



Etude exploratoire sur la capacité de résilience des communautés piscicoles des cours d'eau

**Avec le soutien financier de
l'Office français de la biodiversité**

Titre : Etude exploratoire sur la capacité de résilience des communautés piscicoles des cours d'eau confrontées au manque d'eau

Auteur(s) : CIESIELSKI L. (OiEau), CABRAL M. (OiEau)

Contributeur(s) : CLERC S. (OiEau), LEVEUGLE F. (OiEau), HOCQUET C. (OiEau), NOWAK C. (OFB), MAGAND C. (OFB) et PENIL C. (OFB)

Editeur : Office International de l'Eau (OiEau)

Date de publication : 03 /08/2022

Résumé : Cette étude exploratoire a pour objectif de présenter un aperçu des connaissances sur la capacité de résilience des communautés piscicoles des cours d'eau confrontées au manque d'eau. Le manque d'eau, dans le cadre de cette étude, est associé à la sécheresse hydrographique naturelle ou exacerbée par des pressions anthropiques. Pour cela, une analyse bibliographique et bibliométrique a été effectuée. Cette synthèse présente dans un premier temps la méthodologie mise en place pour la sélection des articles scientifiques puis les résultats de l'analyse bibliométrique afin d'étudier la résilience des communautés de poissons des cours d'eau soumises au manque d'eau à l'échelle mondiale. Le manque d'eau induit des effets à l'échelle des individus de la population, à l'échelle de la communauté, mais également à l'échelle de l'écosystème. Ces effets, à court ou à long terme, peuvent être en faveur ou en défaveur d'une résilience des communautés piscicoles d'eau douce.

Mots-clés : sécheresse, communauté piscicole, peuplement, poissons, dulcicole, cours d'eau, résilience

Format : PDF

Langue : Français

Couverture géographique : International

URL du document :

Droits d'usage : <https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/fr/>

Droits de diffusion : libre

SOMMAIRE

Table des figures	5
Table des tableaux	6
Liste des annexes.....	7
Liste des abréviations	8
Glossaire	9
Pictogramme.....	13
1. Introduction.....	15
2. Matériel et méthodes.....	19
2.1 Recherches bibliométriques	19
2.2 Analyses bibliographiques	19
3. Analyse des conséquences du manque d'eau sur les communautés piscicoles.....	22
3.1 Contexte.....	22
3.2 Effets défavorables à la résilience des communautés piscicoles des cours d'eau.....	24
3.2.1 Effets sur les individus	24
3.2.1.1 Diminution de la taille	24
3.2.1.2 Diminution de la taille des organes stomacaux	26
3.2.1.3 Diminution des organes reproducteurs	26
3.2.1.4 Augmentation de la mortalité	27
3.2.2 Effets sur les communautés.....	28
3.2.2.1 Homogénéisation des communautés	28
3.2.2.2 Diminution des espèces indigènes.....	29
3.2.3 Effets sur l'écosystème	30
3.2.3.1 Effets de la fragmentation des milieux	30
3.2.3.2 Effets sur les chaînes trophiques	31
3.3 Effets favorables à la résilience des communautés piscicoles des cours d'eau.....	33
3.3.1 Effets sur les individus	33
3.3.1.1 Pas de modification ou de diminution systématique de la taille.....	33
3.3.1.2 Augmentation de la biomasse des organes digestifs	34
3.3.1.3 Augmentation de la biomasse des organes reproducteurs	35
3.3.1.4 Mécanismes de tolérance des espèces	35
3.3.2 Effets sur l'écosystème.....	36
3.3.2.1 Mécanisme de recolonisation	36
4. Limites de l'étude	37

5. Conclusion.....	39
Bibliographie.....	42

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Impacts de la baisse des niveaux d'eau sur les milieux aquatiques.....	16
Figure 2 : Photographie d'une écrevisse à pieds blancs morte dans le bassin versant du Grande Sauldre dans le Cher (18) à la suite d'un stress thermique important.	16
Figure 3 : Photographie de la Loire eutrophisée dans le secteur de Guilly (45).	16
Figure 4 : Photographie de l'Aume à sec en aval de Paizay-Naudouin (16).	17
Figure 5 : Photographie de la Gargillesse à sec à Orsennes (36).....	17
Figure 6 : Photographie du Cher (18).....	17
Figure 7 : Photographie du plan d'eau de Naussac (48).....	17
Figure 8 : Photographie de la prolifération importante d'hydrocotyle sur la Dhuy (45).	18
Figure 9 : Photographie de l'espèce thermophile invasive <i>Pectinatella magnifica</i> (Leidy, 1851) sur l'étang Naue la Chèvre (54).	18
Figure 10. Conséquences potentielles du manque d'eau sur les communautés piscicoles (modifié d'après Baptist et Poulet, 2014).....	22
Figure 11. Carte mentale comportant les effets favorables et défavorables à la capacité de résilience des communautés piscicoles des cours d'eau confrontées au manque d'eau à l'échelle mondiale basée sur l'étude des articles sélectionnés issus de la requête sur le Web Of Science.....	23
Figure 12 : Principaux résultats présentant le nombre total de publications, le nombre total de fois que les articles du corpus ont été cités avec et sans auto-citations, le nombre de citations moyennes par article et le nombre d'articles que le corpus cite sur la période 2000-juillet 2021 sur la thématique considérée.	47
Figure 13 : Histogramme de l'évolution de l'activité de recherche sur la période 2000-juillet 2021 sur la thématique considérée (sécheresse, poisson, cours d'eau, communauté et rivière).	48
Figure 14 : Extrait des 10 premiers articles du classement du corpus total selon le nombre croissant total de citation par an sur la période 2000-juillet 2021 sur la thématique considérée.	48
Figure 15 : Représentation graphique de la répartition des articles dans les catégories WOS sur la période 2000-juillet 2021 sur la thématique considérée.....	49
Figure 16 : Histogramme de la répartition géographique des articles scientifiques sur la période 2000-juillet 2021 sur la thématique considérée.	49
Figure 17 : Histogramme de la répartition des articles scientifiques selon les organisations sur la période 2000-juillet 2021 sur la thématique considérée.	50
Figure 18 : Histogramme de la répartition des articles scientifiques selon l'auteur sur la période 2000-juillet 2021 sur la thématique considérée.....	51
Figure 19 : Représentation graphique de la répartition des articles scientifiques dans les revues scientifiques sur la période de 2000-juillet 2021 sur la thématique considérée.	51

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Critères de sélection lors de la requête sur le Web Of Science.**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 2 : Liste des articles sélectionnés issue de la requête du WOS pour l'analyse de la résilience des communautés piscicoles en cas de manque d'eau au cours de la période de 2000 - juillet 2021..... 20

LISTE DES ANNEXES

Annexe A : Liste des articles non disponibles en libre accès issus de la requête sur le Web of science pour l'analyse de la résilience des communautés piscicoles en cas de manque d'eau au cours de la période de 2000 – juillet 2021.....	46
Annexe B : Résultats des recherches bibliométriques	47

LISTE DES ABREVIATIONS

COH : Chironomidea, Oligochaeta et Hirudinea

EPT : Ephemeroptera, Plecoptera et Trichoptera

Ifremer : Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer

GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

OFB : Office Français de la Biodiversité

OiEau : Office International de l'Eau

WOS : Web Of Science

GLOSSAIRE

Dans le corps de l'étude exploratoire sur la capacité de résilience des communautés piscicoles des cours d'eau confrontées au manque d'eau, on entend par :

Allométrie : Changement dans les proportions du corps d'un animal au cours de sa croissance, par suite du développement plus rapide, ou plus lent, de l'un de ses membres¹.

Anoxie : Diminution de l'oxygène dissous ou présent et biodisponible dans le milieu (sol, sédiment, eau, atmosphère)².

Assec : Assèchement temporaire d'un cours d'eau ou d'un tronçon de cours d'eau ou d'un plan d'eau².

Bassin versant : Surface d'alimentation d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau. Le bassin versant se définit comme l'aire de collecte des eaux, considérée à partir d'un exutoire : elle est limitée par le contour à l'intérieur duquel toutes les eaux s'écoulent en surface et en souterrain vers cet exutoire. Ses limites sont les lignes de partage des eaux².

Benthique : Qualifie un organisme vivant sur le fond (e.g. macroinvertébrés benthiques)².

Bibliométrie : La bibliométrie est l'évaluation quantitative de l'activité scientifique par le décompte des publications savantes d'un individu, d'un groupe ou d'une revue ainsi que de l'impact de cette production dans la communauté par les citations reçues³.

Biocénose : Ensemble des organismes vivants (animaux et végétaux dont microorganismes) qui occupent un écosystème donné. Ce groupement d'êtres vivants est caractérisé par une composition spécifique déterminée et par l'existence de phénomènes d'interdépendance. Il occupe un espace que l'on appelle biotope et constitue avec lui l'écosystème. Une biocénose se modifie au cours du temps (phase pionnière, phase intermédiaire et phase d'équilibre)².

Biomasse : Masse totale de matière de toutes les espèces vivantes présentes dans un écosystème donné. La biomasse peut également désigner un sous ensemble de cette masse comme la masse totale de matière vivante présente à un niveau trophique donné, voire d'une famille ou d'une espèce dans un écosystème (poids total de la matière d'un individu, d'un groupe, d'une classe d'âge, d'un stock, d'une population, etc.)².

Biotope : Espace caractérisé par des facteurs climatiques, géographiques, physiques, morphologiques, géologiques, etc. en équilibre constant ou cyclique et occupé par des organismes qui vivent en association spécifique (biocénose). C'est la composante non vivante (abiotique) de l'écosystème².

¹ : Larousse. <https://www.larousse.fr/>

² : Glossaire - Eau, milieux marins et biodiversité. Office International de l'Eau. www.glossaire-eau.fr

³ : Qu'est-ce que la bibliométrie ? Ecole de technologie supérieure. <https://sites.google.com/a/etsmtl.net/bibliometrie/>

Canicule : Épisode de températures de l'air élevées, de jour comme de nuit, sur une période prolongée. Les seuils de durée et de températures minimales et maximales varient d'un département à l'autre⁴.

Commensalisme : Mode d'alimentation d'un animal qui se nourrit des débris de repas ou des parasites externes d'un animal d'une autre espèce, généralement plus grand, sans faire de tort à son hôte¹.

Communauté : Ensemble de populations d'espèces différentes, partageant certaines caractéristiques écologiques (souvent : espèces de même niveau trophique), occupant un même site ou une même région géographique⁵.

Concentration létale : Concentration d'un produit toxique qui entraîne la mort d'un pourcentage n dans une population donnée, pendant un temps donné, dans une expérience donnée (CL n)².

Cours d'eau : Ecoulement d'eaux courantes dans un lit naturel à l'origine, alimenté par une source et présentant un débit suffisant la majeure partie de l'année. L'écoulement peut ne pas être permanent compte tenu des conditions hydrologiques et géologiques locales⁶.

Cours d'eau intermittent : Cours d'eau asséché une partie de l'année².

Dessiccation : Action de dessécher. Élimination de l'eau, naturelle ou pas, contenue dans une substance⁵.

Dulcicole : Qui vit exclusivement dans les eaux douces¹.

Ecosystème : Ensemble des êtres vivants (biocénose), du milieu dans lequel ils vivent (biotope) et des interactions entre eux. C'est l'unité fonctionnelle de base en écologie. L'écosystème milieu aquatique est décrit par la nature du lit et des berges, les caractéristiques du bassin versant, le régime hydraulique, la physico-chimie de l'eau et les êtres vivants qui en font partie¹.

Ectotherme : Se dit d'un animal qui ne produit pas de chaleur dont la température centrale est engendrée seulement par les échanges thermiques avec son environnement¹.

Espèce : Ensemble de tous les individus semblables ayant en commun des caractères morphologiques et physiologiques héréditaires et qui sont capables de se reproduire entre eux en engendrant des individus. Des espèces se ressemblant mais incapables de se reproduire entre elles appartiennent au même genre².

Espèce diadrome : Espèce dont une partie du cycle biologique se fait en eau douce et une autre partie en eau salée².

⁴ : Vague de chaleur et canicule, quelle différence ? 21/06/2021. Météo France.

<https://météofrance.com/comprendre-la-meteo/temperatures/vague-de-chaleur-et-canicule-quelle-difference>

⁵ : Glossaire. Encyclopédie de l'environnement. <https://www.encyclopedie-environnement.org/glossaire/>

⁶ : LOI n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages (1). <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000033016237>

Espèce endémique : Espèce, sous-espèce ou un taxon inférieur dont la distribution géographique est limitée à un territoire (une île, une montagne, une vallée, etc.) et ne se retrouve pas ailleurs à l'état naturel⁷.

Espèce exotique envahissante (ou espèce invasive) : Conformément aux définitions de l'UICN, de la Convention sur la diversité biologique, du Parlement européen et du Conseil de l'Europe, une espèce exotique envahissante est une espèce introduite par l'homme en dehors de son aire de répartition naturelle (volontairement ou fortuitement) et dont l'implantation et la propagation menacent les écosystèmes, les habitats ou les espèces indigènes avec des conséquences écologiques et/ou économiques et/ou sanitaires négatives⁷.

Espèce indigène : Espèce, sous-espèce ou un taxon inférieur présent naturellement à l'intérieur d'un territoire, y compris la zone qu'elle peut atteindre et occuper en utilisant ses propres moyens de déplacement⁷.

Estuaire : Partie terminale d'un fleuve, de forme évasée et où la mer remonte. C'est une zone de mélange entre eaux douces et eaux marines. Ce mélange induit un gradient très important des propriétés physico-chimiques des eaux, variable dans l'espace et dans le temps².

Étiage : Période de plus basses eaux des cours d'eau et des nappes souterraines (généralement l'été pour les régimes pluviaux)².

Eutrophisation : Enrichissement excessif des cours d'eau et des plans d'eau en éléments nutritifs, essentiellement le phosphore et l'azote qui constituent un véritable engrais pour les plantes aquatiques. Elle se manifeste par la prolifération des végétaux dont la décomposition provoque une diminution notable de la teneur en oxygène².

Facteur de condition : Indicateur de la santé du poisson calculé par la formule de Fulton (P/L^3).

Fraie : Période de reproduction des poissons (ponte et fécondation des œufs) ; action de frayer¹.

Individu : Spécimen vivant appartenant à une espèce donnée ; être organisé, vivant d'une existence propre et qui ne peut être divisé sans être détruit.

Ichtyofaune : Ensemble des [poissons](#) vivants dans un espace géographique ou un habitat déterminé.⁸

Mésocosme : Dispositif expérimental clos destiné à étudier les effets des polluants sur le milieu⁹.

Milieu aquatique : Cours d'eau, milieux humides, plans d'eau (lacs, étangs et marais), estuaires, lagunes, deltas, eaux souterraines¹⁰.

⁷ : Définitions. Centre de ressources espèces exotiques envahissantes. <http://especes-exotiques-envahissantes.fr/definitions/>

⁸ : D'après IFREMER. <http://www.glossaire-eau.fr/concept/ichtyofaune>

⁹ <https://www.encyclopedie.fr/definition/m%C3%A9socosme>

¹⁰ : Les milieux aquatiques. Office Français de la Biodiversité. <https://ofb.gouv.fr/les-milieux-aquatiques>

Parasitisme : État d'un organisme qui vit aux dépens d'un organisme d'une autre espèce, l'hôte¹.

Phénologie : Etude des causes, mécanismes et conséquences des événements périodiques marquant le cycle de vie des espèces⁶.

Plasticité : Capacité d'un organisme à modifier un de ses traits en réponse à des facteurs environnementaux.

Population : Groupe d'individus d'une même espèce qui coexistent sur une même aire géographique et réellement se reproduisent (ou ont la possibilité physique de) entre eux et transmettent ainsi leurs caractères héréditaires à leur descendance.

Réseau trophique : Ensemble des relations alimentaires entre espèces au sein d'un écosystème, par lesquelles l'énergie et la matière circulent. Dans les écosystèmes aquatiques, on distingue usuellement des réseaux trophiques benthiques, qui concernent l'interface eau-sédiments tant des biotopes dulçaquicoles que marins et les réseaux trophiques pélagiques propres aux eaux libres des océans ainsi que celles de la zone limnétique des lacs².

Résilience : Capacité d'un écosystème, d'une population, d'un peuplement à résister et à survivre à des altérations ou à des perturbations affectant sa structure ou son fonctionnement, et à trouver, à terme, un nouvel équilibre².

Ripisylve : Formation végétale qui se développe sur les bords des cours d'eau ou des plans d'eau situés dans la zone frontière entre l'eau et la terre (la ripisylve est un exemple d'écotone)².

Sécheresse hydrologique : Situation décrite par des réserves en eau des nappes, des cours d'eau et des lacs en dessous de la moyenne et qui montrent des niveaux anormalement bas. Elle peut être la conséquence d'une sécheresse météorologique en automne et en hiver particulièrement longue et intense, mais aussi d'une surexploitation des ressources en eau².

Symbiose : Association durable sinon constante nécessaire et à bénéfices réciproques entre deux organismes vivants².

Taxon : Chacun des niveaux hiérarchiques utilisés dans les classifications biologiques pour regrouper des espèces ayant des traits communs : classe, ordre, famille, genre, espèce, etc. ².

Tronçon : Portion de cours d'eau de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres².

Vulnérabilité : Fragilité ou susceptibilité face à un aléa donné ou une pression donnée².

Zone hyporhéique : Ensemble des sédiments saturés en eau, situés au-dessous et à côté d'un cours d'eau, contenant une certaine quantité d'eau de surface².

Dans le corps du texte, les termes recensés dans ce glossaire seront signalés par un astérisque.

PICTOGRAMME

L'ensemble des pictogrammes utilisés pour classifier les espèces de poissons en fonction de leur localisation est présent sur le tableau ci-dessous. Les noms latins ainsi que les noms vernaculaires des différentes espèces issus des articles de cette méta-analyse sont indiqués.

Pictogramme	Localisation	Nom latin	Nom vernaculaire
	Espèce indigène en France métropolitaine	<i>Barbus meridionalis</i> (Risso, 1827)	Barbeau méridional
		<i>Squalius laietanus</i> (Doadrio, Kottelat & de Sostoa, 2007)	Chevesne catalan
		<i>Salmo trutta</i> (Linnaeus, 1758)	Truite fario
	Espèce d'Australie	<i>Galaxias olidus</i> (Günther, 1866)	Galaxie des montagnes
		<i>Macquaria ambigua</i> (Richardson, 1845)	Perche dorée
		<i>Bidyanus bidyanus</i> (Mitchell, 1838)	Perche argentée
		<i>Maccullochella peelii</i> (Mitchell, 1838)	Morue de Murray
		<i>Pseudaphritis urvillii</i> (Valenciennes, 1832)	/
		<i>Tandanus tandanus</i> (Mitchell, 1838)	Poisson-chat tandanus
	Espèce d'Amérique du Sud	<i>Colossoma macropomum</i> (Cuvier, 1816)	/
		<i>Mylossoma duriventre</i> (Cuvier, 1818)	/
		<i>Serrasalmus spilopleura</i> (Kner, 1858)	Piranha à bande sombre
		<i>Serrasalmus elongatus</i> (Kner, 1858)	Piranha brochet
	Espèce d'Amérique du Nord	<i>Ameiurus natalis</i> (Lesueur, 1819)	Barbotte jaune
		<i>Catostomus clarkii</i> (Baird & Girard, 1854)	/
		<i>Catostomus insignis</i> (Baird & Girard, 1854)	/
		<i>Cyprinella lutrensis</i> (Baird & Girard, 1853)	Ide américain à nageoires rouges
		<i>Gila robusta</i> (Baird & Girard, 1854)	Méné à queue ronde
		<i>Lepomis cyanellus</i> (Rafinesque, 1819)	Crapet vert
		<i>Micropterus dolomieu</i> (Lacepède, 1802)	Achigan à petite bouche
	Espèce d'Europe hors France métropolitaine	<i>Achondrostoma oligolepis</i> (Robalo, Doadrio, Almada & Kottelat, 2005)	/

		<i>Barbus sclateri</i> (Gunther, 1868)	Barbeau andalou
		<i>Rutilus arcasii</i> (Steindachner, 1866)	Bermejuela
		<i>Squalius keadicus</i> (Stephanidis, 1971)	/
		<i>Tropidophoxinellus spartiaticus</i> (Schmidt-Ries, 1943)	/
		<i>Pelagius laconicus</i> (Kottelat & Barbieri, 2004)	/

1. INTRODUCTION

Le manque d'eau est un enjeu fort pour les pouvoirs publics car ils doivent mettre en place des règles de partage de l'eau équitable entre les usagers tout en étant garants de la préservation des milieux naturels. En effet, qu'ils soient aquatiques ou terrestres, les milieux ne sont pas épargnés par le manque d'eau ; les habitats et espèces protégés ou non sont tous impactés. Les quatre années consécutives de sécheresse, 2017 à 2020, auxquelles a été confrontée la France, ont particulièrement bien mis en évidence cet enjeu avec des situations de crise et des prises d'arrêtés de restriction d'usages sur la quasi-totalité du territoire métropolitain. Le changement climatique en cours pourrait rapidement exacerber ce type de situation.

Les conséquences socio-économiques des restrictions d'eau peuvent être importantes pour les différentes activités touchées et l'argument de la résilience des milieux aquatiques au manque d'eau est fréquemment avancé afin de limiter la prise de restrictions. L'objectif de cette étude est d'avoir un aperçu des connaissances scientifiques existantes vis-à-vis de la résilience des milieux aquatiques. Le terme « milieux aquatiques »* comporte les rivières, les fleuves, les lacs, les eaux littorales, les estuaires et les lagunes, les eaux souterraines et les milieux humides. Même s'ils sont connectés entre eux, la présente étude s'intéressera plus spécifiquement aux cours d'eau* continentaux (exclusivement rivières et ruisseaux) intermittents* ou pérennes.

Le cours d'eau constitue le support de plusieurs activités socio-économiques (production d'énergie, captage pour l'eau potable, irrigation, navigation, industries, etc.) et occupe une place importante dans les activités de loisirs (pêche, activités nautiques, etc.). En cas de manque d'eau, les écosystèmes* de cours d'eau sont donc particulièrement sensibles aux règles de gestion.

La gestion de ces usages de l'eau en France est de deux ordres :

- Une gestion structurelle (ou à long terme) qui repose sur la détermination de volumes d'eau prélevables par territoire et par usage, en adéquation avec les capacités du milieu et garantissant le bon fonctionnement des écosystèmes ;
- Une gestion adaptative en cas de crise : les préfets peuvent prendre des mesures de suspension provisoire des usages de l'eau lors d'épisodes exceptionnels.

Le Ministère de la transition écologique a récemment procédé à une révision du dispositif afin d'améliorer les points de faiblesse identifiés lors des derniers épisodes de sécheresse* (cf. Décret n° 2021-795 du 23 juin 2021 relatif à la gestion quantitative de la ressource en eau et à la gestion des situations de crise liées à la sécheresse et guide sécheresse).

Le manque d'eau a des conséquences directes sur les cours d'eau pour les communautés* piscicoles qui sont relativement bien connues. Au-delà de l'effet directement observable sur les cours d'eau, plutôt quantitatif, la modification des caractéristiques d'écoulement, la perte d'habitat, les situations de stress hydrique peuvent se traduire par des modifications d'ordre plus qualitatif liées à la concentration, à une plus grande sensibilité aux variables physiques extérieures. Même si spécifiques à chaque contexte, les principales conséquences du manque d'eau sur les habitats et le fonctionnement des écosystèmes qui impactent les communautés aquatiques des cours d'eau sont (Figure 1) :



Figure 1 : Impacts de la baisse des niveaux d'eau sur les milieux aquatiques.
(© M. NIVESSE et AFB d'après OiEau)

- **L'élévation de la température de l'eau.** La réduction de la vitesse de courant et de la hauteur d'eau rendent les cours d'eau plus sensibles à la température de l'air et à l'ensoleillement. L'élévation de la température peut alors d'une part modifier directement la physiologie de certains organismes pouvant aboutir à leur mort en cas de stress thermique très important (Figure 2), et d'autre part changer les équilibres biologiques (phénomènes d'eutrophisation* (Figure 3), développement de cyanobactéries, augmentation de la virulence de certains agents pathogènes, etc.) ;



Figure 2 : Ecrevisse à pieds blancs morte dans le bassin versant du Grande Sauldre dans le Cher (18) à la suite d'un stress thermique important.
Le 16/07/2019. © B. VALES – OFB



Figure 3 : La Loire eutrophisée dans le secteur de Guilly (45).
Début juillet 2019. © P. STEINBACH – OFB

- **La fragmentation des cours d'eau** (ou la rupture de la continuité écologique). La baisse du niveau d'eau dans les rivières peut rendre certains obstacles, naturels ou non, infranchissables par les espèces aquatiques et peut également supprimer les relations entre les petits ruisseaux (Figure 4 et Figure 5). Les déplacements des espèces aquatiques mobiles sont ainsi limités et leur cycle de vie peut se trouver bloqué à des périodes critiques ;



Figure 4 : L'Aume à sec en aval de Paizay-Naudouin (16).

Courant août 2019. © SD16 – OFB



Figure 5 : La Gargillesse à sec à Orsennes (36).

Fin juillet 2019. © J. M. LAURENT – OFB

- **La modification de la qualité physico-chimique de l'eau.** Une baisse importante des débits de l'eau peut limiter la dilution et l'évacuation des polluants et ainsi augmenter leur concentration dans certaines portions de cours d'eau (Figure 6 et Figure 7) ;



Figure 6 : Le Cher (18).

Le 29 juin 2019. © J. JARRY – OFB



Figure 7 : Plan d'eau de Naussac (48).

Le 27 juin 2019. © A. M. PIJEAU – OFB

- **L'accélération de la prolifération d'espèces exotiques envahissantes***. Face aux sécheresses récurrentes, l'ensemble du cortège faunistique et floristique peut être modifié, avec une disparition des espèces autochtones les plus sensibles au profit d'espèces plus tolérantes comme les espèces invasives (Figure 8 et Figure 9).



Figure 8 : Prolifération importante d'hydrocotyle sur la Dhuy (45).
© EP Loire



Figure 9 : Espèce thermophile invasive *Pectinatella magnifica* (Leidy, 1851) sur l'étang Naue la Chèvre (54).

Le 19 août 2019. © J.B. SCHWEYER – OFB

Ces perturbations environnementales provoquées par le manque d'eau ont donc des impacts directs sur les communautés piscicoles. Elles jouent également un rôle dans leur résilience*, c'est-à-dire dans leur capacité à subsister après une variation des conditions environnementales (résistance) et à revenir à leur état de référence après une perturbation (récupération).

Du fait de la résilience supposée ou réelle des communautés, les usagers de la ressource en eau peuvent minimiser les impacts du manque d'eau sur la faune aquatique. Or, la recolonisation des milieux n'est souvent pas systématique. A titre d'exemple, certains milieux, comme les rivières des départements méditerranéens, sont soumises à des assèchements fréquents. Les organismes de ces cours d'eau sont adaptés mais l'aggravation des sécheresses en durée et en intensité, ainsi que leur récurrence, affectent pourtant durablement la biodiversité de ces milieux.

En effet, les assèchements répétés et de plus en plus longs et fréquents entraînent une perte majeure dans les peuplements aquatiques (faune et flore), perturbant l'équilibre écologique des cours d'eau et diminuant la variété des espèces présentes. Le réchauffement climatique va aggraver, en fréquence et en intensité, les situations de manque d'eau dans certaines régions (cf. 6ème rapport du GIEC, Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) et pose question quant à la capacité d'adaptation de la biodiversité aquatique.

Comme énoncé plus haut, l'objectif de la présente synthèse est donc de donner un aperçu des connaissances sur la capacité de résilience des communautés piscicoles dulcicoles* des cours d'eau confrontés au manque d'eau.

Après avoir rapidement introduit la méthode bibliographique* utilisée, les impacts non réversibles du manque d'eau sur les communautés et donc défavorable à la résilience, identifiés dans la littérature scientifique seront décrits, suivis d'une partie sur les effets favorable à la résilience mis en évidence dans ces articles scientifiques.

Enfin, les résultats de l'analyse bibliométrique* permettront de situer les résultats de cette synthèse dans un corpus bibliographique pas totalement représentatif de l'ensemble des cours d'eau dans le monde (ou français) et d'identifier ainsi les limites de l'exercice.

2.MATERIEL ET METHODES

2.1 Recherches bibliographiques

Cette recherche bibliographique a pour but de recenser les publications scientifiques de la communauté internationale afin d'évaluer les connaissances disponibles sur la résilience des communautés piscicoles des cours d'eau en cas de manque d'eau à l'échelle mondiale, entre janvier 2000 et juillet 2021. Pour cela, une équation de recherche a été exécutée sur la base de données de publications scientifiques Web Of Science (WOS) pour la période de janvier 2000 à juillet 2021 avec des mots-clés définis (Tableau 1). L'intégralité des articles scientifiques collectés est en anglais.

Tableau 1 : Critères de sélection lors de la requête sur le Web Of Science.

Période de l'étude	Janvier 2000 - juillet 2021
Mots-clés	« Drought / fish / freshwater / community / river »
Equation de recherche	(Drought AND fish AND freshwater AND community AND river)
Cible	Topic

2.2 Analyse bibliométrique

A la suite de la requête effectuée sur la base de données Web Of Science, l'ensemble des articles ont été évalués individuellement à partir de leurs résumés afin de les classer en fonction des différentes conséquences (directes et indirectes) et sous-thèmes (résilience, fragmentation des milieux aquatiques, élévation de la température de l'eau, qualité physico-chimique de l'eau, assèchement des linéaires, tolérance à la dessiccation et adaptation morphologique, physiologique et comportementale). Puis grâce à cette classification, 11 articles sur la thématique de la résilience et de la perte de biodiversité (critère de sélection de cette synthèse) ont été sélectionnés (Tableau 2) et une analyse bibliométrique a été réalisée. Certains articles présélectionnés n'ont pas pu être exploités intégralement (non disponibles en libre accès, etc.), ils n'ont donc pas été pris en compte dans cette synthèse (Annexe A).

Tableau 1 : Liste des articles sélectionnés, issue de la requête du WOS pour l'analyse de la résilience des communautés piscicoles en cas de manque d'eau au cours de la période de janvier 2000 - juillet 2021.

N°	Auteur	Date	Titre	Mots-clés	Localisation	Type de sécheresse ou de cours d'eau	Espèces de poissons
1	Humphries and Baldwin	2003	Drought and aquatic ecosystems: an introduction	Drought, Freshwater, Low flow, Rivers, Temporal and spatial scales	/ (méta-analyse)	/ (méta-analyse)	/
2	Daniel et al.	2013	A Tale of Two Rivers: Implications of Water Management Practices for Mussel Biodiversity Outcomes During Droughts	Drought, Minimum flows, Hydrologic alteration, Environmental flows, Unionoida, Freshwater mussel, Indicator species	Rivières au sud des Etats-Unis (Amérique du Nord)	Sécheresse pluriannuelle	Autres (moules)
3	Small et al.	2014	Hypoxia, blackwater and fish kills: experimental lethal oxygen thresholds in juvenile predatory lowland river fishes	/	Rivières de plaine en Australie dans le bassin de Murray-Darling (Australie)	Hypoxie et eaux noires à faible teneur en oxygène dissous	Espèces de poissons juvéniles endémiques des cours d'eau d'Australie : • <i>Macquaria ambigua</i> (Richardson, 1845) • <i>Bidyanus bidyanus</i> (Mitchell, 1838) • <i>Maccullochella peelii</i> (Mitchell, 1838) • <i>Tandanus tandanus</i> (Mitchell, 1838)
4	Strauch et al.	2015	Composition and health of fish in refugia habitat of ephemeral tributaries to the lower Zambezi in southern Africa	Diversity, Drought, Fish health, Riparian vegetation, Water quality, Zimbabwe	Rivières éphémères en Zambezi (Afrique)	Cours d'eau éphémères	Espèces de poissons de 4 familles différentes : • Cichlidae (Bonaparte, 1835) • Cyprinidae (Rafinesque, 1815) • Clariidae (Bonaparte, 1845) • Poeciliidae (Bonaparte, 1831)
5	Whiterold et al.	2015	Spatial and temporal variability in fish community structure in Mediterranean climate temporary streams	Functional fish groups, Threatened species, Flow alteration, Millennium drought, Murray-Darling Basin	Rivières de plaine en Australie dans le bassin de Murray-Darling (Australie)	Cours d'eau temporaires	33 espèces présentes en Australie dont 27 indigènes et 7 exotiques
6	Datry et al.	2017	Context-dependent resistance of freshwater invertebrate communities to drying	Climate change, Coexistence, Desiccation resistance, Drying, Neotropical streams, Wetlands (bofedales)	Rivières de trois régions de la Bolivie (Amérique du Sud)	Cours d'eau avec des degrés d'assèchement variant de faible, moyen à élevée	Autres (invertébrés aquatiques)
7	Sabater et al.	2018	Effects of human-driven water stress on river ecosystems: a meta-analysis	/	/ (méta-analyse)	/ (méta-analyse)	Bactéries, algues, invertébrés et poissons

N°	Auteur	Date	Titre	Mots-clés	Localisation	Type de sécheresse ou de cours d'eau	Espèces de poissons
8	Tribuzy-Neto et al.	2018	Condition factor variations over time and trophic position among four species of Characidae from Amazonian floodplain lakes: effects of an anomalous drought	Fish fitness, Environmental effects, <i>Colossoma macropomum</i> , <i>Mylossoma duriventre</i> , <i>Serrasalmus spilopleura</i> , <i>Serrasalmus elongatus</i>	Lacs de plaines inondables amazoniens au Brésil (Amérique du Sud)	Episode de sécheresse	Espèces de poissons endémiques des lacs de plaines inondables amazoniens : • <i>Colossoma macropomum</i> (Cuvier, 1816) • <i>Mylossoma duriventre</i> (Cuvier, 1818) • <i>Serrasalmus spilopleura</i> (Kner, 1858) • <i>Serrasalmus elongatus</i> (Kner, 1858)
9	Glarou et al.	2019	Plasticity in life history traits of a cyprinid fish in an intermittent river	Fish condition, Fish reproduction, Trophic ecology, Drought	Rivière intermittente au sud de la Grèce (Europe)	Cours d'eau intermittent	Espèces de poissons endémiques de Grèce : • <i>Squalius kaedicus</i> (Stephanidis, 1971) • <i>Tropidophoxinellus spartiaticus</i> (Schmidt-Ries, 1943) • <i>Pelagus laconicus</i> (Kottelat & Barbieri, 2004)
10	Rogosch et al.	2019	Increasing drought favors nonnative fishes in a dryland river: evidence from a multispecies demographic model	Assemblage, Climate change, Community, Demographic model, Drought, Freshwater fish, Hydrology, Invasive species, Multispecies model, Nonnative species, Non-stationarity, Stochasticity	Rivière en Arizona aux Etats-Unis (Amérique du Nord)	Cours d'eau aride	Espèces de poissons endémiques du bassin du fleuve du Colorado : • <i>Catostomus clarkii</i> (Baird & Girard, 1854) • <i>Catostomus insignis</i> (Baird & Girard, 1854) • <i>Gila robusta</i> (Baird & Girard, 1854) Espèces non-endémiques : • <i>Ameiurus natalis</i> (Lesueur, 1819) • <i>Lepomis cyanellus</i> (Rafinesque, 1819) • <i>Micropterus dolomieu</i> (Lacepède, 1802) • <i>Cyprinella lutrensis</i> (Baird & Girard, 1854)
11	Sanchez Gonzalez et al.	2021	Long-Term Monitoring Reveals Differential Responses Mussel and Host Fish Communities in a Biodiversity Hotspot	Unionidae, Life history strategies, Community dynamics, Host fish, Stressors	Ruisseau en Alabama aux Etats-Unis (Amérique du Nord)	Ruisseau	Autres (moules), 55 espèces de poissons

3. ANALYSE DES CONSEQUENCES DU MANQUE D'EAU SUR LES COMMUNAUTES PISCICOLES

3.1 Contexte

Les milieux aquatiques d'eaux douces sont de plus en plus menacés par les activités anthropiques et l'augmentation de la demande en eau pour soutenir celles-ci (industries, agriculture, consommation, énergie, loisirs). Ces activités engendrent des modifications de régime d'écoulement dans les rivières pouvant entraîner un manque d'eau.

Les modifications des écosystèmes aquatiques liées au manque d'eau peuvent avoir des conséquences multiples sur les poissons. Cela induit notamment des modifications de l'habitat physique, de l'accès à l'habitat, de l'approvisionnement en nourriture, du comportement, de la composition de la communauté, de la dépense énergétique et de la dynamique des populations (Rytwinski et al, 2017). Ces modifications peuvent intervenir à l'échelle des individus, à celle d'une population spécifique ou encore à l'ensemble d'une communauté piscicole. Le schéma ci-dessous regroupe les conséquences potentielles du manque d'eau sur les espèces piscicoles.

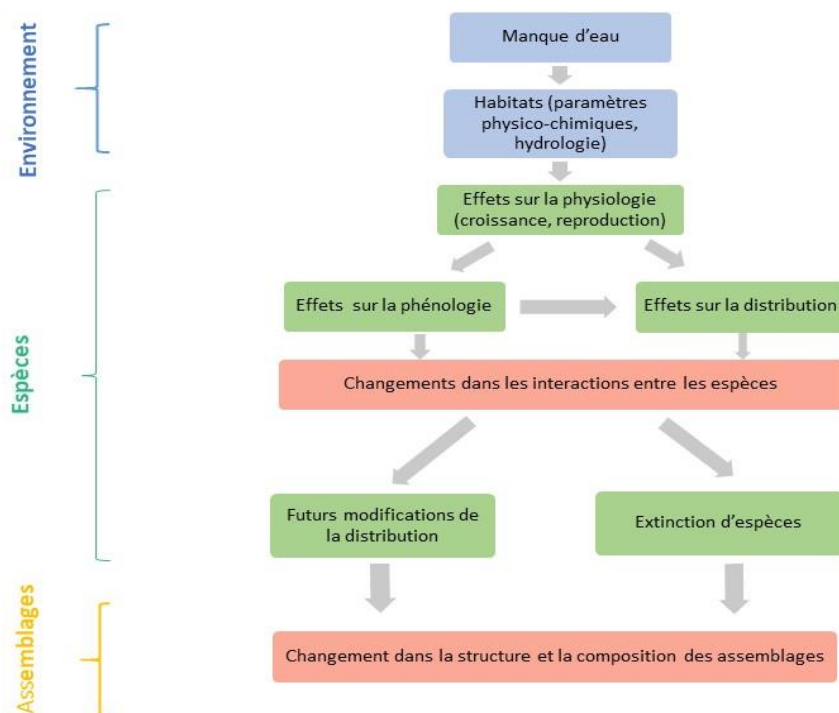


Figure 10. Conséquences potentielles du manque d'eau sur les communautés piscicoles (modifié d'après Baptist et Poulet, 2014)

Ces effets amoindrissent majoritairement la capacité de résilience des poissons. Cependant, dans certains cas, il a été constaté que cela peut au contraire la renforcer.

Une carte mentale a été réalisée pour regrouper les impacts favorables et défavorables à la résilience des poissons présents dans les cours d'eau à l'échelle mondiale. Cette carte mentale est basée sur l'étude des articles sélectionnés dans le cadre de la recherche bibliographique présentée ci-avant.

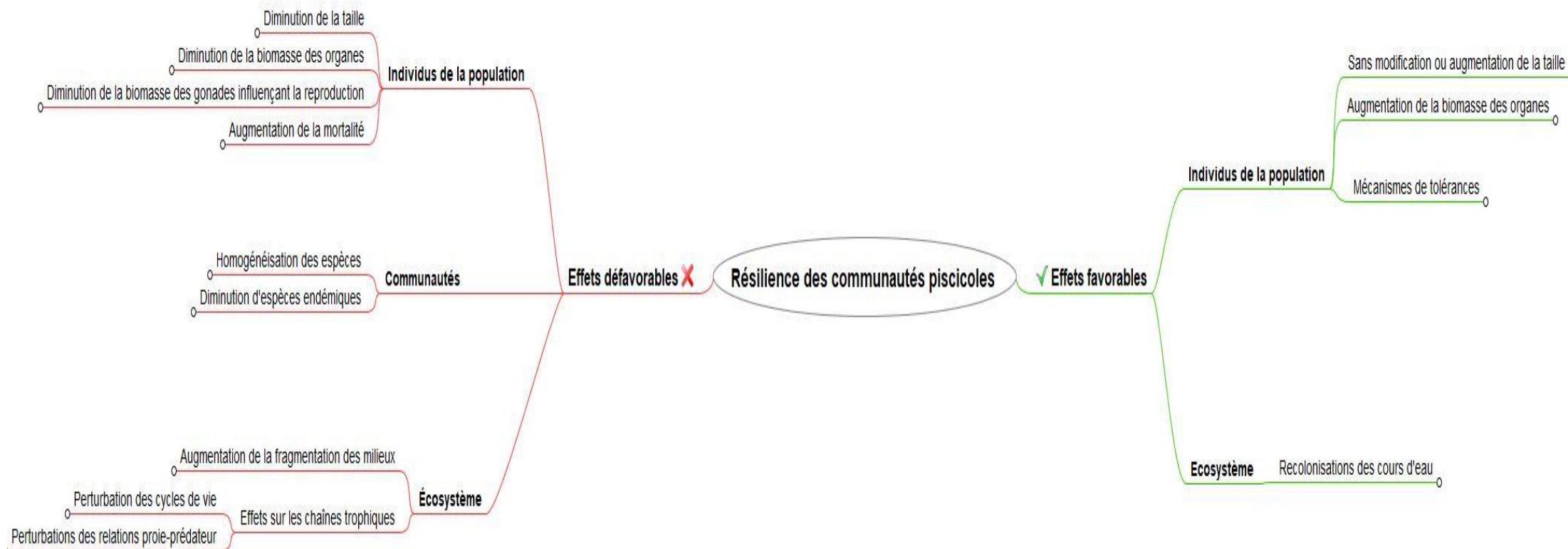


Figure 11. Carte mentale comportant les effets favorables et défavorables à la capacité de résilience des communautés piscicoles des cours d'eau confrontées au manque d'eau à l'échelle mondiale basée sur l'étude des articles sélectionnés issus de la requête sur le Web Of Science

3.2 Effets défavorables à la résilience des communautés piscicoles des cours d'eau

La capacité de résilience des espèces piscicoles n'est pas assurée lorsque survient une diminution de la quantité de l'eau dans un cours d'eau. Le manque d'eau induit une perturbation environnementale provoquant des conséquences à court terme mais aussi des répercussions à long terme sur les individus, les communautés et les écosystèmes.

3.2.1 Effets sur les individus

La diminution de la quantité d'eau des cours d'eau peut entraîner des modifications à l'échelle des individus. Plusieurs études (Dham et al, 2003; Arthington et al, 2005) ont démontré l'importance de la qualité de l'eau, telle que la teneur en oxygène dissous, la turbidité et les concentrations en nutriments pour la réalisation du cycle vital des poissons d'eau douce. La diminution de la quantité d'eau provoque une concentration ayant pour conséquence une diminution de la qualité de celle-ci. Ces effets peuvent impacter la physiologie des poissons, telles que des modifications dans le régime alimentaire et la croissance, mais aussi la phénologie* des espèces, notamment une modification de la période de fraie pour certaines d'entre elles. Ces effets peuvent également perturber le comportement, la santé, ou encore la distribution de certaines espèces de poissons (Strauch et al, 2015). D'après Chapman et al, la diminution de la qualité de l'eau nuit à la santé des espèces dulcicoles et augmente la mortalité des individus.

3.2.1.1 Diminution de la taille

Lorsque les conditions environnementales ne sont pas favorables à une espèce, la morphologie des individus se retrouve souvent impactée en premier lieu. Le facteur de condition (relation poids-longueur) est un bon indicateur pour connaître l'état de santé des poissons. Si ce facteur de condition est bas, une diminution de la croissance est constatée chez les poissons.

L'étude de Tribuzy-Neto et al. (2018) montre que deux poissons omnivores amazoniens (*Colossoma macropomum* et *Mylossoma duriventre*) ont présenté des tendances cohérentes avec leurs cycles de vie en 2004 et 2006 : des valeurs élevées pendant les saisons hydrologiques des hautes eaux, de décrue et d'étiage, avec une baisse de la reproduction à l'arrivée des hautes eaux. Pendant l'année de sécheresse de 2005, le facteur de condition était beaucoup plus bas que la normale pendant les saisons de décrue et d'étiage. Le facteur de condition des omnivores a diminué après la période de sécheresse indiquant une détérioration de leur santé alors que celui des poissons piscivores est resté stable. Les épisodes de manque d'eau peuvent entraîner une importante détérioration des conditions abiotiques (températures élevées et faible taux d'oxygène dissous). Ces situations ont des conséquences négatives sur la qualité et la disponibilité des sources de nourriture pour les omnivores. Les périodes de manque d'eau favorisent le niveau trophique piscivore car à mesure que le volume d'eau diminue, la densité relative des proies potentielles augmente, facilitant la prédation de la part des poissons piscivores et apporte une économie d'énergie allouée à la prédation. Ces résultats indiquent que les épisodes de sécheresse impactent différemment les poissons en fonction de leur niveau trophique. Face à la diminution de la disponibilité alimentaire entraînée par le manque d'eau, les espèces dulcicoles omnivores sont moins résilientes que les espèces piscivores.



L'étude menée par Oliva-Paterna et al en 2013, a examiné les relations entre la condition des poissons et les variables environnementales chez *Barbus sclateri* provenant d'écosystèmes d'eau douce semi-arides du sud-est de la péninsule ibérique. Le facteur de condition des barbeaux diffère selon les populations étudiées. Cette étude a montré que les poissons prélevés dans les cours d'eau intermittents avaient des facteurs de conditions plus faibles, tandis que les sites d'échantillonnage avec un débit d'eau continu présentaient des valeurs les plus élevées. Ces différences de facteur de condition sont liées à la variable écologique « fluctuation saisonnière de l'eau » (Oliva-Paterna et al, 2003).



Des études précédentes sur *Barbus meridionalis* (Vila-Gispert et al., 2000 ; Vila-Gispert et Moreno-Amich, 2001), ont souligné le fait que les faibles débits dans les cours d'eau sont des facteurs affectant négativement la condition des poissons. Une étude réalisée par Del Mar Torralva et al. (1997) appuie ces résultats. Les chercheurs ont rapporté que les femelles de l'espèce *Barbus sclateri* provenant d'un site d'échantillonnage réglementé avec un débit d'eau continu présentaient des valeurs de condition plus élevées que les femelles provenant d'un site d'échantillonnage non réglementé avec des niveaux d'eau très variables.



Les résultats d'une autre étude menée sur la rivière La Tordera et son affluent intermittent Fuirosos, ont montré que les effets négatifs de la sécheresse saisonnière sur l'état de *Squalius laietanus* (Doadrio, Kottelat et de Sostoa, 2007) et du barbeau méditerranéen *Barbus meridionalis* pourraient prévaloir jusqu'à l'année suivante la sécheresse empêchant une récupération complète (Mas-Martí et al, 2010).



Rincón et Lobón-Cerviá (1989) ont mis en avant dans leur étude, que l'état des *Rutilus arcasii* adultes présents dans une rivière intermittente, exprimé par la relation poids-longueur, ne s'est pas rétabli après la fraie* du fait d'un manque d'eau, comparativement à la population présente dans une rivière pérenne.



Strauch et al. (2015) ont étudié l'influence de la taille des zones de refuge et de la qualité de l'eau sur l'abondance et la composition des poissons dans les affluents du Zambezi (Afrique) pendant la saison sèche. Lors de leur étude, ils ont identifié des espèces piscicoles de quatre familles différentes et ont étudié leur facteur de condition avant la saison sèche et après la saison sèche. La biomasse et la richesse des communautés piscicoles étaient corrélées positivement à la taille des zones de refuge. La relation poids-longueur ainsi que la santé des poissons des familles de cichlidés et cyprinidés était positivement corrélée avec de nombreux paramètres de la qualité de l'eau notamment la concentration en oxygène dissous. Lorsque la quantité d'eau diminuait, la concentration en oxygène dissous diminuait également, affectant ainsi la relation poids-longueur des cichlidés.



D'après les articles sélectionnés, le manque d'eau impacte négativement la santé des espèces de piscicoles. Cette répercussion se traduit par la diminution de la relation entre le poids et la longueur des individus de certaines espèces. Le manque d'eau entraîne également une diminution de la disponibilité des ressources alimentaires, une diminution de la taille des zones refuges ainsi qu'une détérioration de la qualité de l'eau telle que la concentration en oxygène dissous.

Ces modifications de l'habitat induisent un environnement défavorable aux espèces piscicoles préjudiciable à leur croissance. Certaines espèces n'ont pas récupéré leurs conditions physiques après que le milieu ait retrouvé un débit d'eau constant, montrant ainsi que le manque d'eau peut impacter sur le long terme les poissons.

3.2.1.2 Diminution de la taille des organes stomacaux

La diminution de la quantité d'eau entraîne une diminution de la disponibilité en nourriture. Cela peut provoquer une diminution de la taille des organes stomacaux pour certaines espèces. Les fonctions vitales comme le taux d'ingestion et de digestion sont dépendantes des conditions environnementales telles que la température et le débit d'eau (Piffady 2010, Souchon et Tissot, 2012).

Plusieurs études (Zaret & Rand, 1971 ; Oliva-Paterna et al., 2003 ; Nunn et al., 2007) comparant la biodiversité aquatique entre des rivières intermittentes et des rivières pérennes ont montré qu'il y avait une plus faible densité d'invertébrés dans les cours d'eau intermittents limitant les ressources disponibles pour les poissons prédateurs. Cette possibilité a été confirmée par la plus faible biomasse ingérée dans les viscères de poissons prédateurs présents dans un cours d'eau intermittent (Mas-Martí et al., 2010).



Les articles sélectionnés montrent que le manque d'eau perturbe le régime alimentaire de certaines espèces de poissons. La diminution de la quantité d'eau dans certains cours d'eau liée aux activités anthropiques induit une diminution de la disponibilité alimentaire. Cette raréfaction alimentaire se répercute sur la taille des organes digestifs qui s'en voit amoindrie. Cette diminution de la taille des organes stomacaux entraîne une baisse de l'énergie disponible pouvant affecter durablement la santé de l'ichtyofaune touchée.

3.2.1.3 Diminution des organes reproducteurs

Le manque d'eau peut perturber la croissance des organes reproducteurs. L'étude de Mas-Martí et al. (2010) montre que le poids gonadique est plus faible chez les chevesnes catalans *Squalius laietanus* et les barbeaux méditerranéens, *Barbus meridionalis* vivants dans un cours d'eau intermittent espagnol que chez les mêmes espèces présentes dans une rivière pérenne. Une réduction de la quantité d'eau disponible entraîne une diminution de la fécondité et une période de reproduction plus courte chez *Barbus meridionalis* (Aparicio et de Sostoa, 1998). L'étude réalisée par Rogosh et al. (2019) au Colorado a également montré que la fonction reproductrice de chaque espèce étudiée a diminué. Cette diminution des organes reproducteurs peut impacter négativement le recrutement de ces espèces. Si l'assèchement se produit annuellement (ce qui est le cas pour les cours d'eau méditerranéens), les sécheresses peuvent avoir des effets cumulatifs qui s'expriment par de faibles densités de poissons et une récupération limitée de la population (Magalhaes et al., 2003, 2007 ; Matthews et Marsh-Matthews, 2003).

On peut supposer que du fait de la baisse de la disponibilité alimentaire, engendrant une diminution de l'énergie stockée (diminution de la taille des organes digestifs), certaines espèces piscicoles ont moins d'énergie allouée à la formation de gonades.





D'après les articles sélectionnés, la raréfaction de l'eau dans les cours d'eau perturbent le cycle biologique de certaines espèces dulcicoles. La baisse du régime hydraulique dans les cours d'eau affectent deux étapes clés du cycle biologique des espèces dulcicoles : la survie et le recrutement des juvéniles et la survie des adultes pendant la reproduction. La biomasse des organes reproducteurs est plus faible chez certains poissons vivants dans des cours d'eau intermittents soumis à des épisodes de manque d'eau. Cette baisse de la biomasse des gonades peut diminuer l'abondance de l'ichtyofaune et avoir des répercussions sur le long terme sur le maintien des populations.

3.2.1.4 Augmentation de la mortalité

Les espèces piscicoles sont dépendantes des conditions environnementales (thermie, physico-chimie, hydrologie). Lorsqu'une de ces conditions se modifie, la qualité de l'eau et l'habitat s'en trouvent impactés. L'interaction entre la température et l'hydrologie influe sur l'oxygène dissous, élément physico-chimique indispensable au fonctionnement des poissons.

L'altération de l'hydrologie des cours d'eau (prélèvements d'eau, assèchement de cours d'eau, modification du régime hydrologique des milieux) augmente la température de ceux-ci (Ducharne et al, 2003). Lorsque la température augmente, la concentration en oxygène dissous diminue or le métabolisme de l'ichtyofaune augmente. Dans cette situation, les espèces piscicoles ont besoin de plus d'oxygène pour assurer leurs fonctions vitales.

Le manque d'eau couplé à une augmentation de la température de l'eau diminue considérablement l'oxygène dissous disponible entraînant bien souvent des mortalités au sein des populations piscicoles. En France, la canicule de 2003 a entraîné un taux élevé de mortalité au sein des populations de poissons dans certains cours d'eau (Baptist et al., 2014). Une augmentation de taux de mortalité a été observée sur la Garonne, la Dordogne et le bassin de la Loire (Conseil économique et social des Pays de la Loire 2004, Travade et Carry, 2008).

Des études (Clarke et Johnston, 1999, Costantini et al., 2008) montrent que des poissons soumis à des conditions d'hypoxie répétées et/ou prolongées développent des altérations des fonctions reproductrices à des niveaux susceptibles d'engendrer des effets nocifs au niveau des populations (Thomas et al., 2007).

L'étude réalisée par Small et al. (2014) porte sur la tolérance aux eaux noires, à faible teneur en oxygène dissous, chez les stades juvéniles de quatre espèces de poissons de rivière de plaine originaires du bassin de Murray-Darling en Australie. Les chercheurs ont étudié les seuils expérimentaux d'oxygène léthal chez ces populations juvéniles. Cette étude indique que l'augmentation de la matière organique et de la température peuvent entraîner des épisodes d'hypoxie et des modifications physico-chimiques (pH, diminution de la concentration en oxygène dissous). Une des études citées dans cet article (La VT et Cooke, 2011) indique qu'aux Etats-Unis, l'hypoxie serait la cause immédiate de 5,3 % des mortalités de poissons. La réduction de pH affecte la mortalité de manière significative car cela diminue la capacité



d'absorption des branchies pour l'oxygène et affecte donc directement la tolérance à l'hypoxie (Small et al, 2014). Les résultats de l'étude menée par Small et al (2014) montrent qu'une baisse de la concentration en oxygène ainsi qu'une baisse de pH couplée à une augmentation chimique en oxygène (représentant la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les polluants organiques dans l'eau) entraînent des mortalités chez les populations étudiées. Cette étude fournit des indications pour connaître l'impact que peut avoir l'augmentation de la température si les conditions de qualité de l'eau se rapprochent des seuils létaux.

L'augmentation de la température des eaux pourrait également favoriser la propagation de maladies chez les poissons tels que la maladie rénale proliférative (Hari, 2006), et augmenter la toxicité envers certaines espèces piscicoles (Noyes et al. 2009), ce qui a pour effet d'augmenter la mortalité chez les espèces dulcicoles.



L'altération quantitative de la ressource en eau couplée à une augmentation de la température de l'eau diminue considérablement l'oxygène dissous affectant ainsi les fonctions vitales des poissons. Cette baisse de ce paramètre physico-chimique entraîne souvent des mortalités au sein des populations piscicoles. Par ailleurs, les études citées ont montré que l'augmentation de la température de l'eau peut favoriser la propagation de maladies chez les poissons et augmenter la toxicité de contaminants envers certaines espèces piscicoles. Ces aspects affaiblissent considérablement les poissons, ce qui peut avoir pour conséquence l'augmentation de mortalité d'individus.

3.2.2 Effets sur les communautés

Le manque d'eau peut entraîner des modifications à l'échelle de la communauté piscicole. En effet, l'altération du régime d'écoulement peut perturber le cycle de vie, les mouvements et la distribution des espèces (Bunn et Arthington, 2002) allant jusqu'à la diminution de la richesse spécifique et/ou de la diversité spécifique. Le manque d'eau peut induire un déplacement des espèces pour trouver un habitat plus favorable. Elles modifient alors leur distribution le long du réseau hydrographique. Ces changements de distribution peuvent amener à une réorganisation des assemblages d'espèces (Daufresne et Boët, 2007) ou à une fragmentation des populations (Rahel et al. 1996). Cette perturbation peut engendrer la disparition d'espèces indigènes au profit d'espèces non indigènes.



3.2.2.1 Homogénéisation des communautés

L'accomplissement du cycle de vie des poissons et leur répartition est principalement déterminé par la température et le régime hydrologique. Le régime d'écoulement influence particulièrement la variabilité spatiale et temporelle des communautés piscicoles. L'abondance et la composition des communautés de poissons varient significativement entre les bassins versants et entre les tronçons en fonction de la distance par rapport à l'estuaire ou en fonction du faciès d'écoulement. Les sécheresses modifient la connectivité spatio-temporelle des cours d'eau, ce qui modifie la composition et la structure trophique des communautés. Au fur et à



mesure de la diminution de la quantité d'eau du cours d'eau, des zones de refuge se créent avec une faible quantité d'eau et une densité d'organismes qui augmente (Rogosch et al., 2019). Rogosch et al. en 2019, ont constaté le déplacement de populations non indigènes plus tolérantes que les espèces indigènes aux changements des conditions environnementales. Ce changement de distribution des espèces modifie la structure de la communauté présente et crée un déséquilibre. L'étude de Whiterod et al. (2015) a montré que lors de périodes de manque d'eau, un changement dans les communautés a lieu et tend à favoriser des espèces plus généralistes et tolérantes (espèces généralistes, espèces exotiques et espèces estuariennes). Ce constat indique une homogénéisation des assemblages, aussi bien en terme d'espèces que de traits biologiques.

3.2.2.2 Diminution des espèces indigènes

Le manque d'eau entraîne une fragmentation des milieux et limite le déplacement des poissons. Cette perturbation peut diminuer les aires de répartition des espèces indigènes et les fragiliser. La population d'espèces indigènes peut décliner, voire disparaître au profit d'autres espèces non indigènes ou exotiques.

Dans l'étude de Rogosch et al. (2019), un modèle démographique multi-espèces a été développé pour déterminer l'évolution des espèces indigènes et non indigènes en réponse à des modifications de régime d'écoulement des rivières arides en Arizona aux Etats-Unis. Les résultats issus de ce modèle montrent, qu'à la suite d'une augmentation des épisodes de sécheresse, une tendance à la diminution des espèces indigènes (taux de mortalité élevé au stade de vie juvénile et adulte) au profit d'espèces non indigènes.

De plus, l'arrivée de poissons non indigènes génère une compétition avec les espèces indigènes au niveau de l'alimentation, ce qui accroît la demande d'énergie chez les poissons indigènes (Gido et Propst, 2012). Or, comme il a été développé en amont, les espèces indigènes ont une tolérance plus faible face à l'augmentation de la température de l'eau et sont confrontées à des seuils létaux. Elles augmentent alors leur dépense d'énergie pour assurer leurs fonctions vitales. Lors de l'étude de Whiterod et al. (2015), il a été constaté que les espèces non indigènes consomment des espèces indigènes, en particulier les stades de vie juvéniles, et des espèces de petites tailles entraînant des disparitions locales. Dans cette étude, la morue de Murray *Maccullochella peelii* et la perche argentée *Bidyanus* ont disparu tandis que d'autres espèces ont décliné en termes d'aires de répartition et d'abondance. Des changements d'espèces spécialistes d'eaux douces et diadromes peuvent avoir lieu au profit d'espèces plus généralistes et tolérantes (espèces généralistes, espèces exotiques et espèces estuariennes) lorsque le débit est moins important.

Ces changements au niveau de la communauté piscicole favorisent l'homogénéisation des communautés.





D'après les articles sélectionnés, le manque d'eau contribue fortement à la diminution des espèces indigènes au profit d'espèces non-indigènes ou exotiques. Cette diminution est liée à la compétition alimentaire mais également à la prédation de la part des espèces non indigènes sur les stades juvéniles des espèces indigènes. Le manque d'eau a pour conséquence la rupture de la connexion longitudinale ce qui peut impacter le brassage génétique des populations.

3.2.3 Effets sur l'écosystème

La modification des régimes d'écoulement affecte la qualité de l'eau, la biodiversité des communautés biologiques (l'abondance, la biomasse et la diversité des bactéries, des algues, des invertébrés et des poissons) et les fonctions des écosystèmes fluviaux (production primaire, respiration et décomposition de la matière organique). Le manque d'eau réduit considérablement l'effet de dilution, ce qui favorise une concentration accrue des contaminants (Petrovic et al., 2011). Le manque d'eau entraîne des modifications à l'échelle de l'écosystème où la biocénose et/ou le biotope sont impactés. Ses effets peuvent fragmenter les milieux, modifier les cycles de vie des espèces ou encore modifier les relations proie-prédateur au sein des chaînes alimentaires du réseau trophique (Sabater et al., 2018).



3.2.3.1 Effets de la fragmentation des milieux

L'altération quantitative de la ressource en eau crée une interruption de la continuité écologique modifiant ainsi la connectivité spatio-temporelle des cours d'eau.

Les poissons des rivières intermittentes survivent dans des conditions défavorables en se dispersant dans des zones de refuges aquatiques où les conditions abiotiques (température élevée de l'eau, diminution de la concentration en oxygène dissous, mauvaise qualité de l'eau en raison d'une capacité de dilution plus faible) et biotiques (concurrence pour les ressources disponibles, pression de prédation) sont difficiles (Glarou et al., 2019). Ce sont des zones où la prédation terrestre et aquatique peut être forte car elles concentrent une densité d'organismes.

L'étude menée par Strauch et al. (2015) a montré que la biomasse, l'abondance et la richesse des communautés piscicoles sont positivement corrélées à la taille des zones de refuge. Ces résultats mettent en évidence que les conditions d'habitat des zones refuges influencent la santé des poissons et la composition des communautés. Si ces zones ont une petite taille (profondeur, largeur et longueur), la biomasse, l'abondance et la richesse des communautés piscicoles diminuent significativement (Strauch et al., 2015). Les chercheurs ont constaté que les communautés développent des blessures sur la peau, les yeux, les nageoires, les opercules et les branchies. Sans un flux continu d'eau dans les zones de refuges, l'eau peut devenir rapidement anoxique, turbide et eutrophe, ce qui diminue la qualité de l'eau et menace les poissons présents.



La fragmentation des cours d'eau liés au manque d'eau ne permet pas à certains poissons d'atteindre leurs zones de reproduction ou de rencontrer les conditions pour se reproduire. Les frayères peuvent se retrouver en assec entraînant ainsi leur disparition. Cette perturbation nuit aux recrutements des populations pouvant altérer considérablement au maintien de celles-ci.



D'après les articles sélectionnés, la réduction des écoulements dans les cours d'eau peut fragmenter le milieu et empêcher le déplacement des poissons. Les conditions du milieu changent et rendent difficiles la survie de certaines espèces de poissons. De plus, la rupture de la continuité écologique impacte la reproduction de certains poissons qui ne peuvent pas aller sur leurs zones de fraie. Ce déséquilibre impacte négativement le recrutement des populations amenant une baisse de celle-ci.

3.2.3.2 Effets sur les chaînes trophiques

La diminution du niveau d'eau génère des modifications au niveau du cycle de vie de certaines espèces et des modifications de régime alimentaire au sein des écosystèmes.

3.2.3.2.1 Perturbation des cycles de vie

La diminution du niveau d'eau peut entraîner des modifications des cycles de vie de certaines espèces au sein des écosystèmes. Il existe des relations nécessaires de parasitisme*, de commensalisme* ou encore de symbiose* au sein d'un écosystème. Ces interactions peuvent être perturbées par le manque d'eau dans le milieu.

L'étude menée par Sanchez Gonzalez et al. (2021) a relevé la dépendance de certaines espèces de moules dans leur cycle de vie aux poissons. Elles ont en effet besoin de poissons hôtes pour la dispersion de leurs larves et pour assurer le recrutement des moules juvéniles. Le manque d'eau affecte les populations piscicoles ce qui peut induire un changement dans la composition de la communauté de poissons et entraîner une baisse de la population de moules.



Cette étude montre l'importance du rôle des espèces piscicoles dans le maintien d'autres espèces aquatiques.



Les articles sélectionnés montrent le rôle nécessaire des poissons dans le développement d'autres espèces aquatiques. Le manque d'eau peut diminuer la présence de communautés de poissons nécessaires aux cycles de vie d'autres espèces telles que certaines espèces de moules pour leurs dispersions larvaires. Le maintien des espèces piscicoles conditionne favorablement le maintien d'autres espèces.

3.2.3.2.2 Perturbation du réseau trophique

La modification du milieu peut occasionner un changement du réseau trophique et, par conséquent, une modification des relations proie-prédateur.

La diminution de la quantité d'eau favorise la colonisation des espèces vers des zones de refuge. Ces zones de refuge se retrouvent alors avec une augmentation de la densité d'organismes aquatiques. Le réseau trophique de ces zones de refuge subit un changement du fait de l'augmentation de la concurrence pour les ressources disponibles et la pression de prédation entre espèces piscicoles.

Les résultats de l'étude de Tribuzy-Neto et al. (2018) indiquent que les épisodes de sécheresse impactent différemment les poissons en fonction de leur niveau trophique. Face à la diminution de la disponibilité alimentaire entraînée par le manque d'eau, les espèces dulcicoles omnivores sont moins résilientes que les espèces piscivores. Il a été constaté que cette modification alimentaire en période de manque d'eau favorise le niveau trophique piscivore.



Ces résultats rejoignent ceux de Glarou et al. (2019) qui montrent une abondance et une biomasse de proies potentielles de macro-invertébrés consommées par le chevesne *Squalius keadicus* plus élevée dans les cours d'eau permanents que dans les cours d'eau intermittents, ce qui indique une limitation des ressources dans les zones touchées par la sécheresse. Les chercheurs ont remarqué que les poissons du site intermittent ont modifié leur régime alimentaire en se dirigeant vers une consommation de proies terrestres. Cette modification du régime alimentaire a un impact sur le réseau trophique car il montre une nouvelle forme de prédation sur les espèces terrestres vivantes proches de milieux aquatiques.



Le manque d'eau dans les cours d'eau génère des perturbations dans les régimes alimentaires ce qui modifie les relations proies-prédateurs en favorisant certaines espèces au détriment d'autres espèces. Face à la diminution de la disponibilité alimentaire entraînée par le manque d'eau, les espèces dulcicoles omnivores sont moins résilientes que les espèces piscivores. Cette modification de la chaîne trophique perturbe le réseau trophique de l'écosystème.

3.3 Effets favorables à la résilience des communautés piscicoles des cours d'eau

Face au manque d'eau, certaines espèces développent des mécanismes d'adaptations montrant ainsi une résilience. Les individus d'une population, les communautés ou l'écosystème peuvent retrouver leur état de référence sans être altérés à court et/ou à long terme. C'est ce qu'on appelle la plasticité. Certains individus sont capables de modifier leurs physiologies pour supporter les conditions difficiles.

3.3.1 Effets sur les individus

3.3.1.1 Pas de modification ou de diminution systématique de la taille

Dans certains cas, les milieux aquatiques, malgré l'interruption d'un débit régulier, peuvent fournir des zones de refuges aux poissons lorsqu'il reste un peu d'eau. Le manque d'eau n'induit pas systématiquement une diminution de la taille des individus.

L'étude réalisée par Glarou et al. (2019) portant sur la plasticité dans la physiologie des cyprinidés dans des rivières intermittentes en Grèce indique que l'abondance et le facteur de condition exprimé par la relation poids-longueur des poissons ne différait pas de manière significative entre les cours d'eau permanents et les cours d'eau intermittents après la reprise du débit. Malgré la faible disponibilité des ressources (faible disponibilité de macroinvertébrés) dans les sites intermittents, le facteur de condition des poissons présents n'a pas diminué. Ce constat n'est pas observé pour le barbeau andalou *Barbus sclateri*, autre espèce étudiée dans cette recherche scientifique, pour laquelle le manque d'eau induit une diminution de la taille des individus.



L'étude réalisée par Tribuzy-Neto et al. (2018) appuie le résultat de l'étude réalisée par Glarou et al. (2019). Les résultats attestent que le facteur de condition des piscivores n'évolue pas dans les rivières intermittentes du fait de l'augmentation de la densité des proies dans les zones de refuge.



D'autres études (Spranza et Stanley, 2000 et Vasiliou et Economidis, 2005) corroborent ces résultats. Spranza et al. (2000) ont signalé une longueur similaire ou supérieure des cyprinidés dans les zones touchées par la sécheresse d'un ruisseau des prairies de l'Oklahoma (Etat-Unis). Vasiliou et Economidis (2005) ont constaté une augmentation de la longueur de deux espèces de barbeau, lors de la récupération du débit, dans deux cours d'eau intermittents du nord de la Grèce.





Les études sélectionnées montrent que la croissance de certains individus ne diminue pas à la suite d'un manque d'eau. Dans certains cas, la croissance de certaines espèces reste inchangée lorsque subsistent des zones de refuge mais il a été constaté que certaines espèces s'adaptent et voient leurs croissances augmenter. Les conditions liées au manque d'eau facilitent la prédation. Certaines espèces montrent une résilience face à l'altération de la quantité d'eau dans les cours d'eau.

3.3.1.2 Augmentation de la biomasse des organes digestifs

A la suite d'un manque d'eau, la biomasse des organes digestifs des individus a augmenté chez certaines espèces.

Dans l'étude de Glarou et al. (2013), le poids intestinal et le poids du contenu intestinal du méné (juvénile) étaient significativement plus élevés lorsqu'il était prélevé sur le cours d'eau intermittent, ce qui indique une activité alimentaire plus élevée. De plus, le poids du foie était plus élevé chez les espèces présentes dans les cours d'eau intermittents, ce qui implique des réserves énergétiques plus importantes que chez les poissons des cours d'eau permanents. Pour expliquer ces résultats, les chercheurs ont émis l'hypothèse que, dans les zones de fortes fluctuations environnementales, les individus sont plus robustes et qu'ils ont acquis une plasticité leur permettant d'évoluer dans ces environnements instables. Le manque d'eau pourrait favoriser la sélection d'individus résistants et survivants aux épisodes de manque d'eau.



Face au manque d'eau, selon les études analysées, certaines espèces s'adaptent et montrent une plasticité dans leurs traits biologiques. Une augmentation de la biomasse des organes digestifs des espèces dulcicoles présentes dans les rivières intermittentes a été constatée dans l'étude menée par Glarou et al. (2013). Cette augmentation permet aux communautés piscicoles de stocker de l'énergie pendant des périodes favorables pour persister pendant des périodes non favorables.

3.3.1.3 Augmentation de la biomasse des organes reproducteurs

Dans l'étude de Glarou et al. (2019), la masse des gonades du chevesne *Squalius keadicus* est significativement plus élevée dans les sites intermittents que dans les sites pérennes, ce qui indique un investissement reproducteur plus élevé dans les sites intermittents. Les chercheurs ont émis l'hypothèse que les poissons habitant des environnements instables, comme les cours d'eau intermittents, peuvent avoir besoin de niveaux plus élevés de réserves énergétiques, pour augmenter le succès de la reproduction.



Spranza et Stanley. (2000) ont également signalé des valeurs d'indice gonado-somatique (GSI) plus élevées et une période de fraie plus longue pour les cyprinidés habitant un segment de rivière intermittent, par rapport à leurs congénères du segment pérenne. Une autre étude réalisée par Rezende, (2018) sur la variation de la phénologie chez des guppys d'un cours d'eau intermittent et d'un cours d'eau permanent vient appuyer ces résultats. Elle a montré que la fécondité était plus élevée chez les femelles du ruisseau intermittent que celle des femelles du ruisseau permanent, ce qui concorde avec les résultats de la présente étude.



L'énergie allouée à la capture peut être moins importante dans des sites intermittents où les ressources alimentaires peuvent être plus concentrées. Les espèces piscicoles peuvent alors accorder plus d'énergie dans la production de gonades afin d'assurer leur survie. L'augmentation des organes reproducteurs montre la capacité des espèces dulcicoles à s'adapter à un environnement hostile lié au manque d'eau.

3.3.1.4 Mécanismes de tolérance des espèces

A la suite d'un manque d'eau, certaines espèces arrivent à tolérer des conditions environnementales défavorables. Il a été démontré que les poissons habitant des zones où les flux hydrologiques connaissent une forte variabilité annuelle peuvent s'adapter en présentant des adaptations morphologiques, physiologiques ou comportementales afin de survivre aux conditions environnementales variables (Small et al., 2014).

Les poissons emploient des stratégies nombreuses et diverses pour augmenter le transfert d'oxygène de l'environnement vers leurs tissus et/ou éviter les problèmes liés à l'hypoxie. La respiration aquatique de surface fait partie des mécanismes d'adaptation effectuée par de nombreuses espèces de poissons qui remontent à la surface lorsqu'elles sont exposées à l'hypoxie, dans le but d'extraire l'oxygène de la fine couche d'eau superficielle qui est en contact avec l'atmosphère. Dans l'étude de Whiterod et al. (2015), l'espèce *Galaxias olidus* a également montré une tolérance aux conditions hypoxiques par des méthodes de respiration aquatique de surface et de dispersion pour accéder à des zones de refuge et survivre. Cependant si les conditions d'hypoxie se maintiennent, les communautés n'y survivent pas. Ce mécanisme d'adaptation permet de survivre sur du court terme.



Les poissons peuvent également utiliser un mécanisme d'évitement comportemental en cherchant un habitat refuge (Small et al., 2014). De plus, d'autres adaptations peuvent contribuer à maintenir la biodiversité dans les épisodes de manque d'eau en protégeant les communautés de l'assèchement tel que des formes de résistance à la dessiccation (Glarou et al., 2019).

Dans l'étude de Strauch et al. (2015), les chercheurs ont constaté que lorsque la qualité de l'eau diminuait, la condition corporelle des cyprinidés s'améliorait. Ils ont émis l'hypothèse que cette famille était tolérante à la diminution de la concentration de l'oxygène dissous.



Pour survivre pendant des épisodes de manque d'eau, certaines espèces piscicoles ont développé des mécanismes d'adaptation. Ces mécanismes d'adaptation tels que la respiration aquatique de surface, la résistance à la dessiccation, le comportement d'évitement, leur permettent de préserver leurs fonctions vitales. Cependant, ces mécanismes ne sont pas durables dans le temps et amènent bien souvent à la mort lorsque le manque d'eau se prolonge ou est récurrent.

3.3.2 Effets sur l'écosystème

3.3.2.1 Mécanisme de recolonisation

Lorsque le débit d'un cours d'eau revient à son état initial après une période de manque d'eau, les communautés piscicoles qui se sont isolées dans des zones de refuge en amont ou en aval, reviennent dans leurs zones habituelles. Ce mécanisme de dispersion favorise le rétablissement des populations et des communautés après une perturbation (Datry et al., 2017). L'étude de Whiterod et al. (2015) montre que l'espèce diadrome *Pseudaphritis urvillii* (Valenciennes, 1832) a bénéficié de l'amélioration des débits et de la connectivité à la suite de la sécheresse. La récupération des communautés après réhumidification peut survenir après quelques semaines lors de la reprise du débit (Datry et al., 2014 ; Leigh et al., 2016). Lors de la recolonisation, les poissons tolèrent des débits plus élevés, des températures plus basses et une disponibilité alimentaire plus faible qu'en période de manque d'eau montrant ainsi leur capacité de résistance et de résilience face à des événements extrêmes.



Après la période de diminution des eaux, une recolonisation des cours d'eau permet à certaines espèces de repeupler le milieu. Cependant, cette recolonisation des milieux dépend de la capacité de dispersion des espèces et de la continuité écologique des milieux.

4. LIMITES DE L'ETUDE

L'objectif de cette étude exploratoire est de donner un aperçu des connaissances sur la capacité de résilience des communautés piscicoles dulcicoles des cours d'eau confrontées au manque d'eau.

L'étude bibliographique, préalable à l'étude exploratoire, a mis en évidence les connaissances récentes disponibles sur l'impact du manque d'eau sur les communautés piscicoles des cours d'eau. Cette étude bibliographique a été effectuée sur le Web Of Science (WOS) à l'aide d'une requête constituée de mots clés (« drought / fish / freshwater / community / river ») qui ont permis de centrer l'étude. Cependant la requête n'a pas fait ressortir beaucoup d'articles scientifiques concernant le territoire français, ne permettant pas d'avoir une vision nationale sur le sujet.

Les limites de l'étude sont :

- Difficulté à définir le terme « manque d'eau » ;
- Limites à l'échelle temporelle ;
- Limites à l'échelle spatiale.

Une des problématiques majeure de la communauté scientifique est d'attribuer une définition partagée au terme « manque d'eau ». Ce terme est souvent assimilé à la sécheresse, l'aridité, le déficit en eau, etc. Les études citées utilisent le terme de la même manière cependant la sécheresse est spécifique à des régions, des zones climatiques, etc. (Humphries and Baldwin, 2003).

Une limite de l'étude se situe à l'échelle spatiale. En effet, une partie des études est effectuée sur d'autres continents, principalement en Australie, Amérique du Nord et Amérique du Sud, avec des climats différents de ceux rencontrés en France. Les résultats de ces études s'inscrivent dans des endroits géographiques précis avec des écosystèmes spécifiques, difficilement transposables à la France mais qui permettent d'identifier des premières pistes de travail relatif à la résilience des communautés piscicoles dulcicoles des cours d'eau confrontées au manque d'eau. De plus, les articles traitent de typologies de cours d'eau variées. La limite est de différencier plus spécifiquement les impacts en fonction de la typologie des cours d'eau (pérenne ou intermittent) et des causes du manque d'eau rencontrés pour mieux évaluer la capacité de résilience des espèces et ainsi identifier les espèces mieux adaptées sur les cours d'eau non pérennes. Il faudrait faire une distinction entre une diminution de la quantité d'eau qui a lieu sur des cours d'eau habituellement pérennes et celle qui est rencontrée dans des cours d'eau intermittents ou temporaires. Le régime hydrologique des cours d'eau, l'occurrence, la fréquence, la durée, l'intensité des épisodes de réduction de l'eau sont variables entre les différentes études de cas. Cela ne permet pas toujours de trouver des similitudes entre les données et les études.

Par ailleurs, ces études sont réalisées à des échelles temporelles relativement courtes. Par exemple, peu d'études avaient collecté des données en amont des épisodes de sécheresse pour avoir des données avant et après ces épisodes afin de mettre en évidence la capacité de résilience des communautés piscicoles confrontées au manque d'eau. La plupart n'a pas été reproduite sur toute la période de la saison sèche. Les expériences *in situ* sont complexes car il y a des variations qui diffèrent pour chaque épisode de sécheresse (ex. intensité, durée...), ne rendant pas les expériences reproductibles et, de fait, entraînant une extrapolation plus difficile. Les

études ne se concentrent pas sur les effets à long terme de ces épisodes alors que les conséquences peuvent se révéler parfois après plusieurs années consécutives de manque d'eau, élément important pour évaluer la capacité de résilience des populations.

Humphries et Baldwin (2003) évoquent également des difficultés à étudier certains aspects sur les communautés ou à réaliser des études couvrant des échelles spatiales et temporelles nécessaires à l'étude de la résilience des populations. La taille des échantillons est souvent petite, ce qui empêche de faire des généralisations sur des espèces ou sur des communautés.

Cette synthèse ne constitue pas une recherche exhaustive des articles en lien avec la sécheresse puisque 11 articles sur les 82 collectés lors de la requête ont été étudiés en détail (soit 13 %). Elargir avec d'autres mots clés pourrait améliorer le nombre d'articles sur le sujet. D'autres articles issus de la requête effectuée sur le WOS ou issus d'autres bases de données pourraient être explorés afin d'étayer certaines parties. Ces limites montrent également l'importance d'utiliser des indices multiples pour mesurer les réponses écologiques des poissons confrontés au manque d'eau. L'ensemble de ces arguments montrent la complexité des recherches sur la résilience des communautés piscicoles des cours d'eau.

5. CONCLUSION

La gestion du manque d'eau est un enjeu fort pour les pouvoirs publics car ils doivent mettre en place des règles de partage de l'eau équitables entre les usagers, tout en étant garants de la préservation des milieux naturels.

Le manque d'eau peut être un facteur aggravant pour les écosystèmes aquatiques et s'ajoute aux nombreuses autres pressions anthropiques que subissent les milieux, les fragilisant davantage. Le manque d'eau a des conséquences directes sur les cours d'eau pour les milieux aquatiques qui sont relativement bien connues. Au-delà de l'effet directement observable sur les cours d'eau plutôt quantitatif tel que la modification des caractéristiques d'écoulement, la perte d'habitat, les situations de stress hydrique peuvent se traduire par des modifications d'ordre plus qualitatif lié à la concentration, à une plus grande sensibilité aux variables physiques extérieures.

Ces perturbations environnementales provoquées par le manque d'eau ont donc des impacts directs sur la biodiversité aquatique. Elles jouent également un rôle dans leur résilience c'est-à-dire dans leur capacité à subsister après une variation des conditions environnementales (résistance) et à revenir à leur état de référence après une perturbation (récupération). Cette étude exploratoire souligne certains effets du manque d'eau liés principalement à l'impact de la sécheresse hydrologique sur les communautés piscicoles des cours d'eau à l'échelle mondiale et vise à identifier des signes de leur capacité de résilience face aux modifications de leur habitat. Les résultats des 11 études citées montrent que le manque d'eau répété, sur de longues périodes, fragilise l'ichtyofaune. La résistance et la résilience de certaines espèces peuvent être limitées. (Baptist et al. 2014).

Plusieurs effets défavorables du manque d'eau sur la résilience des espèces piscicoles ont été montrés dans cette étude exploratoire. Il induit une perturbation environnementale provoquant des conséquences à court terme mais aussi des répercussions à long terme sur les individus, les communautés et les écosystèmes. Les effets défavorables à la résilience des individus piscicoles relevés dans les articles cités dans cette étude sont **la diminution de la taille, la diminution des organes stomacaux, la diminution des organes reproducteurs ainsi que l'augmentation de la mortalité.**

Au niveau des communautés piscicoles, l'altération du régime hydrologique peut perturber le cycle de vie, les mouvements et la distribution des espèces (Bunn et Arthington, 2002) allant jusqu'à la **diminution de la richesse spécifique et/ou de la diversité spécifique**. Le manque d'eau peut induire un déplacement des espèces pour trouver un habitat plus favorable. Elles modifient alors leur distribution le long du réseau hydrographique. Ces changements de distribution peuvent amener à une réorganisation des assemblages d'espèces (Daufresne et Boët, 2007) ou à une fragmentation des populations (Rahel et al., 1996). Cette perturbation peut engendrer la **disparition d'espèces indigènes** au profit d'espèces non indigènes.

En ce qui concerne les effets sur l'écosystème, le manque d'eau affecte la qualité de l'eau, la biodiversité des communautés biologiques (l'abondance, la biomasse et la diversité des bactéries, des algues, des invertébrés et des poissons) et les fonctions des écosystèmes fluviaux (production primaire, respiration et décomposition de la matière organique). Le manque d'eau réduit considérablement l'effet de dilution, ce qui favorise une concentration accrue des contaminants pouvant avoir des répercussions sur la santé des poissons (Petrovic et al., 2011). Le manque d'eau entraîne des modifications à l'échelle de l'écosystème où la biocénose et/ou

le biotope sont impactés. Ces effets peuvent fragmenter les milieux, modifier les cycles de vie des espèces ou encore modifier les relations proie-prédateur au sein des chaînes alimentaires du réseau trophique (Sabater et al., 2018).

L'analyse des articles sélectionnés a montré également que face au manque d'eau, certaines espèces piscicoles développent des mécanismes d'adaptation montrant ainsi une résilience. Au niveau des individus, la modification ou la diminution de la taille n'est pas systématique, la biomasse des organes digestifs peut augmenter et certaines espèces piscicoles ont développé des mécanismes d'adaptation (la respiration aquatique de surface, la résistance à la dessiccation, le comportement d'évitement). A l'échelle d'un écosystème, après la période de diminution des eaux, une recolonisation des cours d'eau permet à certaines espèces de repeupler le milieu. Cependant, cette recolonisation des milieux dépend de la capacité de dispersion des espèces et de la continuité écologique des milieux.

La recherche bibliographique réalisée a permis de montrer que cette thématique est étudiée par la communauté scientifique mondiale. Peu d'organismes français semblent pour l'instant publier sur le sujet de la capacité de résilience des communautés piscicoles des cours d'eau. Ce résultat s'explique toutefois en partie par la limitation de la requête lors de la phase de bibliographie. Il y a plus d'études sur les rivières et les ruisseaux intermittents disponibles que sur les rivières pérennes bien que la requête n'ait pas spécifié ces écosystèmes. Les cours d'eau intermittents sont des écosystèmes uniques avec des services écosystémiques importants pour la biodiversité et permettent de comparer les effets du manque d'eau sur les communautés piscicoles. Il y a une pénurie du nombre d'études traitant directement des conséquences du manque d'eau sur les communautés piscicoles, sur les réseaux trophiques, ou sur les espèces clés des écosystèmes, que cela soit localement, en France ou encore à l'échelle mondiale. L'étude exploratoire pourrait être poursuivie et enrichie par l'étude d'articles complémentaires issus d'autres bases de données scientifiques ou encore issus de la littérature grise produite en France. L'utilisation d'autres mots-clés pourrait également permettre une augmentation de la collecte d'articles sur le sujet.

Il est essentiel de mieux comprendre les impacts du manque d'eau sur les communautés piscicoles dans les cours d'eau et leur capacité de résilience face à ces perturbations environnementales de plus en plus récurrentes, intenses et longues afin d'améliorer la gestion des ressources visant à atténuer les causes du manque d'eau qu'elles soient naturelles ou anthropiques. Cependant des mesures de conservation et de gestion peuvent être mises en place si la fréquence, la durée, l'étendue spatiale et la puissance des événements sont importantes en raison de pressions anthropiques qui peuvent s'y ajouter. Compte tenu de la sécheresse hydrologique et de l'augmentation de la température dans le contexte de changement climatique, il serait souhaitable d'améliorer la compréhension de l'impact de ces phénomènes. Par exemple, en augmentant l'acquisition de données biologiques et environnementales afin d'affiner les connaissances écologiques.

Les poissons ont un rôle dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. L'évaluation de l'impact futur sur leurs populations dû au manque d'eau devient une problématique capitale pour le maintien de l'écosystème aquatique.

De nombreuses questions restent sans réponse telles que : « quelle est la densité des organismes dans les zones de refuge ? ou « la présence de prédateurs affecte-elle la résistance des populations ? » ; « la sécheresse favorise-t-elle ou entrave-t-elle la propagation des espèces introduites ? » ; « comment la sécheresse influence-t-elle l'interaction entre les espèces

indigènes et les espèces introduites ? » ; « la sécheresse peut-elle entraîner des extinctions locales ou totales pour les espèces menacées ? ».

BIBLIOGRAPHIE

- Aparicio, Enric & Vargas, Maria & Olmo, Josep & Sostoa, Adolfo. (2000). Decline of Native Freshwater Fishes in a Mediterranean Watershed on the Iberian Peninsula: A Quantitative Assessment. *Environmental Biology of Fishes*. 59. 11-19. 10.1023/A:1007618517557.
- Arthington, A. H., and Balcombe, S. R. (2011). Extreme flow variability and the boom and bust ecology of fish in arid-zone floodplain rivers: a case history with implications for environmental flows, conservation and management. *Ecohydrology* 4, 708–720. doi:10.1002/ECO.221
- Baptist F., Poulet N., Séon-Massin N., (coordinateurs) (2014). Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique état des lieux et pistes d'adaptation. ONEMA, Comprendre pour agir.
- Barton, B. A., & Taylor, B. R. (1996). Oxygen requirements of fishes in northern Alberta rivers with a general review of the adverse effects of low dissolved oxygen. *Water Quality Research Journal*, 31(2), 361-410.
- Bunn SE, Arthington AH. (2002). Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environ Manag.* ; 30:492–507.
- Clarke A, Johnston NM. (1999). Scaling of metabolic rate with body mass and temperature in teleosts fish. *Journal of Animal Ecology* 68: 893–905.
- Costantini, Stuart A Ludsin, Doran M Mason, Xinsheng Zhang, William C Boicourt, and Stephen B Brandt. (2008) Effect of hypoxia on habitat quality of striped bass (*Morone saxatilis*) in Chesapeake Bay. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 65(5): 989-1002. <https://doi.org/10.1139/f08-021>.
- Dahm, C. N., Baker, M. A., Moore, D. I., and Thibault, J. R. (2003). Coupled biogeochemical and hydrological responses of streams and rivers to drought. *Freshwater Biology* 48, 1219–1231. doi:10.1046/J.1365-2427. 2003.01082.
- Daniel A. C., Galbraith H. S., Vaughn C. C. and Spooner D. E. (2013). A tale of two rivers: implications of water management practices for mussel biodiversity outcomes during droughts. *Ambio*. 42(7):881-91. <https://doi.org/10.1007/s13280-013-0420-8>.
- Daufresne M, Bady P, Fruget J-F. (2007). Impacts of global changes and extreme hydroclimatic events on macroinvertebrate community structures in the French Rhône River. *Oecologia* 151: 544-559.
- Daufresne M, Boët P. (2007). Climate change impacts on structure and diversity of fish communities in rivers. *Global Change Biology* 13: 2467-2478.
- Datry T., Vander Vorste R., Goitia E., Moya N., Campero M., Rodriguez F., Zubieta J. and Oberdorff T. (2017). Context-dependent resistance of freshwater invertebrate communities to drying. *Ecology and Evolution*. Mar. 31;7(9):3201-3211. <https://doi.org/10.1002/ece3.2870>.

Del Mar Torralva, M., Angeles Puig, M. and Fernández-delgado, C. (1997). Effect of river regulation on the life-history patterns of *Barbus sclateri* in the Segura river basin (south-east Spain). *Journal of Fish Biology*, 51: 300-311. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1997.tb01667.x>

Ducharne S., Théry P., Viennot, E., Ledoux, E., Gomez et Michel Déqué (2003). « Influence du changement climatique sur l'hydrologie du bassin de la Seine », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 4 Numéro 3 | mis en ligne le 15 décembre 2003, consulté le 08 février 2022.

Keith B. Gido & David L. Propst (2012). Long-Term Dynamics of Native and Nonnative Fishes in the San Juan River, New Mexico and Utah, under a Partially Managed Flow Regime, *Transactions of the American Fisheries Society*, 141:3, 645-659, DOI: 10.1080/00028487.2012.683471

Glarou M., Vourka A., Vardakas L., Andriopoulou A., Skoulikidis N. and Kalogianni E. (2019). Plasticity in life history traits of a cyprinid fish in an intermittent river. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*. <https://doi.org/10.1051/kmae/2019015>.

Hari RE, Livivingstone DM, Siber R, Burkardt-Holm P, Güttinger H. (2006). Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams. *Global Change Biology* 12: 10-26.

Humphries P. D. and Baldwin D. S. (2003). Drought and aquatic ecosystems: an introduction. *Freshwater Biology*. 48: 1141-1146. https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.01092.x.*

La VT, Cooke SJ (2011). Advancing the science and practice of fish kill investigations. *Reviews in Fisheries Science* 19: 21–33.

Leigh C, Boulton AJ, Courtwright JL, Fritz K, May CL, Walker RH, Datry T. (2016). Ecological research and management of intermittent rivers: An historical review and future directions. *Freshw Biol* 61: 1181–1199.

Lobón-Cervía J, Rincón PA. (1994). Trophic ecology of red roach (*Rutilus arcasii*) in a seasonal stream; an example of detritivory as a feeding tactic. *Freshw Biol* 32: 123–132.

Lobon-Cervia, J, Elvira, B et Rincón, PA. (1989). Historical changes in the fish fauna of the River Duero basin. *Historical change of large alluvial rivers: Western Europe*, p. 221-232.

Magalhães, M.F., Schlosser, I.J. and Collares-Pereira, M.J. (2003). The role of life history in the relationship between population dynamics and environmental variability in two Mediterranean stream fishes. *Journal of Fish Biology*, 63: 300-317. <https://doi.org/10.1046/j.1095-8649.2003.00148.x>

MAGALHÃES, M.F., BEJA, P., SCHLOSSER, I.J. and COLLARES-PEREIRA, M.J. (2007). Effects of multi-year droughts on fish assemblages of seasonally drying Mediterranean streams. *Freshwater Biology*, 52: 1494-1510. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01781.x>

Mas-Martí, E., García-Berthou, E., Sabater, S., Tomanova, S., Muñoz, I. (2010). Comparing fish assemblages and trophic ecology of permanent and intermittent reaches in a Mediterranean

stream. In: Stevenson, R.J., Sabater, S. (eds) *Global Change and River Ecosystems-Implications for Structure, Function and Ecosystem Services*. Developments in Hydrobiology 215, vol 215. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0608-8_12

Matthews, W.J. and Marsh-Matthews, E. (2003). Effects of drought on fish across axes of space, time and ecological complexity. *Freshwater Biology*, 48: 1232-1253. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.01087.x>

Noyes PD, McElwee MK, Miller HD, Clark BW, Van Tiem LA, Walcott KC, Erwin KN, Levin ED. (2009). The toxicology of climate change: environmental contaminants in a warming world. *Environment International* 35: 971-986.

Nunn, A.D., Harvey, J.P. and Cowx, I.G. (2007). The food and feeding relationships of larval and 0+ year juvenile fishes in lowland rivers and connected waterbodies. I. Ontogenetic shifts and interspecific diet similarity. *Journal of Fish Biology*, 70: 726-742. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01334.x>

Oliva-Paterna, Francisco & Vila-Gispert, Anna & Torralva, M. (2003). Condition of *Barbus sclateri* from semi-arid aquatic systems: Effects of habitat quality disturbances. *Journal of Fish Biology*. 63. 699 - 709. [10.1046/j.1095-8649.2003.00183.x](https://doi.org/10.1046/j.1095-8649.2003.00183.x).

Petrović, S., Bavčević, L., Pasarić, Z. and Mihovilović, A. (2011). Effects of successive size grading on the growth of juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) at three temperatures. *Aquaculture Research*, 42: 277-287. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02620.x>

Piffady, J. (2010). Response of fish assemblages to environmental variations by hierarchical bayesian modelling: a case study of juvenile cyprinid fish of the upper River Rhone.

Rahel FJ, Olden JD. (2008). Assessing the Effects of Climate Change on Aquatic Invasive Species. *Conservation Biology* 22: 521-533.

Rezende C. (2018). Intraspecific variability as a persistence mechanism of fishes in intermittent streams. XIX Conference of the Iberian Association of Limnology Inland waters and XXI century challenges: From scientific knowledge to environmental management, 24–29 June 2018, Coimbra, Portugal, Book of Abstracts, 207 p.

Rytwinski, T., Taylor, J.J., Bennett, J.R. et al. (2017). What are the impacts of flow regime changes on fish productivity in temperate regions? A systematic map protocol. *Environ Evid* 6, 13. <https://doi.org/10.1186/s13750-017-0093-z>

Rogosch J. S., Tonkin J. D., Lytle D. A., Merritt D. M., Reynolds L. V. and Olden J. D. (2019). Increasing drought favors nonnative fishes in a dryland river: evidence from a multispecies demographic model. *Ecosphere*. 10(4):e02681. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2681>.

Sabater S., Bregoli F., Acuña V., Barcelo D., Elozegi A., Ginebreda A., Marcé R., Muñoz I., Sabater-Liesa L. and Ferreira V. (2018). Effects of human-driven water stress on river ecosystems: a meta-analysis. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29807-7>.

Sanchez Gonzalez I., Hopper G.W., Bucholz J., Atkinson C. L. (2021). Long-Term Monitoring Reveals Differential Responses of Mussel and Host Fish Communities in a Biodiversity Hotspot. *Diversity*. 13, 122. <https://doi.org/10.3390/d13030122>.

Small K., Kopf R. K., Watts R. J. and Howitt J. (2014). Hypoxia, blackwater and fish kills: experimental lethal oxygen thresholds in juvenile predatory lowland river fishes. *PLoS One*. Apr 11;9(4):e94524. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094524>.

Souchon, Y., & Tissot, L. (2012). Synthesis of thermal tolerances of the common freshwater fish species in large Western Europe rivers. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (405), 03.

Spranza, J.J., Stanley, E.H. (2000). Condition, Growth, and Reproductive Styles of Fishes Exposed to Different Environmental Regimes in a Prairie Drainage. *Environmental Biology of Fishes* 59, 99–109. <https://doi.org/10.1023/A:1007630417266>

Strauch A. M., Kapust A. R. and Jost C. (2015). Composition and health of fish in refugia habitat of ephemeral tributaries to the lower Zambezi in southern Africa. *Marine and Freshwater Research*. 2015, 66, p. 343–351. <http://dx.doi.org/10.1071/MF14100>.

Thomas P, Rahman Md. Saydur, Khan Izhar A and Kummer J A. (2007). Widespread endocrine disruption and reproductive impairment in an estuarine fish population exposed to seasonal hypoxia *Proc. R. Soc. B*. 274:2693–2702. <http://doi.org/10.1098/rspb.2007.0921>

Tribuzy-Netoa I. A., Conceição K. G., Siqueira-Souza F. K., Hurd L. E. and Freitas C. (2017). Condition factor variations over time and trophic position among four species of Characidae from Amazonian floodplain lakes : effects of an anomalous drought. *Brazilian Journal of Biology*. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.166332>.

Vasiliou, A., & Economidis, P. S. (2005). On the life-history of *Barbus peloponnesius* and *Barbus cyclolepis* in Macedonia, Greece. *FOLIA ZOOLOGICA-PRAHA*-, 54(3), 316.

Vidal-Abarca, M.R., M.L. Suarez & L. Ramirez-Diaz. (1992). Ecology of Spanish semiarid streams. *Limnetica* 8: 151–160.

Vila-Gispert, A., L. Zamora & R. Moreno-Amich. (2000). Use of the condition of Mediterranean barbel (*Barbus meridionalis*) to assess habitat quality

Whiterod N., Hammer M. and Vilizzi L. (2015). Spatial and temporal variability in fish community structure in Mediterranean climate temporary streams. *Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie*. <https://doi.org/10.1127/fal/2015/0771>.

Zaret, T.M. and Rand, A.S. (1971). Competition in Tropical Stream Fishes: Support for the Competitive Exclusion Principle. *Ecology*, 52: 336-342. <https://doi.org/10.2307/1934593>

Annexe A : Liste des articles non disponibles en libre accès issus de la requête sur le Web of science pour l'analyse de la résilience des communautés piscicoles en cas de manque d'eau au cours de la période de janvier 2000 – juillet 2021.

N°	Auteur	Date	Titre	Mots-clés	Citation
1	William et al.	2003	Effects of drought on fish across axes of space, time and ecological complexity	/	William J. M. and Edie M.-M. (2003). Effects of drought on fish across axes of space, time and ecological complexity. <i>Freshwater Biology</i> 48(7):1232 – 1253. https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.01087.x .
2	Clavero et al.	2005	Fish-habitat relationships and fish conservation in small coastal streams in southern Spain	/	Clavero M., Blanco-Garrido F. and Prenda J. (2005). Fish-habitat relationships and fish conservation in small coastal streams in southern Spain. <i>Marine and Freshwater Ecosystems</i> . Volume 15, Issue 4. p. 415-426. https://doi.org/10.1002/aqc.679 .
3	Bice et al.	2011	Engineered water level management facilitates recruitment of non-native common carp, <i>Cyprinus carpio</i> , in a regulated lowland river	River Murray, Environmental engineering, Freshwater fish, River regulation, Exotic species, Acid sulfate soils, Environmental water allocation	Bice C. M. and Zampatti B. T. (2011). Engineered water level management facilitates recruitment of non-native common carp, <i>Cyprinus carpio</i> , in a regulated lowland river. <i>Ecological Engineering</i> . Volume 37, Issue 11, November 2011, p. 1901-1904. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.06.046 .
4	Morán-López et al.	2012	Hierarchical large-scale to local-scale influence of abiotic factors in summer-fragmented Mediterranean rivers: structuring effects on fish distributions, assemblage composition and species richness	Seasonal drought, Multi-scale factors, Mediterranean rivers, Freshwater fish, Connectivity	Morán-López R., Pérez-Bote J. L., Da Silva E. and Perales Casildo A. B. (2012). Hierarchical large-scale to local-scale influence of abiotic factors in summer-fragmented Mediterranean rivers: structuring effects on fish distributions, assemblage composition and species richness. <i>Hydrobiologia</i> 696, p. 137–158. https://doi.org/10.1007/s10750-012-1189-7 .
5	Bucater et al.,	2013	Temporal variation of larval fish assemblages of the Murray Mouth in prolonged drought conditions	Coorong, Estuary, Nursery	Bucater L. B., Livore J. P., Noell C. J. and Ye Q. (2013). Temporal variation of larval fish assemblages of the Murray Mouth in prolonged drought conditions. <i>Marine and Freshwater Research</i> . 64(10) p. 932-937. https://doi.org/10.1071/MF12278 .
6	Atkinson et al.	2014	Species and function lost: Role of drought in structuring stream communities	Biodiversity, Ecosystem function, Unionid, Nitrogen, Phosphorus, Species traits, South-central US	Atkinson C. L., Julian J. P. and Vaughn C. C. Species and function lost: Role of drought in structuring stream communities. <i>Biological Conservation</i> . Volume 176, August 2014, p. 30-38. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.04.029 .
7	Fabré et al.	2017	Fishing and drought effects on fish assemblages of the central Amazon Basin	Freshwater ecosystems, Floodplains, Multispecies, Size spectra, River	Fabré N. N., Castella L., Issac V. J. and Batista V. S. (2017). Fishing and drought effects on fish assemblages of the central Amazon Basin. <i>Fisheries Research</i> . Volume 188, April 2017, p. 157-165. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.12.015 .
8	Mickle et al.	2018	Effects of annual droughts on fish communities in Mississippi sound estuaries	Drought, Fish community, Mississippi Sound, Estuary	Mickle, P.F., Herbig, J.L., Somerset, C.R., chudzik B. T. Lucas K. L. and Fleming M. E. (2018). Effects of annual droughts on fish communities in Mississippi sound estuaries. <i>Estuaries and Coasts</i> . 41, p. 1475–1485. https://doi.org/10.1007/s12237-017-0364-5 .

Annexe B : Résultats des recherches bibliométriques

B.1. Résultats principaux de la requête effectuée sur le WOS

L'équation de recherche effectuée sur Web Of Science (WOS) a permis de recenser un corpus de 82 articles sur la période d'étude janvier 2000-juillet 2021 dont 3 publications sont hors sujet concernant les échassiers, les aigrettes et les écrevisses (Figure 12). On note que l'année 2013 marque un tournant puisque le nombre de publications sur le sujet a alors considérablement augmenté. Une des hypothèses qui pourrait expliquer l'essor de publications scientifiques sur le sujet serait la conférence mondiale sur la biodiversité de Nagoya et la conférence de Cancun sur le changement climatique qui ont eu lieu en 2010.

Le nombre total de citations pour l'ensemble du corpus est passé de 1 953 plus précisément 1 906 sans les auto-citations pour la période de 2000 à 2019 à 2 942 plus précisément 2 887 sans les auto-citations pour la période de janvier 2000 à juillet 2021 (Figure 12).

L'ensemble du corpus cite 2 643 articles au cours de la période janvier 2000 à juillet 2021 (Figure 12).



Figure 12 : Principaux résultats présentant le nombre total de publications, le nombre total de fois que les articles du corpus ont été cités avec et sans auto-citations, le nombre de citations moyennes par article et le nombre d'articles que le corpus cite sur la période janvier 2000-juillet 2021 sur la thématique considérée.

Le nombre d'articles scientifiques traitant de la thématique de l'impact de la sécheresse sur les communautés piscicoles des cours d'eau n'a cessé d'augmenter sur la période d'étude 2000 à 2019 passant de 1,4 articles par an en moyenne sur la période [2000-2004] à 7,2 articles par an en moyenne sur la période [2015-2019].

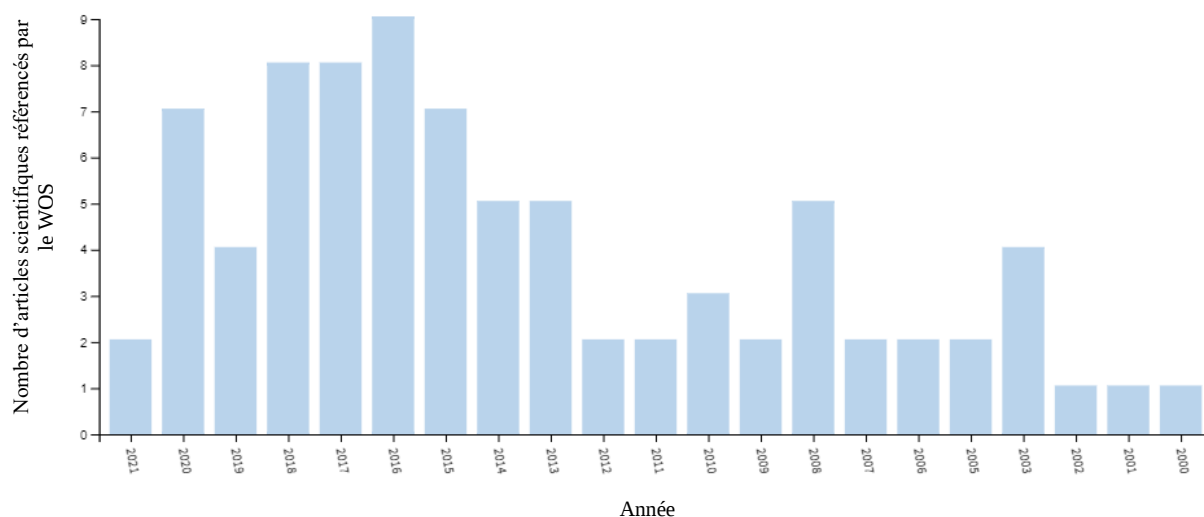


Figure 13 : Histogramme de l'évolution de l'activité de recherche sur la période janvier 2000-juillet 2021 sur la thématique considérée (sécheresse, poisson, cours d'eau, communauté et rivière).

Les 10 articles présentés dans la Figure 14 sont les 10 articles les plus cités sur la totalité des résultats. On peut remarquer que 3 articles présentent une similitude de couverture géographique puisque leur titre mentionne les rivières méditerranéennes.

	2017	2018	2019	2020	2021	Total	Average Citations per Year
Use the checkboxes to remove individual items from this Citation Report							
or restrict to items published between 2000 and 2021 Go							
☐ 1. The cumulative effects of climate warming and other human stresses on Canadian freshwaters in the new millennium By: Schindler, DW CANADIAN JOURNAL OF FISHERIES AND AQUATIC SCIENCES Volume: 58 Issue: 1 Pages: 18-29 Published: JAN 2001	274	293	332	356	169	2943	140.14
☐ 2. Effects of drought on fish across axes of space, time and ecological complexity By: Matthews, WJ; Marsh-Matthews, E FRESHWATER BIOLOGY Volume: 48 Issue: 7 Pages: 1232-1253 Published: JUL 2003	26	20	19	16	4	410	19.52
☐ 3. Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems By: Castello, Leandro; Macedo, Marcia N. GLOBAL CHANGE BIOLOGY Volume: 22 Issue: 3 Pages: 990-1007 Published: MAR 2016	26	17	23	19	5	265	13.95
☐ 4. Drought and aquatic ecosystems: an introduction By: Humphries, P; Baldwin, DS FRESHWATER BIOLOGY Volume: 48 Issue: 7 Pages: 1141-1146 Published: JUL 2003	15	37	42	43	24	173	28.83
☐ 5. A review on habitats, plant traits and vegetation of ephemeral wetlands - a global perspective By: Deil, U PHYTOCOENOLOGIA Volume: 35 Issue: 2-3 Pages: 533-705 Published: AUG 26 2005	11	14	9	10	2	171	9.00
☐ 6. Mediterranean-climate streams and rivers: geographically separated but ecologically comparable freshwater systems By: Bonada, Nuria; Resh, Vincent H. HYDROBIOLOGIA Volume: 719 Issue: 1 Pages: 1-29 Published: NOV 2013	9	9	11	7	3	155	9.12
☐ 7. Responses of benthic bacteria to experimental drying in sediments from Mediterranean temporary rivers By: Amalfitano, Stefano; Fari, Stefano; Zoppini, Annamaria; et al. MICROBIAL ECOLOGY Volume: 55 Issue: 2 Pages: 270-279 Published: FEB 2008	29	19	18	20	10	126	14.00
☐ 8. Biotic interactions in freshwater benthic habitats By: Holomuzki, Joseph R.; Feminella, Jack W.; Power, Mary E. JOURNAL OF THE NORTH AMERICAN BENTHOLOGICAL SOCIETY Volume: 29 Issue: 1 Pages: 220-244 Published: MAR 2010	10	7	5	0	3	91	6.50
☐ 9. Comparison of environmental DNA metabarcoding and conventional fish survey methods in a river system By: Shaw, Jennifer L. A.; Clarke, Laurence J.; Wedderburn, Scotte D.; et al. BIOLOGICAL CONSERVATION Volume: 197 Pages: 131-138 Published: MAY 2016	5	7	6	15	6	88	7.33
☐ 10. Interannual variation of fish assemblage structure in a Mediterranean River: Implications of streamflow on the dominance of native or exotic species By: Bernardo, JM; Ilheu, M; Matono, P; et al. Conference: Joint Meeting on Environmental Flows for River Systems/4th International Ecohydraulics Symposium Location: CAPE TOWN, SOUTH AFRICA Date: MAR, 2002 RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS Volume: 19 Issue: 5-6 Pages: 521-532 Published: SEP-DEC 2003	15	19	22	19	11	87	14.50
	6	7	5	4	2	86	4.53

Figure 14 : Extrait des 10 premiers articles du classement du corpus total selon le nombre croissant total de citation par an sur la période janvier 2000-juillet 2021 sur la thématique considérée.

B.2. Analyse de la catégorie WOS

La majorité des articles se répartissent en 21 catégories WOS, ou thématiques, allant de la biologie marine/dulcicole à la parasitologie. Une majorité des publications se répartissent dans les 6 premières catégories que sont la biologie marine et dulcicole, l'écologie, les sciences environnementales, l'océanographie, les ressources aquatiques et enfin la pêche et l'aquaculture (Figure 15).



Figure 15 : Représentation graphique de la répartition des articles dans les catégories WOS sur la période janvier 2000-juillet 2021 sur la thématique considérée.

B.3. Analyse des pays de publication

Les principaux pays qui publient le plus sur la thématique de l'impact du manque d'eau sur les communautés piscicoles sont les Etats-Unis (33 publications), l'Australie (18), le Brésil (12), le Portugal (10), l'Espagne (9) et l'Afrique du Sud (4) (Figure 16). La France arrive en 8^{ème} position ex æquo avec le Canada (3 publications). Cette position s'explique parce que les scientifiques français ne semblent pas publier sur cette thématique depuis 2019.

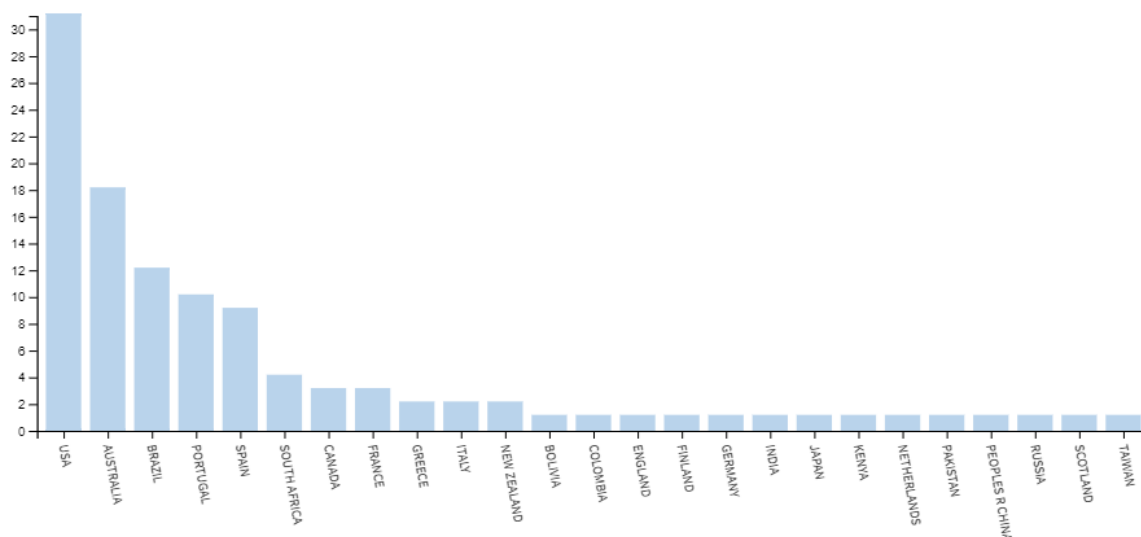


Figure 16 : Histogramme de la répartition géographique des articles scientifiques publiés sur la période janvier 2000-juillet 2021 sur la thématique considérée.

B.5. Analyse des organisations « publiantes »

Les organisations publiant le plus sur le sujet sont dans l'ordre décroissant (Figure 17) :

- * Université de Coimbra (Portugal),

- * Université de Lisbonne (Portugal),
- * Université d'Adeláide (Australie),
- * Université d'Okloaoma (USA),
- * Conseil supérieur de la recherche scientifique de Madrid (Espagne),
- * Université fédérale d'Amazonas (Brésil).

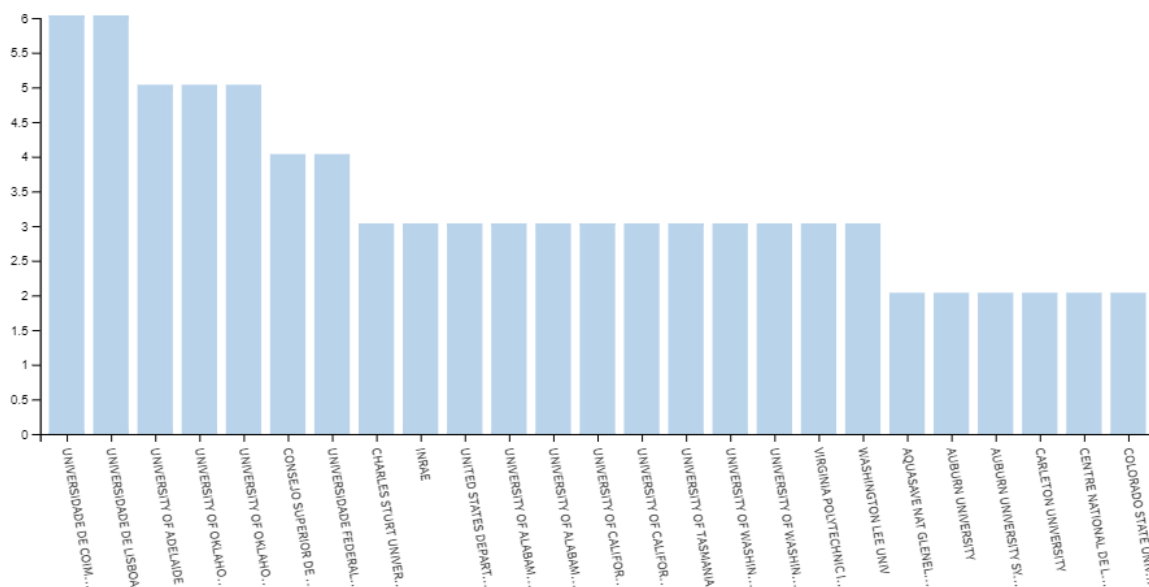


Figure 17 : Histogramme de la répartition des articles scientifiques publiés selon les organisations sur la période 2000-juillet 2021 sur la thématique considérée.

B. 4. Liste des auteurs

Les auteurs publiant le plus par ordre décroissant sont : Martinho F. (Portugal), Pardal M. A. (Portugal), Atkinson C. L. (Australie), Barnes T. C. (Australie), Dolbeth M. (Portugal), Freitas C. E. C. (Brésil), Hurd L. E. (Etats-Unis), Siqueira-Souza F. K. (Brésil), Vaughn C. C. (USA), Viegas I. (Portugal) et Wedderburn S. D. (Australie) (Figure 18). On remarque 4 nouveaux auteurs se situant dans ceux/celles qui publient le plus si l'on compare avec l'étude menée en 2019, qui sont Barnes T. C. (Australie), Vaughn C. C. (USA), Viegas I. (Portugal) et Wedderburn S. D. (Australie).

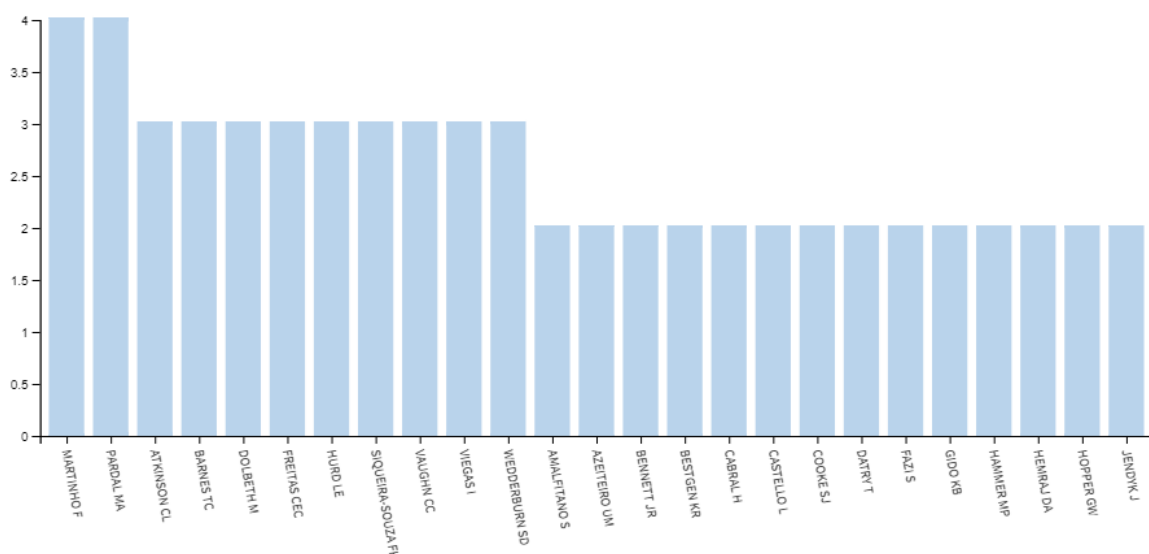


Figure 18 : Histogramme de la répartition des articles scientifiques selon l'auteur sur la période janvier 2000-juillet 2021 sur la thématique considérée.

B.6. Analyse des revues

Les sept revues dans lesquelles sont publiées les articles concernés par la thématique sont des revues internationales reconnues en hydrobiologie (Figure 19) : Freshwater Biology ; Marine and Freshwater Research ; Estuarine, Coastal and Shelf Science ; Hydrobiologia ; River Research and Applications ; Biological Conservation ; Ecohydrology.

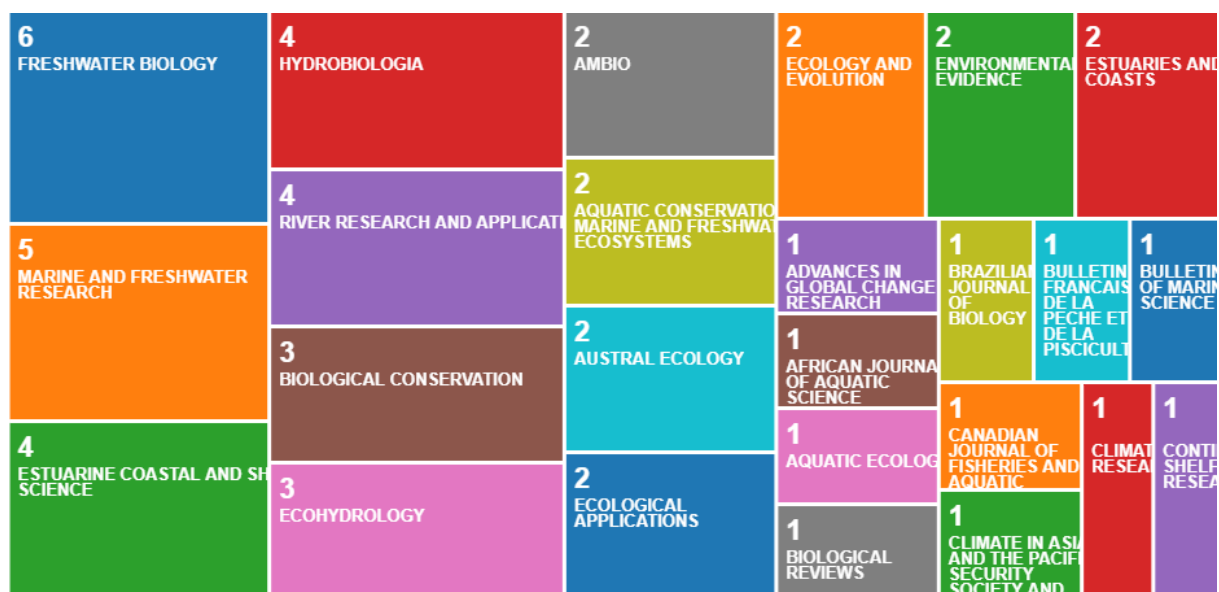


Figure 19 : Représentation graphique de la répartition des articles scientifiques dans les revues scientifiques sur la période de janvier 2000-juillet 2021 sur la thématique considérée.

CONCLUSION BIBLIOMETRIE

L'analyse bibliométrique a mis en avant les connaissances récentes disponibles sur l'impact du manque d'eau sur les communautés piscicoles des cours d'eau. Elle a permis de cerner plus précisément le sujet de l'étude et a mis en exergue plusieurs points.

Tout d'abord, une augmentation du nombre d'articles scientifiques publiés à partir de 2013 est observée, s'expliquant par un intérêt grandissant de la communauté scientifique sur ce sujet suite aux conférences sur le climat et le réchauffement climatique. De plus, cette augmentation coïncide avec l'arrivée d'épisodes de sécheresse touchant plusieurs pays tels que les USA, l'Australie (Whiterod et al, 2015) et le Portugal (Martinho et al, 2007) sur la période 2000 à 2010.

Deuxièmement, l'étude bibliométrique a montré qu'il y a peu d'articles provenant de la communauté scientifique française. Cependant une des limites de l'étude est de se focaliser sur la recherche d'articles scientifiques référencés sur des bases de données multidisciplinaires internationales. En effet, cette recherche ne prend pas en compte les rapports et les études qui ont pu être menés par des organismes de recherche français ou produits dans des contextes plus techniques disponibles sous forme de littérature grise. Réaliser une recherche de documents complémentaires permettrait d'avoir un aperçu plus élargi sur le sujet.

Troisièmement, la recherche bibliométrique a montré que les pays publiant le plus sur la période 2000-2021 ont été particulièrement impactés par des épisodes de sécheresse. Le Portugal a le nombre d'auteurs le plus élevé publiant sur cette période. Cette augmentation des publications s'explique par les épisodes de sécheresses considérés comme extrêmes, survenus de 2003 à 2006 sur le bassin versant de l'estuaire du Mondego. La communauté scientifique portugaise s'intéresse particulièrement à la réduction significative de l'abondance de la communauté piscicole suite aux épisodes de sécheresse et aux effets de l'augmentation de la salinité à l'intérieur de l'estuaire sur cette communauté.

Enfin, la revue scientifique publiant le plus sur le sujet est la revue *Freshwater Biology*. Les articles de cette revue montrent que l'impact du manque d'eau est plus visible sur les milieux d'eaux douces et que ce sujet intéresse et préoccupe la communauté scientifique internationale (facteur d'impact de la revue : de 3.8).