parva*. *Biodiversity and Ecology*. Université Montpellier.

Ercan D et al. (2015), Evidence of threat to European economy and biodiversity following the introduction of an alien pathogen on the fungal-animal boundary, *Emerging Microbes & Infections - Nature*, 4, e52; doi:10.1038/emi.2015.52.

Fairfax E & Whittle A, (2020): Beaver dams and associated pre/during/post-fire Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in Western U.S.A. *PANGAEA*, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.923680>.

Fédération de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique de la Loire (2016), Identification de la diversité génétique et programme de sauvegarde des populations de truite du département de la Loire. 262 pp.

Gozlan R (2020), Journées Techniques nationales, 5e édition © SFI Résumé Détection de l'agent rosette *Sphareothecum destruens* dans les communautés piscicoles de France (Projet Rosetta), 44(3): 276. <https://doi.org/10.26028/cybium/2020-443-016>

Gres P et Scaramuzzi M (2024) Etat des peuplements piscicoles en 2023 et comparaison avec l'historique. Rapport ECOGEA, 133 p.

Keith P, Poulet N, Denys G, Changeux T, Feunteun E, & Persat H, (2020). Les poissons d'eau douce de France. 2ème édition. Biotope éditions, Mèze. MNHN, Paris. 704.

Lascaux JM & Cazeneuve L (2025), Résultats de l'étude micro habitats développée sur les bassins versants de la Coise, du Lignon et de l'Aix. Rapport ECOGEA, 101 p.

Lévêque C. 2022. Erosion de la biodiversité, enjeux et débats. ISTE editions, 261p.

Ovidio M et al. (2007), Field protocol for assessing small obstacles to migration of brown trout *Salmo trutta*, and European grayling *Thymallus thymallus*: a contribution to the management of free movement in rivers, *Fisheries Management and Ecology*, 14, 41-50.

Vera M et al (2019), Identification of an endemic Mediterranean brown trout mtDNA group within a highly perturbed aquatic system, the Llobregat River (NE Spain), *Hydrobiologia*, 827, 1, 277-291.

Vernoux J F., Lions J., Petelet-Giraud E., Seguin J.J., Stollsteiner P., Lalot E. (2011) Contribution à la caractérisation des relations entre eau souterraine, eau de surface et écosystèmes terrestres associés en lien avec la DCE, rapport BRGM/RP-57044-FR, 207 p.