

Evolution interannuelle des variables thermiques et hydrologiques en lien avec la phase eau douce de la grande alose (*Alosa alosa* L.)

Rapport de stage individuel

4^{ème} année

Université de TOURS UMR CITERES

33 allée F de Lesseps



Tuteur entreprise :
Catherine Boisneau
UMR CITERES

Yusufu Muhetabaer
2020-21 IMA

Tuteur académique :
Stéphane Rodrigues

Résumé

Dans cette étude, la recherche principale est d'étudier l'évolution interannuelle des variables thermiques et hydrologiques liées à la phase d'eau douce d'Alosa alosa L pendant les années 1980-2020. Les principales méthodes utilisées sont de reconstruire les données manquantes et d'utiliser XLSTAT pour calculer les changements de tendance de chaque variable et la date de rupture.

Mots clés : Grande alose (Alosa alosa L.) , Changement Climatique , Thermique , Hydrologique , Reconstruire

Table des matières

1.	Introduction.....	1
1.1	Contexte.....	1
1.2	Changement Climatique	2
1.3	La grande alose (<i>Alosa alosa</i>)	2
1.4	Introduction de la structure d'accueil	3
1.5	Recherche (Missions et déroulement de la mission).....	4
1.	Site d'étude	5
2.	Matériels et Méthodes	8
2.1	Sources et qualité des jeux de données	8
2.2	Choix des variables	10
2.3	Traitement de variables thermiques et hydrologiques	11
3.	Résultat	12
4.	Conclusion.....	16
	Bibliographie	18
	Annexes	19

Liste des tableaux

Tableau 1 : Eléments sur le manque de données de température de l'eau. (Les années bissextiles sont surtitrées en vert)	9
Tableau 2 : Synthèse de variables thermiques et hydrologiques	10
Tableau 3 : Le test de Mann-Kendall et Le test de Pettitt sur paramètre de thermique.	12
Tableau 4 : Le test de Mann-Kendall et Le test de Pettitt sur paramètre d'hydrologique.	13

Liste des figures

Figure 1. Cycle de vie de l'aloise (Alosa alosa) (C. Boisneau)	3
Figure 2. Localisation des sites de mesures de la température et du débit	7
Figure 3 : Le numéro du jour de seuil 10.5 °C apparaît (Numéro du jour, NJ10.5°C) en chaque station.	14
Figure 4: Le numéro du jour de seuil 18 °C apparaît (Numéro du jour, NJ18°C) en chaque station.	14
Figure 5 : Le numéro du jour de seuil 22 °C apparaît (Numéro du jour, NJ22°C) en chaque station.	15
Figure 6: Le temp moyenne annuelle (TMA, °C) sur chaque station	15
Figure 7: Le débits moyen journalier d'interannuelle par chaque station	16
Figure 8: Le débits moyen annuel par chaque station	16

Annexes

Annexe 1 : Débit moyen annuel , débit moyen de chaque période, débit moyen interannuel de chaque période et rapport des débits moyens journaliers de l'année i sur le débit moyen journalier d'interannuelle par chaque période sur la station de Nevers	19
Annexe 2 : Débit moyen annuel , débit moyen de chaque période, débit moyen interannuel de chaque période et rapport des débits moyens journaliers de l'année i sur le débit moyen journalier d'interannuelle par chaque période sur la station de La Creuse à Leugny	19

Annexe 3 : Débit moyen annuel , débit moyen de chaque période, débit moyen interannuel de chaque période et rapport des débits moyens journaliers de l'année i sur le débit moyen journalier d'interannuelle par chaque période sur la station de Saint-Yorre	20
Annexe 4 : Débit moyen annuel , débit moyen de chaque période, débit moyen interannuel de chaque période et rapport des débits moyens journaliers de l'année i sur le débit moyen journalier d'interannuelle par chaque période sur la station de La Vienne à Ingrandes	21
Annexe 5 : Synthèse de paramètre de Thermique sur station de Vichy (TMA, °C , NJ10.5°C, NJ18°C, NJ 22°C, NJ 27°C, °J entre 10.5 °C et 18°C, °J entre 18 °C et 22°C , °J entre 22 °C et 27°C).....	21
Annexe 6 : Synthèse de paramètre de Thermique sur station de Décize (TMA, °C , NJ10.5°C, NJ18°C, NJ 22°C, NJ 27°C, °J entre 10.5 °C et 18°C, °J entre 18 °C et 22°C , °J entre 22 °C et 27°C).....	22
Annexe 7 : Synthèse de paramètre de Thermique sur station de Châtellerault (TMA, °C , NJ10.5°C, NJ18°C, NJ 22°C, NJ 27°C, °J entre 10.5 °C et 18°C, °J entre 18 °C et 22°C , °J entre 22 °C et 27°C)	23
Annexe 8 : Synthèse de paramètre de Thermique sur station de Descartes (TMA, °C , NJ10.5°C, NJ18°C, NJ 22°C, NJ 27°C, °J entre 10.5 °C et 18°C, °J entre 18 °C et 22°C , °J entre 22 °C et 27°C).....	24
Annexe 9 : R ²	24

1. Introduction

1.1 Contexte

Le changement climatique est un processus planétaire qui est à l'œuvre. Les scientifiques du **GIEC** (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) ont montré que le réchauffement n'est pas homogène à l'échelle de la planète et que les régions proches des pôles seront affectées par des hausses de température plus élevées que les régions tempérées. En application des liens existants entre la température et les facteurs environnementaux et de la hiérarchie des niveaux de contrainte, les processus générés par le réchauffement climatique impactent non seulement les milieux mais aussi les espèces. Les poissons migrateurs qui fréquentent alternativement milieu marin et dulçaquicole ne font pas exception.

Le bassin de la Loire compte diverses espèces de poissons migrateurs anadromes, saumon atlantique, aloses grande et feinte, lamproies marine et fluviatile, truite de mer, espèces patrimoniales, qui sont le support de différents types de prélèvements par pêche, de loisirs, amateurs ou professionnelles, à l'exception du saumon atlantique et de la truite de mer. Ces espèces ont, toutes, vu leurs effectifs se réduire depuis le milieu du 19^e siècle avec des vitesses et sur des linéaires de cours d'eau variables, liés à leurs traits d'histoire de vie, à l'histoire des usages dans les différents bassins versants et au changement global (Boisneau, 2015.)

Des opérations d'acquisition de connaissances et de suivi in situ des populations d'aloses, poissons migrateurs anadromes de la famille des Clupeidae, sont financées depuis le début du Plan Loire Grandeur Nature. Parmi des deux espèces fréquentant la façade atlantique (*Alosa alosa* L. et *Alosa fallax* Lacépède), la grande alose est la plus abondante, celle qui remonte le plus en amont sur le bassin. Cette espèce fait l'objet de suivis de sa phase adulte, depuis 1984 en Loire moyenne et en basse Loire, au travers de l'analyse des captures de pêcheries professionnelles patrimoniales. Ces suivis sont complétés par des suivis au niveau de passes à poissons localisées sur les 4 principaux axes à l'aval ou au niveau des zones de frayères. Il s'avère que depuis plusieurs années, les effectifs enregistrés par ces suivis ont chuté.

Parmi les hypothèses avancées pour expliquer ces moindres effectifs, une moindre accessibilité est avancée ce qui peut paraître paradoxal. En effet, en liaison avec le réchauffement de l'eau de la Loire (Moatar et Gailhard, 2006), les entrées des aloses apparaissent plus précoces (Legrand et al., 2020) tout comme le départ vers la mer des alosons (Boisneau et al., 2008). Néanmoins, les quantités de chaleur vécues par les poissons augmentent significativement entre 1980 et 2016 (Boisneau données non publiées) et sont susceptibles d'accélérer les processus de maturation des gamètes et de stopper la migration bien en aval des zones de frayères, surtout pour les axes Loire et Allier où celles-ci sont situées respectivement à 576 km et 663 km de la mer.

1.2 Changement Climatique

Moatar et Gailhard (2006) ont analysé le comportement de la température de l'eau de la Loire de 1881 à 1976 à partir des températures moyennes mensuelles des fleuves. Les données étaient issues de séries temporelles reposant sur une base horaire dans le cours moyen de la Loire depuis 1976. Ils ont également utilisé une reconstruction des séries de température de l'eau, par régression linéaire multiple, à partir d'informations équivalentes sur les températures de l'air et les débits fluviaux. Depuis 1881, les températures moyennes annuelles et estivales de la Loire ont augmenté d'environ 0,8 °C, cette augmentation s'accroissant depuis la fin des années 1980 en raison de l'augmentation de la température de l'air et également de débits plus faibles.

Par conséquent, les deux variables environnementales, la température et le débit d'eau, sont étroitement liées au changement climatique. Ces variables peuvent affecter directement ou indirectement les organismes aquatiques. Cela montre également que l'étude de ces deux variables environnementales est d'une grande importance pour les organismes aquatiques.

1.3 La grande alose (*Alosa alosa*)

Les aloses sont des poissons migrateurs anadromes de la famille des Clupeidae. Deux espèces fréquentent la façade atlantique, la grande alose (*Alosa alosa* L.) et l'aloise feinte (*Alosa fallax* Lacépède). En Europe et en France, les populations de grande alose présentent des situations très contrastées suivant les bassins, recolonisation des bassins bretons,

normands et du Rhin, stabilisation sur le bassin de l'Adour, décroissance postérieure à une très forte augmentation sur la Garonne et la Dordogne. Le bassin de la Loire est un des derniers grands bassins européens où les deux espèces cohabitent. La grande alose y est la plus abondante et celle qui remonte le plus en amont. (Boisneau et al., 2011.)

Les aloses ont un cycle de vie de type anadrome avec une reproduction en eau douce, un séjour des juvéniles en eau douce d'un à trois mois puis elles vont grossir en mer (Figure 1). La durée du séjour marin varie, selon les individus, de 3 à 7 ans, les mâles séjournant un an de moins que les femelles (Mennesson et al., 2000a).

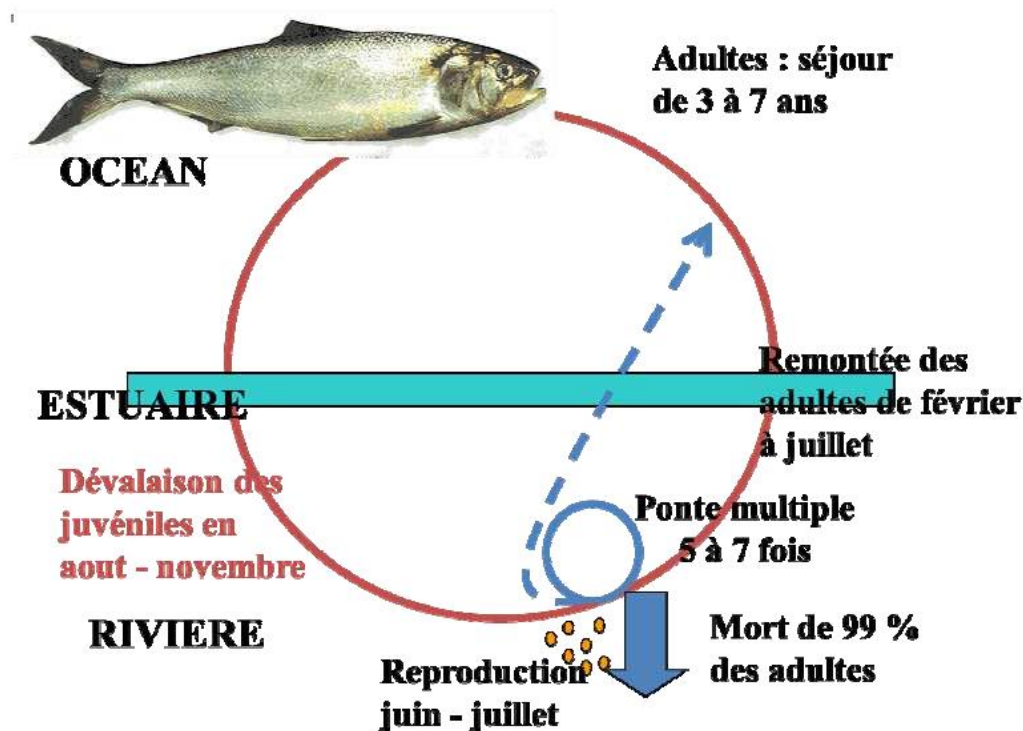


Figure 1. Cycle de vie de l'aloise (*Alosa alosa*) (C. Boisneau)

1.4 Introduction de la structure d'accueil

L'objectif scientifique principal de l'UMR 7324 CITERES est l'analyse des dynamiques spatiales et territoriales des sociétés. Au regard du panorama français et étranger des structures de recherche travaillant sur le même objet, CITERES se distingue par la multiplicité des entrées et le croisement des champs thématiques à partir desquels elle appréhende les relations des sociétés à leur espace, selon une large gamme d'échelles spatiales et temporelles. En effet, le bilan met en évidence le renforcement des capacités de CITERES à mobiliser autour d'un même objet de nombreuses disciplines : anthropologie, archéologie, aménagement et urbanisme, écologie, géographie, histoire, sciences politiques, sociologie, etc.

L'équipe Dynamique et Action Territoriales et Environnementales (DATE)

Responsable : José Serrano

DATE regroupe des enseignants-chercheurs en écologie, en géographie, en aménagement de l'espace-urbanisme, en sociologie mais aussi des ingénieurs, des architectes, des mathématiciens et informaticiens. Elle a pour projet scientifique l'intelligibilité des transformations des milieux naturels et des espaces aménagés et construits, telles qu'elles résultent de processus soit "spontanés", soit volontaires. Ce faisant, l'équipe cherche à conjuguer approches théoriques et critiques d'une part, concrètes ou opérationnelles d'autre part. Les travaux de recherche vont des inventaires et diagnostics de terrain jusqu'aux projets prospectifs en passant par l'analyse des dynamiques territoriales. L'équipe s'appuie sur la définition de 3 thématiques majeures : « Dynamiques environnementales, enjeux et paysages », « Risques, vulnérabilités et résilience des territoires » et « Actions intentionnelles territorialisantes ».(site : <https://www.msh-vdl.fr/recherche/equipes/citeres/>)

1.5 Recherche (Missions et déroulement de la mission)

Dans cette étude, mes recherches portent sur l'évolution de paramètres thermiques et hydrologiques relatifs aux conditions de la **migration**, la **reproduction** et les **stades juvéniles** de la grande alose.

La question ultime de cette recherche est :

1. Les changements de débit causés par le changement climatique affecteront-ils le cycle de vie des poissons ?
2. Est-ce que les changements de température de l'eau et température de l'air causés par le changement climatique influent le cycle de poisson ?

Hypothèses de recherche:

Je suppose que ces deux paramètres affectent significativement le cycle de vie des poissons. Le débit détermine le déplacement du poisson lors de sa migration de montaison: un faible débit a un effet négatif sur le mouvement du poisson, tandis qu'un débit plus élevé a un effet positif sur le mouvement du poisson. Pour les poissons au stade juvénile, le débit affecte le processus de croissance du poisson et la vitesse de migration vers l'aval.

En ce qui concerne la température, en effet, la migration et la production des poissons ont des températures critiques. Si ces températures ne sont pas atteintes, certaines étapes du cycle de vie ne pourront être assurées ou seront perturbées (Jatteau et al., 2017).

Afin de confirmer l'hypothèse, cette recherche sera réalisée à travers plusieurs étapes :

- Elaborer une base de données de température de l'eau et débit en 8 sites (4 stations hydrologiques et 4 stations thermiques) sur la Loire, l'Allier, la Vienne, et la Creuse.
- Reconstituer les données.
- Analyser l'évolution temporelle de valeurs de type seuil thermiques et d'autres variables associés thermiques ou hydrologiques (durée, °J), de 1980 à 2020, en lien avec l'écologie des poissons lors de leur phase de migration, reproduction et juvéniles .

1. Site d'étude

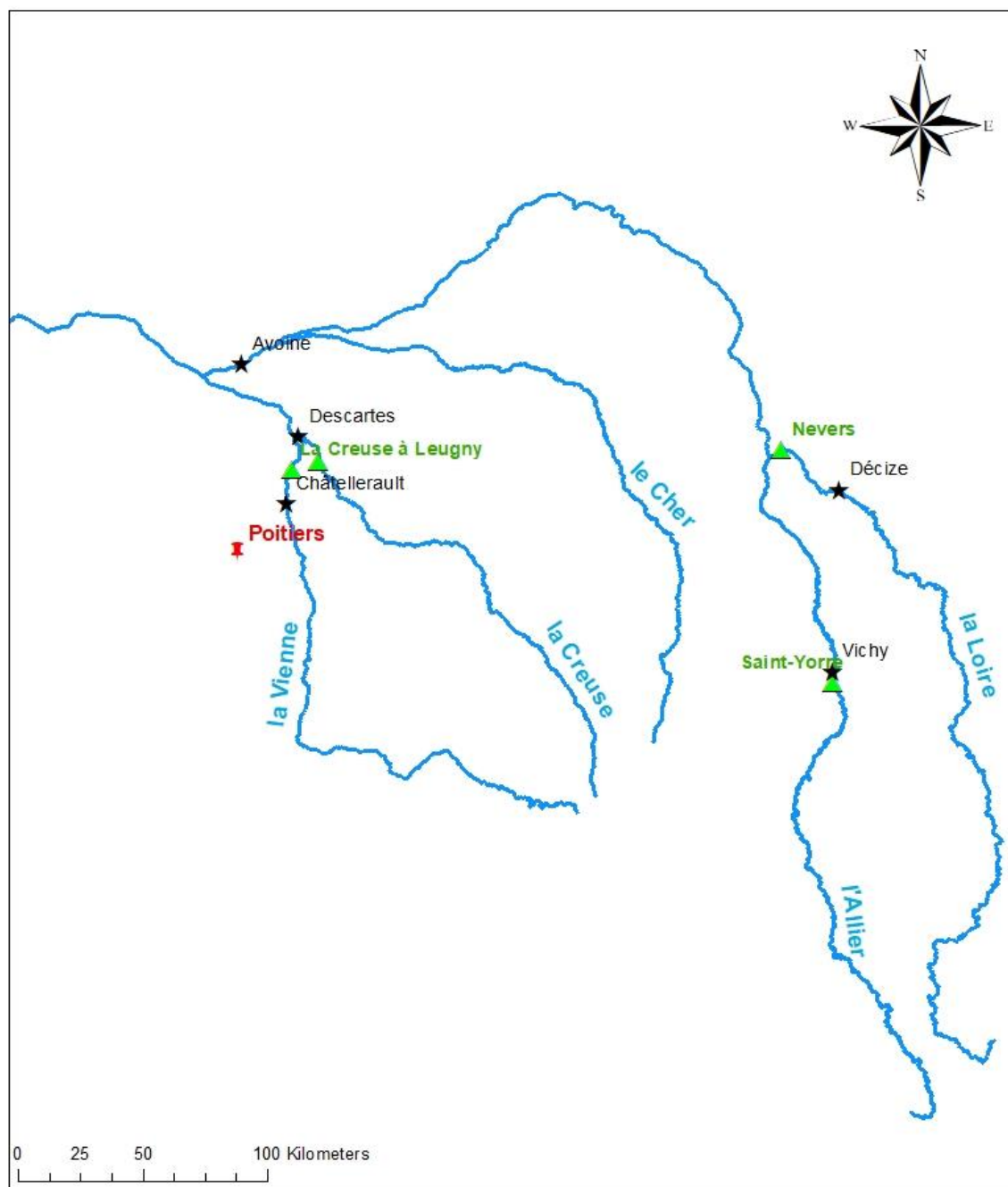
La Loire est le plus long et le plus irrégulier fleuve de France. Son bassin versant, qui cumule 40 000 km de cours d'eau, couvre 117 000 km², soit un cinquième du territoire français.(www.valdeloire.org). Fleuve long de 1 020 kilomètres, elle prend sa source à l'est du Massif central, au pied sud du mont Gerbier de Jonc (1551 m d'altitude), dans la commune de Sainte-Eulalie dans le Département de l'Ardèche. Le fleuve coule tout d'abord vers l'ouest, puis rapidement vers le nord en traversant le Massif central à travers plusieurs gorges. Sa confluence avec l'Allier en amont de Nevers gonfle sa taille, le Fleuve Loire y voit son débit doubler. Elle s'oriente ensuite vers le nord-ouest pour bifurquer finalement vers le sud-ouest après Orléans. Elle se jette dans l'Océan Atlantique par un estuaire situé au niveau de Saint-Nazaire (Loire-Atlantique) (www.eptb-loire.fr/)

On appelle affluent le cours d'eau dont le débit est le moins important à un confluent. Les principaux affluents de la Loire sont, en rive gauche, l'Allier, le Cher, l'Indre, la Vienne et la Sèvre Nantaise. Les 4 axes étudiés sont la Loire et l'Allier à l'amont de leur confluence et la Vienne et la Creuse (figure 2). Ces quatre rivières sont celles qui hébergent les principales populations d'aloses du bassin.

L'Allier prend sa source à 1380 m d'altitude dans le Sud-Est du Massif central, au pied du Moure de la Gardille (1503 m). L'Allier parcourt ensuite 404 Km vers le Nord avant de confluer avec la Loire au Bec d'Allier près de Nevers. L'Allier draine l'Auvergne et une partie du Bourbonnais, soit un bassin versant de 14 340 km² ; les précipitations sont en moyenne de 800 mm par an. Elle reste l'une des dernières rivières encore sauvages d'Europe et recèle une faune unique, notamment les oiseaux : le faucon, les milans, les martins-pêcheurs, le busard Saint-Martin ou le hibou grand-duc.

La Vienne traverse les Départements du même nom (Haute-Vienne et Vienne) et une partie de la Charente. D'une longueur de 372 kilomètres, elle prend sa source en Corrèze, au pied du Mont Audouze (954 m) sur le Plateau de Millevaches. Son bassin versant mesure 20 000 km². Elle se jette dans la Loire à Candes-Saint-Martin dans le département d'Indre-et-Loire (37). Ses principaux affluents sont la Creuse, le Thaurion, la Briance ou le Clain. Elle traverse les villes de Limoges, Confolens, L'Isle-Jourdain, Chauvigny, Châtellerauld ou Chinon.

La Creuse traverse quatre-vingts communes situés dans les départements de la Creuse, de l'Indre, de l'Indre-et-Loire et de la Vienne. D'une longueur de 263,38 kilomètres, elle prend sa source dans le département de la Creuse, à 811 m d'altitude, près du lieu-dit « Chirat », dans le plateau de Millevaches, sur le territoire de la commune du Mas-d'Artige, puis s'écoule vers le nord-ouest. Son bassin versant a une superficie totale de 1 693 km² **(Sandre)**.



Légende

- 📌 Station de température de l'air
- ★ Station de température de l'eau
- ▲ Station_hydrologique
- Cours d'eau

Auteur: Y.Muhetabaer

Date: 2021/7/16

Figure 2. Localisation des sites de mesures de la température et du débit

2. Matériels et Méthodes

2.1 Sources et qualité des jeux de données

Les données journalières de température aux stations de comptage de Vichy, Decize, Châtellerault et Descartes ont été fournies par **LOGRAMI*** et merci beaucoup pour leur soutien à mes recherches. Les mesures des températures sont standardisées, et validées par cette structure. Les mesures se font dans les passes à poissons au niveau de barrages. Ce sont **Decize** située sur l'axe Loire, **Vichy** située sur l'Allier, **Descartes** située sur la Creuse et **Châtellerault** située sur la Vienne. Ces quatre sites sont retenus en raison de leur proximité avec les zones de frayères de la grande alose. Un jeu de données de température de l'eau, couvrant l'ensemble de la période étudiée, fourni par EDF, était disponible pour la station d'Avoine dans le département de l'Indre-et-Loire, en Loire moyenne.

Les données de débit proviennent des relevés quotidiens de la **Banque Hydro** (<http://www.hydro.eaufrance.fr/>) pour les stations de Nevers pour l'axe Loire, St-Yorre pour l'axe l'Allier, Leugny pour l'axe la Creuse et Ingrandes pour l'axe la Vienne sur la période d'étude, de 1980 à 2020 (figure 2).

Nevers, située dans l'axe de la Loire, le bassin-versant topographique est de 17570 km², l'altitude est de 175 m, et le type d'activité principal est la station à une échelle. **St-Yorre** est située dans l'axe de l'Allier, elle n'est pas loin du point de mesure de la température de l'eau de Vichy, juste à l'amont de Vichy. Le bassin-versant topographique est de 8940 km². **Ingrandes** est située sur l'axe Vienne. Elle est située à côté du point de mesure de la température de l'eau, Châtellerault. Le bassin-versant topographique est de 10052 km², l'altitude est de 44 m. **Leugny** est située sur l'axe Creuse, le bassin-versant topographique est de 7997 km² et avec régime fortement influencé en étiage.

Les données de débits Banque Hydro sont standardisées, validées et accessibles. Afin d'assurer la complémentarité des jeux de données de température et de débit, les stations de débit ont été choisies les plus proches hydrologiquement et géographiquement des stations de mesure de température de l'eau.

Bien que j'aie réussi à collecter des données, il y a un problème de manque de données. Comme je l'ai dit au début de mon rapport, je m'intéresse aux données des 40 dernières

années de 1980 à 2020. Cependant, pour les données de température de l'eau, je manque de données pendant de nombreuses années (Tableau 1).

Tableau 1 : Eléments sur le manque de données de température de l'eau. (Les années bissextiles sont surtitrées en vert)

Group 1: 1<n<7 Bleu

Group 2: 7<n<33 Jaune

Group 3: n>33 Orange

n: La quantité de données manquantes

Date	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Vichy	Pas de données disponibles																	
Décize																		
Châtelleraut																		
Descartes																		

Date	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
Vichy	33	16	6	1	1	1	11	1	1	1	0	1	
Décize	241	291	314	313	290	312	291	291	148	263	284	140	
Châtelleraut							84	1	7	79	2	1	
Descartes	Pas de données disponibles										1	0	1

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Vichy	1	22	0	4	101	7	0	110	180	1	0
Décize	1	23	0	1	1	1	0	1	1	206	0
Châtelleraut	1	1	0	1	1	1	0	117	106	163	154
Descartes	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0

Le bleu indiqué dans le tableau indique que le nombre de données manquantes, pour cette année, est supérieur à un et inférieur ou égal à sept. Ces données manquantes sont estimées avec une relation linéaire.

Le jaune indiqué dans le tableau indique que le nombre de données manquantes consécutives est supérieur à 7 et inférieur ou égal à 33. Les données manquantes ont été calculées de la manière suivante. Un graphe de l'évolution de la température de l'eau, pour une période encadrant 30 jours avant et 30 jours après la période sans données, a été construit pour chaque année disponible. A partir de ce graphe, recherche des 2 années présentant les courbes les plus proches de celle de l'année avec données manquantes. Calcul des données manquantes par la régression obtenue entre ces deux années d'une part et l'année avec données manquantes.

L'orange affiché dans le tableau indique qu'il y a plus de 33 données manquantes consécutives cette année. Ces données manquantes sont estimées par méthode de la régression linéaire après avoir vérifié que le coefficient de détermination (r^2) entre les valeurs de température de l'eau de la station d'Avoine et des autres stations est >0.95 (Vichy $r^2=0.9616$, Décize $r^2=0.9602$, Châtelleraut $r^2=0.9672$ et Descartes $r^2=0.9816$).

Mais voici un rappel important que certaines des années enregistrées sont des années bissextiles, nous avons donc unifié la norme de 366 jours pour enregistrer les données. Par conséquent, dans le tableau 1, le nombre de données manquantes de 1 est normal lorsqu'il ne s'agit pas d'une année bissextile.

2.2 Choix des variables

Trois types d'activités du poisson tout au long de son séjour en eau douce ont été retenues parce que les plus importants pour les poissons. C'est aussi le cœur de cette recherche.

Période 1 : la période où la température de l'eau est comprise entre 10,5°C -18°C

Période 2 : la période de croissance des juvéniles où la température de l'eau est comprise entre 18°C -22°C

Période 3 : la période de migration d'avalaison des juvéniles comprise entre 22°C -27°C

Comme je l'ai mentionné ci-dessus, la migration des poissons est directement liée à la température. Il y aura un seuil pour leur migration et leur reproduction. Trouver ces seuils est donc important pour la recherche. Boisneau et al, 2011 ont indiqué : Le nombre de jours et le numéro du jour quand le seuil de 10°C est dépassé, ce seuil est retenu comme seuil d'activité des poissons. Un printemps tardif, se traduisant par un petit nombre de jours où la température est supérieure à 10°C est supposé retarder la montée des géniteurs. Ils ont également indiqué la durée et le nombre de degrés-jours (°J) de la période de montaison des géniteurs. Celle-ci est bornée par les seuils 10°C et 18°C, pour la période 1 (Période de montaison). Si le seuil 18°C n'est pas atteint dans la période 1, le jour de la période 2 (Période de reproduction) où il est dépassé sera considéré.

Je choisis :

- Seuil déplacement des adultes en eau douce (Boisneau et al, 2000) : **10.5 °C**
- Seuil éclosion + arrêt (qui peut être temporaire) (Boisneau, 2015) : **18°C**
- seuil de basse de survie de juvéniles (Bauman,2020) : **22°C**
- Seuil de le taux de survie des embryons est nul (Bauman,2020): **27°C**

Afin de répondre à la question que j'ai posée sur le rapport sur l'impact des changements de température causés par le changement climatique sur la migration des poissons, il est nécessaire de trouver la date à laquelle le seuil apparaît. Au fur et à mesure que l'année augmente, ces changements de date seuil montreront que les changements de température causés par le changement climatique ont avancé ou prolongé la date à laquelle le poisson devrait migrer. Les poissons adaptent leur activité à la température de l'eau, aussi j'ai cherché si le nombre de degré jour entre les deux seuils était modifié au fil du temps.(Tableau 2)

Tableau 2 : Synthèse de variables thermiques et hydrologiques

Paramètre	Variable	Pourquoi
Hydrologique	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Débit moyen annuel ➤ Débit moyen pendant la période où la température de l'eau est comprise entre 10,5°C -18°C ➤ Débit moyen pendant la période de croissance des juvéniles où la température de l'eau est comprise entre 18°C -22°C ➤ Débit moyen pendant la période de migration d'avalaison des juvéniles comprise entre 22°C -27°C ➤ Rapport des débits moyens journaliers de l'année i sur le débit moyen journalier d'interannuelle par chaque période 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Observer l'évolution des débits annuels et par chaque période. ➤ Les déplacements des adultes des cours d'eau sont en parties fonction du débit. ➤ La reproduction et partiellement conditionnée au débit ➤ La croissance des juvéniles et leur migration d'avalaison leur partiellement liés au débit. ➤ Ceci permet d'évaluer la variabilité interannuelle et d'identifier des séquences interannuelles chaudes ou froides.
Thermique	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Temp moyenne annuelle (TMA, °C) ➤ Seuil 10.5 °C (Numéro du jour, NJ10.5°C) ➤ Seuil 18 °C (Numéro du jour, NJ18°C) ➤ Seuil 22 °C (Numéro du jour, NJ 22°C) ➤ Seuil 27 °C (Numéro du jour, NJ 27°C) ➤ °J entre 10.5 °C et 18°C ➤ °J entre 18 °C et 22°C ➤ °J entre 22 °C et 27°C 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Observer la tendance annuelle de la température ➤ Observer l'évolution des différents seuils de température ➤ Pour obtenir la tendance de changement du temps de migration (le temps de migration est raccourci ou plus long). ➤ Observer l'évolution de la quantité de chaleurs entre deux seuils

2.3 Traitement de variables thermiques et hydrologiques

L'évolution interannuelle des variables a ensuite été analysée à l'aide d'outils d'analyse de séries chronologiques. Dans un premier temps des tests de Mann-Kendall ont été réalisés, à l'aide de XLSTAT (XLSTAT 2020.5.1). Le test de **Mann-Kendall** est un test, non paramétrique, de tendance linéaire spécifique aux séries chronologiques. Les deux hypothèses posées sont : l'hypothèse nulle H0, il n'y a pas de tendance dans la série ; et l'hypothèse alternative H1, il y a une tendance dans la série. Le seuil alpha a été fixé à 5%. Dans un second temps des tests de Pettitt ont été réalisés, à l'aide de XLSTAT (XLSTAT 2020.5.1). Le **test de Pettitt** est un test, non paramétrique, d'homogénéité spécifique aux séries chronologiques. Deux hypothèses sont posées : l'hypothèse nulle H0, les données sont homogènes ; et l'hypothèse alternative H1, il y a une date à partir de laquelle il y a un changement dans les données. Le seuil est également fixé à 5%. Ces deux tests doivent être réalisés sur des séries chronologiques d'au moins 30ans, sans lacune, pour qu'ils soient significatifs (Fiche n°23 OTHU).

3. Résultat

A en juger par les résultats calculés par XLSTAT : (Tableau 3)

La température moyenne annuelle des quatre stations de suivi hydrologique montre toutes une tendance (si la valeur P est inférieure à 0,05, on peut juger que cet ensemble de données a une tendance.) Selon Le test de Pettitt, on peut observer que ces quatre stations sont aussi en 1993 L'année bat. Autrement dit, la date de rupture est 1993.

Quant à la régularité de 10,5°C, tous les sites sauf Vichy ont montré une tendance au changement ($P < 0,05$) Cependant, la date de rupture n'est apparue que dans deux sites, Décize et Descartes, en 2006 et 2001 respectivement.

Quant à 18°C, les quatre stations ont montré un changement de tendance, mais selon Le test de Pettitt, les trois stations sauf Décize ont eu une année où le changement était évident. Ce sont 1993, 1994, 1994.

Quant à la tendance de changement de 22°C, tous sauf Décize ont une tendance, ce qui signifie qu'elle répond à notre hypothèse H1. De même, à l'exception de Décize, toutes les autres stations ont une date de rupture.

Quant à 27°C, pendant tout le processus de calcul et d'observation, on constate que 27°C n'apparaît pas toutes les années, au contraire, 27°C apparaît en continu de 2017 à 2020. Cela montre aussi que le changement climatique a changé ces dernières années, c'est assez grave.

Tableau 3 : Le test de Mann-Kendall et Le test de Pettitt sur paramètre de thermique.

Vichy			Décize		
Variable	Tendance(P-value)	Date de rupture	Variable	Tendance(P-value)	Date de rupture
TMA	<0.0001	Oui;1993, P=0.0012	TMA	<0.0001	Oui;1993, P=0.002
NJ10.5°C	0.173	Non; P=0.8552	NJ10.5°C	0.000	Oui;2006, P=0.01
NJ18°C	0.027	Oui;1993, P=0.02	NJ18°C	0.036	Non; P=0.171
Nombre jours 10.5-18°C	0.071	Non; P=0.110	Nombre jours 10.5-18	0.843	Non; P=0.618
°J 10.5-18	0.166	Non; P=0.618	°J 10.5-18	0.771	Non; P=0.120
NJ 22°C	0.009	Oui; 1995, P=0.006	NJ 22°C	0.118	Non; P=0.495
Nombre jours 18-22°C	0.103	Non; P=0.172	Nombre jours 18-22°C	0.270	Non; P=0.691
°J 18-22	0.289	Non; P=0.520	°J 18-22	0.289	Non; P=0.521
NJ 27°C	1.000	Non; P=0.137	NJ 27°C	0.098	Non; P=0.446
Nombre jour 22-27°C	0.602	Non; P=0.634	Nombre jour 22-27°C	0.537	Non; P=0.525
°J 22-27	0.602	Non; P=0.137	°J 22-27	0.820	Non; P=0.560

Châtellerault

Variable	Tendance(P-value)	Date de rupture
TMA	<0.0001	Oui; 1993, P=0.002
NJ10.5°C	0.025	Non; P=0.081
NJ18°C	0.006	Oui; 1994, P=0.003
Nombre jours 10.5-18°C	0.521	Non; P=0.643
°J 10.5-18	0.651	Non; P=0.399
NJ 22°C	0.013	Oui; 1995, P=0.017
Nombre jours 18-22°C	0.148	Non; P=0.096
°J 18-22	0.166	Non; P=0.137
NJ 27°C	0.118	Non; P=0.307
Nombre jour 22-27°C	0.348	Non; P=0.601
°J 22-27	0.754	Non; P=0.965

Descartes

Variable	Tendance(P-value)	Date de rupture
TMA	<0.0001	Oui; 1993, P=0.001
NJ10.5°C	0.006	Oui; 2001, P=0.046
NJ18°C	0.002	Oui; 1994, P=0.0004
Nombre jours 10.5-18°C	0.477	Non; P=0.301
°J 10.5-18	0.279	Non; P=0.222
NJ 22°C	0.035	Oui; 1995, P=0.029
Nombre jours 18-22°C	0.006	Oui; 2005, P=0.021
°J 18-22	0.019	Non; P=0.055
NJ 27°C	0.133	Non; P=0.191
Nombre jour 22-27°C	0.072	Oui; 2003, P< 0.0001
°J 22-27	1.000	Non; P=0.993

Pour les changements de tendance des paramètres hydrologiques : (Tableau 4)

Il est évident que les moyennes annuelles des quatre stations de mesure de débit montrent toutes qu'il existe une tendance dans l'évolution du débit moyen des quatre stations au cours des 40 dernières années. Bien que la date de rupture ne puisse être obtenue à partir de toutes, Ingrandes et Leugny peuvent être obtenus la date de rupture. Il y a une date à partir de laquelle il y a un changement dans les données. Ils sont également en 2001. Mais aucune des autres variables n'indique un changement de tendance ou un changement d'année évident transitoire.

Tableau 4 : Le test de Mann-Kendall et Le test de Pettitt sur paramètre d'hydrologique.

Nevers

Variable	Tendance(P-value)	Date de rupture
moyen annuel	0.035	Non; P=0.243
moyen-période 1	0.139	Non; P=0.486
moyen-période 2	0.825	Non; P=0.728
moyen-période 3	0.075	Non; P=0.326
Rapport de moyen période 1/interannuel	0.139	Non; P=0.488
R-période 2	0.825	Non; P=0.726
R-période 3	0.075	Non; P=0.330

Ingrandes

Variable	Tendance(P-value)	Date de rupture
moyen annuel	0.012	Oui; 2001, P=0.034
moyen-période 1	0.421	Non; P=0.984
moyen-période 2	0.718	Non; P=0.214
moyen-période 3	0.068	Non; P=0.166
Rapport de moyen période 1/interannuel	0.421	Non; P=0.984
R-période 2	0.718	Non; P=0.209
R-période 3	0.068	Non; P=0.159

Saint-Yorre

Variable	Tendance(P-value)	Date de rupture
moyen annuel	0.015	Non; P=0.309
moyen-période 1	0.159	Non; P=0.828
moyen-période 2	0.268	Non; P=0.986
moyen-période 3	1.000	Non; P=0.620
Rapport de moyen période 1/interannuel	0.159	Non; P=0.840
R-période 2	0.268	Non; P=0.993
R-période 3	0.001	Oui; 2002, P=0.032

Leugny

Variable	Tendance(P-value)	Date de rupture
moyen annuel	0.012	Oui;2001, P=0.035
moyen-période 1	0.522	Non; P=0.765
moyen-période 2	0.537	Non; P=0.575
moyen-période 3	0.548	Non; P=0.998
Rapport de moyen période 1/interannuel	0.522	Non; P=0.773
R-période 2	0.537	Non; P=0.580
R-période 3	0.069	Non; P=0.174

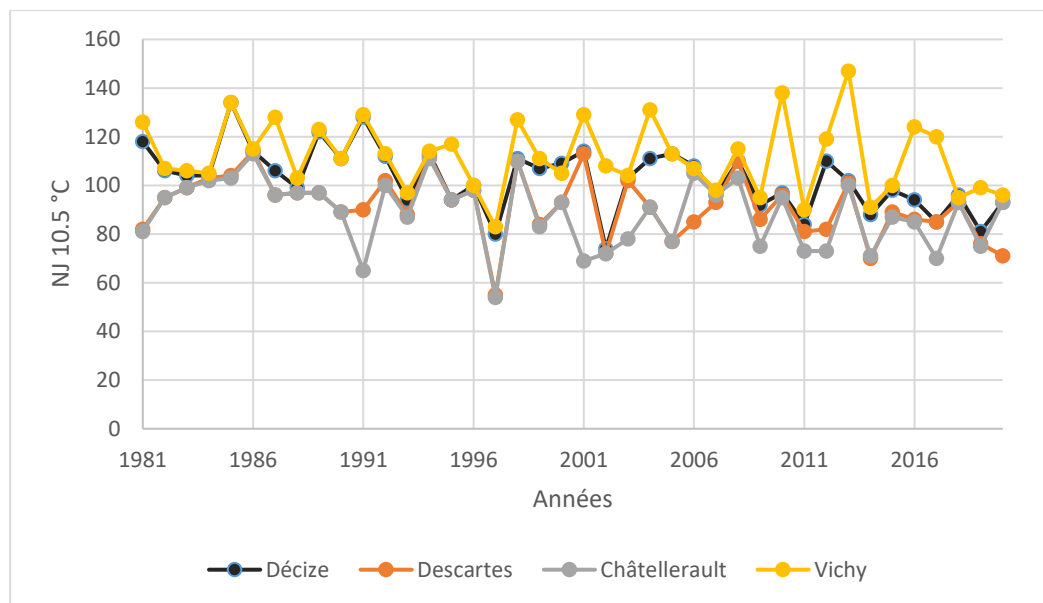


Figure 3 : Le numéro du jour de seuil 10.5 °C apparaît (Numéro du jour, NJ10.5°C) en chaque station.

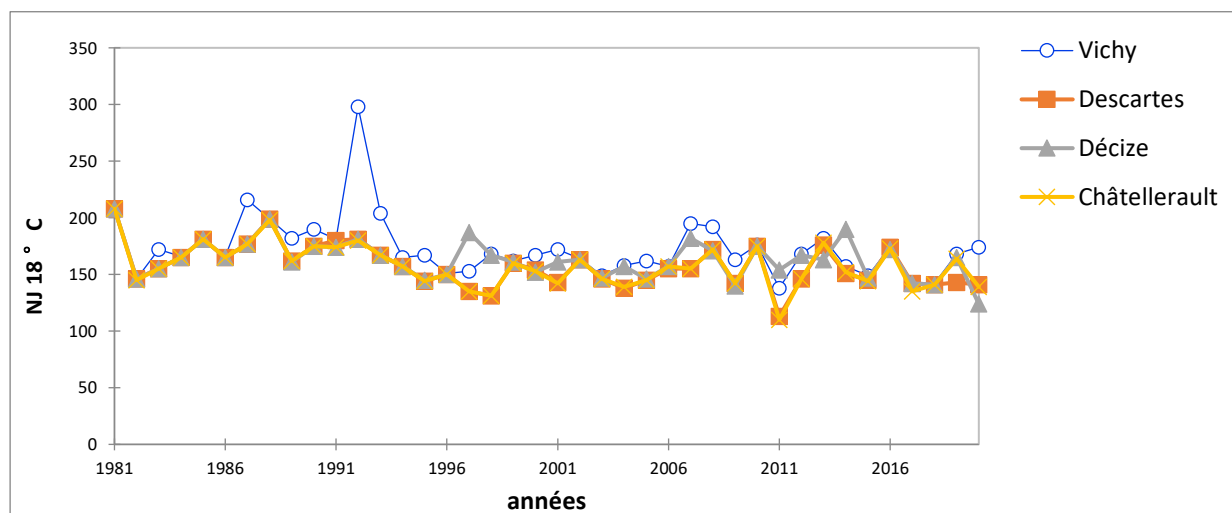


Figure 4: Le numéro du jour de seuil 18 °C apparaît (Numéro du jour, NJ18°C) en chaque station.

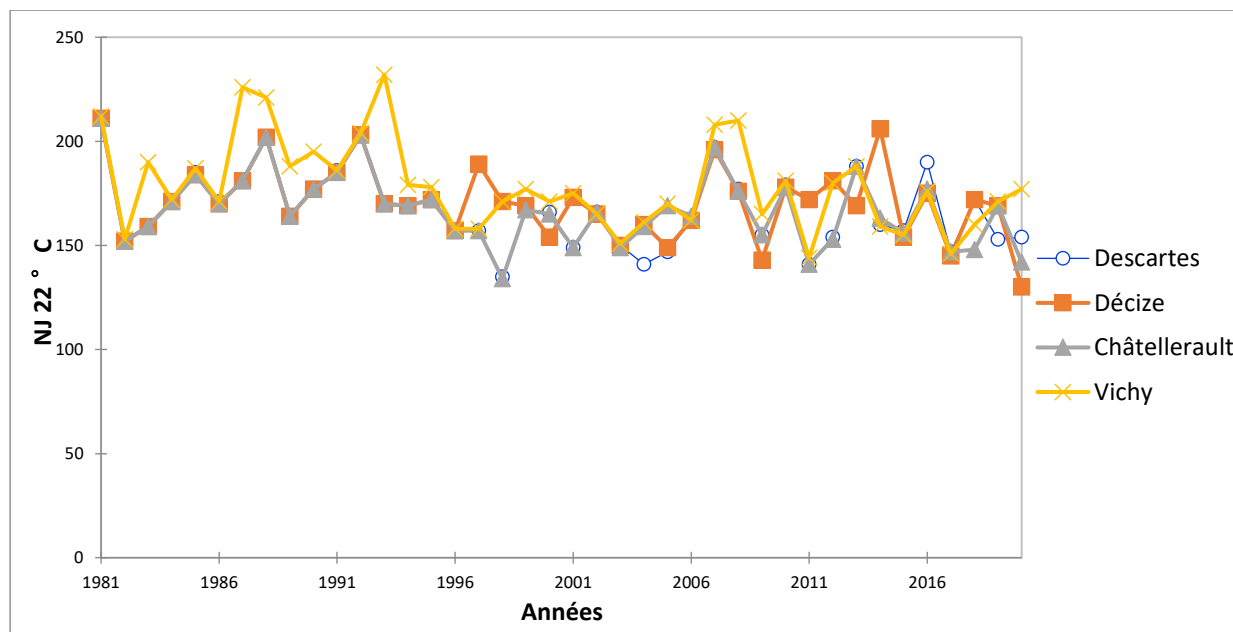


Figure 5 : Le numéro du jour de seuil 22 °C apparaît (Numéro du jour, NJ22°C) en chaque station.

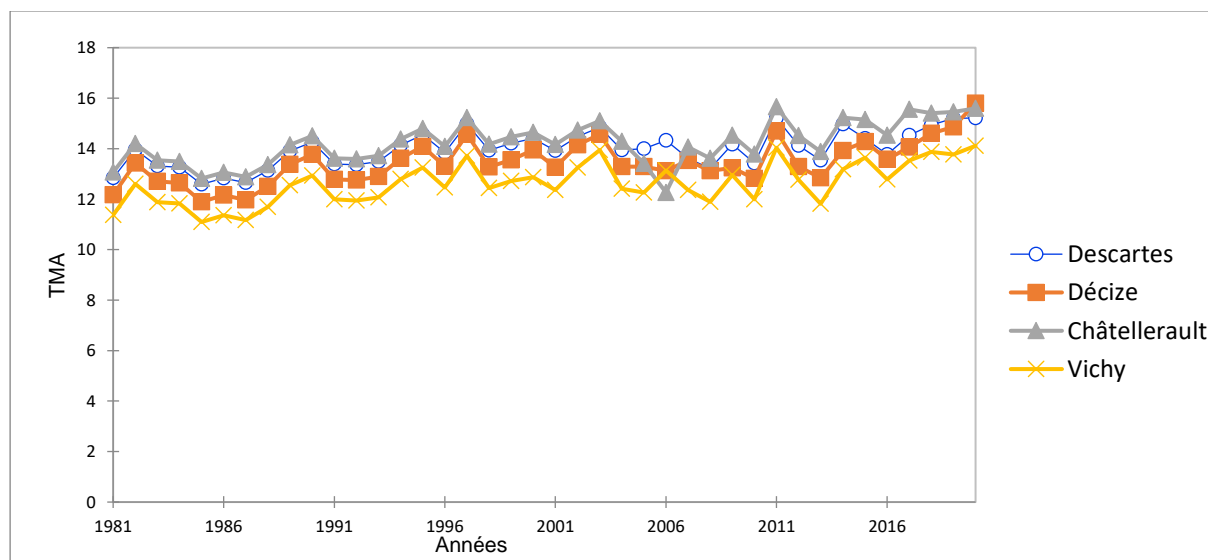


Figure 6: Le temp moyenne annuelle (TMA, °C) sur chaque station

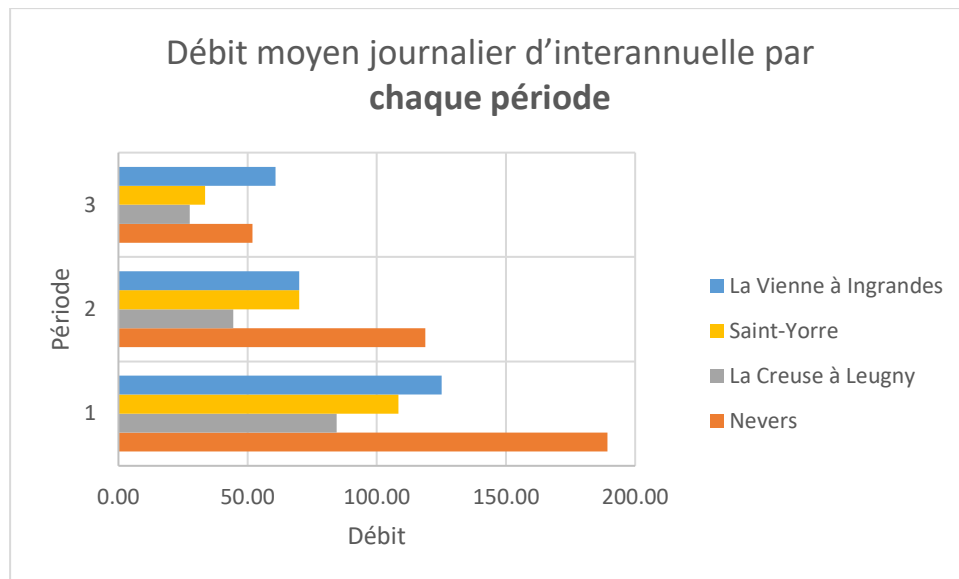


Figure 7: Le débits moyen journalier d'interannuelle par chaque station

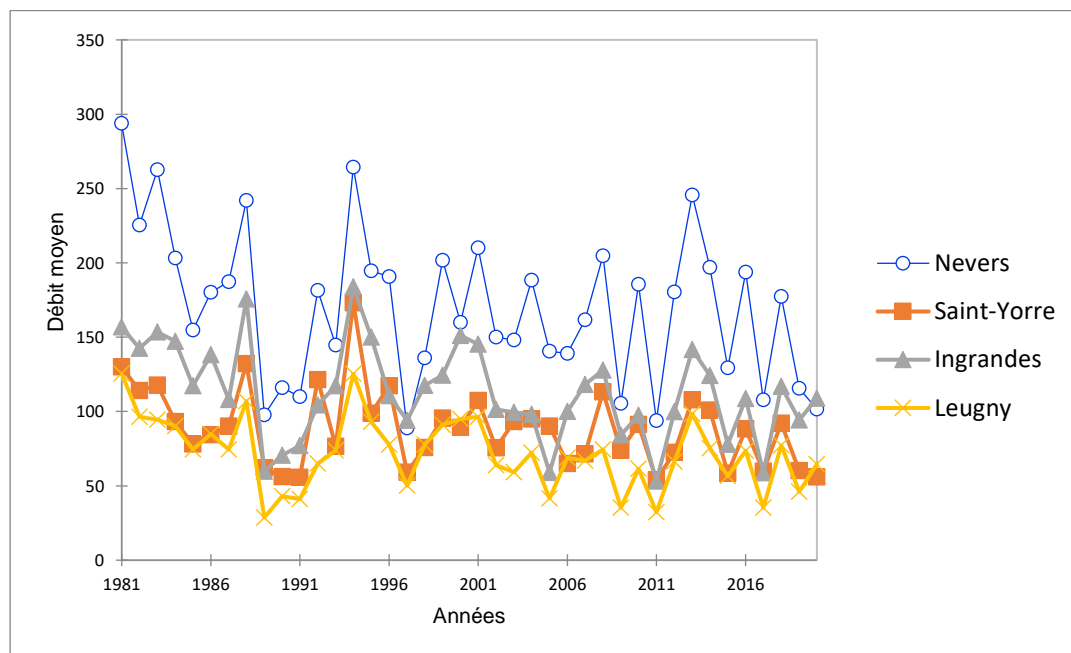


Figure 8: Le débits moyen annuel par chaque station

4. Conclusion

Dans cette étude, la recherche principale est d'étudier l'évolution interannuelle des variables thermiques et hydrologiques liées à la phase d'eau douce d'Alosa alosa L. Les principales méthodes utilisées sont de reconstruire les données manquantes et d'utiliser XLSTAT pour

calculer les changements de tendance de chaque variable et la date de rupture. À en juger par les tableaux et diagrammes ci-dessus :

En ce qui concerne les variables du paramètre de thermique, certaines variables ont un effet positif et d'autres sont négatifs. Cependant, on peut clairement juger que le changement de température signifie que l'augmentation de la température a été particulièrement grave ces dernières années. Cela conduit également clairement à l'avancement du seuil qui affecte les activités de vie des poissons.

Quant aux changements hydrologiques, le débit d'eau moyen annuel a une tendance à la baisse par rapport aux 24 années précédentes. Chaque point crucial qui apparaît tombe.

Pour Le débits moyen journalier d'interannuelle par chaque station ,selon les trois périodes spéciales de poissons, il est dans une tendance à la baisse progressive selon les trois périodes. (Période 1> période 2> période 3) Mais il n'y a pas de tendances particulières pour les autres variables hydrologiques.

Bref, ces résultats ont vérifié mon hypothèse précédente. Si l'impact de l'hydrologie sur le cycle de vie de Grande Alose n'est pas évident, l'impact de thermique est évident.

Bibliographie

Jatteau, P., Drouineau, H., Charles, K., Carry, L., Lange, F., Lambert, P. (2017). Thermal tolerance of Allis shad (*Alosa alosa*) embryos and larvae: Modeling and potential applications, Aquatic Living Resources, 30, DOI: 10.1051/alr/2016033.

Sandre, « Fiche cours d'eau - La Creuse (L---0070) » [archive] (consulté le 4 mai 2020)

Catherine Boisneau, Brigitte Ruaux, Philippe Boisneau. Reconstitution des cohortes de grande alose (*Alosa alosa* L.) en Loire de 1980 à 2005, liens entre indice d'abondance et facteurs environnementaux. 2011. fhalshs-01015461f

Catherine Boisneau, 2015. ALOSA 2014, SUIVI DES ALOSES EN LOIRE. Rapport de l'université de Tours, 25 p. Université de Tours / Région Centre; CITERES. 2015. DOI: ALOSA-2014.pdf (migrateurs-loire.fr)

Moatar F, Gailhard J, 2006. Water temperature behavior in the River Loire since 1976 and 1881. C. R. Geoscience, 338: 319–328.

Boisneau C, Moatar F, Bodin M, Boisneau Ph, 2008. Does global warming impact on migration patterns and recruitment of Allis shad (*Alosa alosa* L.) young of the year in the Loire River, France ? Hydrobiologia, 602, 179-186.

Boisneau C. 2011. Evolution interannuelle des peuplements piscicoles et analyses au regard de variables thermiques, hydrologiques et relatives aux invertébrés benthiques In Impact hydro écologique du CNPE de Chinon sur les eaux de la Loire période 1991- 2010. Rapport Univ Tours-EDF, 111p.

Mennesson C., M.R. Sabatie, M.W. Aprahamian. 2000a. Caractéristiques des adultes. In Biologie, écologie et exploitation des aloses (*Alosa* sp.) de l'Atlantique Est et de la Méditerranée occidentale. Ed. INRA, CEMAGREF, 33-55.

Philippe Jatteau, Hilaire Drouineau, Katia Charles, Laurent Carry, Frédéric Lange, Patrick Lambert. Thermal tolerance of allis shad (*Alosa alosa*) embryos and larvae: Modeling and potential applications. Aquat Living Resour. 30 2 (2017), DOI: 10.1051/alr/2016033.

Loïc Baumann, Joanna Vega, Joris Philip, Fabien Polese, Fabrice Vétillard, Maud Pierre, Romaric Le Barh, Philippe Jatteau, Agnès Bardonnet, Marie-Laure Acolas. Tolerance of young allis shad *Alosa alosa* (Clupeidae) to oxy-thermic stress. INRAE, 25 9 (2020), DOI: 10.1111/jfb.14562.

Annexes

Annexe 1 : Débit moyen annuel , débit moyen de chaque période, débit moyen interannuel de chaque période et rapport des débits moyens journaliers de l'année i sur le débit moyen journalier d'interannuelle par chaque période sur la station de **Nevers**

année	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
moyen annuel	250.9	293.8	225.3	262.7	203.1	154.7	180.1	187.3	242.0	97.8	116.0
période 1	166.23	226.33	86.24	872.16	175.01	268.93	425.61	192.00	263.84	143.14	94.21
période 2	97.17	66.83	42.72	235.50	172.67	99.67	100.90	215.50	65.50	60.25	115.50
période 3	0.00	0.00	0.00	88.51	0.00	0.00	72.05	0.00	0.00	0.00	84.18

1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
116.0	110.0	181.5	144.7	264.5	194.7	190.8	88.8	136.1	201.8	159.9
94.21	49.72	162.50	112.21	235.68	186.24	150.33	45.54	263.83	200.45	128.69
115.50	38.41	139.61	84.83	118.08	115.54	192.29	67.25	69.73	83.25	63.35
84.18	0.00	0.00	0.00	0.00	58.06	0.00	37.20	0.00	0.00	0.00

2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
210.1	150.1	148.1	188.3	140.6	139.0	161.8	204.7	105.4	185.5
381.96	70.78	50.71	148.38	244.34	123.16	117.35	248.77	117.90	147.95
99.80	84.00	36.33	59.07	150.33	44.48	187.30	219.40	70.93	155.67
63.21	45.06	30.86	32.13	54.75	32.76	0.00	0.00	56.00	0.00

2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
93.8	180.3	245.6	197.1	129.3	193.8	107.8	177.4	115.5	101.6
67.32	261.54	483.13	58.76	177.35	323.39	138.53	146.02	73.28	46.27
30.09	136.50	168.33	118.34	52.73	208.00	120.37	185.77	32.98	110.05
31.79	0.00	79.47	0.00	53.24	0.00	63.09	53.78	50.63	68.56

interannuel	période 1	période 2	période 3
	189.26	118.77	51.89

Rapport	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
période 1	0.88	1.20	0.46	4.61	0.92	1.42	2.25	1.01	1.39	0.76	0.50
période 2	0.82	0.56	0.36	1.98	1.45	0.84	0.85	1.81	0.55	0.51	0.97
période 3	0.00	0.00	0.00	1.71	0.00	0.00	1.39	0.00	0.00	0.00	1.62

1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0.26	0.86	0.59	1.25	0.98	0.79	0.24	1.39	1.06	0.68
0.32	1.18	0.71	0.99	0.97	1.62	0.57	0.59	0.70	0.53
0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	0.00	0.72	0.00	0.00	0.00

2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
2.02	0.37	0.27	0.78	1.29	0.65	0.62	1.31	0.62	0.78
0.84	0.71	0.31	0.50	1.27	0.37	1.58	1.85	0.60	1.31
1.22	0.87	0.59	0.62	1.06	0.63	0.00	0.00	1.08	0.00

2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0.36	1.38	2.55	0.31	0.94	1.71	0.73	0.77	0.39	0.24
0.25	1.15	1.42	1.00	0.44	1.75	1.01	1.56	0.28	0.93
0.61	0.00	1.53	0.00	1.03	0.00	1.22	1.04	0.98	1.32

Annexe 2 : Débit moyen annuel , débit moyen de chaque période, débit moyen interannuel de chaque période et rapport des débits moyens journaliers de l'année i sur le débit moyen journalier d'interannuelle par chaque période sur la station de **La Creuse à Leugny**

année	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
période 1	43.26	136.07	63.44	240.85	62.23	131.48	143.66	67.93	92.90	63.65	42.33
période 2	35.83	37.63	26.57	83.43	82.48	38.78	39.28	54.35	52.40	30.25	22.95
période 3											
moyen	82.61	125.56	96.35	94.56	90.23	74.48	84.76	74.47	107.09	28.71	43.12

1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
27.55	46.05	63.69	111.41	75.48	45.04	50.96	227.57	72.34	142.62
13.62	43.88	106.60	68.59	36.12	42.31	41.55	84.88	32.56	62.28
						37.52	35.39		
41.19	64.90	73.88	125.28	92.92	77.73	50.09	77.60	91.13	94.91

2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
272.27	75.30	59.87	83.71	73.25	89.03	30.24	149.30	62.77	68.94
89.52	44.70	36.60	44.80	36.15	22.41	40.36	34.90	41.91	73.40
		26.41			18.02				
96.40	63.85	59.18	72.22	41.43	68.78	67.00	74.54	35.31	61.55

2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
31.03	87.81	130.66	57.91	74.46	131.08	42.45	88.28	28.50	77.96
16.63	62.03	40.54	39.57	28.54	51.76	44.12	70.21	24.64	31.53
						38.28	19.39	29.57	
32.17	66.24	98.44	75.34	56.66	73.54	35.20	77.23	45.98	64.58

interannuel	période 1	période 2	période 3
	84.50	44.49	27.59

Rapport	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
période 1	0.51	1.61	0.75	2.85	0.74	1.56	1.70	0.80	1.10	0.75	0.50
période 2	0.81	0.85	0.60	1.87	1.85	0.87	0.88	1.22	1.18	0.68	0.52
période 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0.33	0.55	0.75	1.32	0.89	0.53	0.60	2.69	0.86	1.69
0.31	0.99	2.40	1.54	0.81	0.95	0.93	1.91	0.73	1.40
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.36	1.28	0.00	0.00

2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
3.22	0.89	0.71	0.99	0.87	1.05	0.36	1.77	0.74	0.82
2.01	1.00	0.82	1.01	0.81	0.50	0.91	0.78	0.94	1.65
0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00

2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0.37	1.04	1.55	0.69	0.88	1.55	0.50	1.04	0.34	0.92
0.37	1.39	0.91	0.89	0.64	1.16	0.99	1.58	0.55	0.71
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.39	0.70	1.07	0.00

Annexe 3 : Débit moyen annuel , débit moyen de chaque période, débit moyen interannuel de chaque période et rapport des débits moyens journaliers de l'année i sur le débit moyen journalier d'interannuelle par chaque période sur la station de Saint-Yorre

année	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
période 1	90.35	125.68	54.71	320.23	110.31	135.03	202.81	83.15	167.32	78.59	73.08
période 2	40.90	48.40	33.73	61.45	97.67	56.92	69.80	27.24	38.96	25.05	39.28
période 3											
moyen	131.91	130.02	114.04	117.67	93.23	78.04	84.32	90.28	132.27	61.90	56.27

1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
36.41	196.87	91.75	148.80	93.27	107.78	33.09	87.70	126.32	91.71
20.88	97.92	26.07	49.09	49.24	103.66	37.52	46.33	38.61	79.88
						32.08			
55.66	121.47	76.53	173.07	98.87	117.42	59.26	75.82	95.67	89.43

2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
156.62	42.54	42.54	75.90	126.20	72.29	74.89	190.38	106.14	102.12
52.17	19.80	36.00	41.63	58.19	26.66	64.15	44.72	53.40	81.64
		29.92			25.79				
107.37	75.53	93.16	94.96	90.23	65.07	71.45	113.32	74.04	91.20

2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
51.12	162.51	118.86	58.10	63.50	151.86	80.40	112.87	48.09	74.06
24.57	142.96	50.05	35.35	29.87	75.30	68.25	163.83	40.13	85.97
24.04				30.93		48.12	82.90	24.90	27.31
53.95	72.46	107.76	101.00	58.60	88.30	59.85	92.09	60.25	55.95

interannuel	période 1	période 2	période 3
	108.31	69.96	33.57

Rapport	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
période 1	0.83	1.16	0.51	2.96	1.02	1.25	1.87	0.77	1.54	0.73	0.67
période 2	0.58	0.69	0.48	0.88	1.40	0.81	1.00	0.39	0.56	0.36	0.56
période 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0.34	1.82	0.85	1.37	0.86	1.00	0.31	0.81	1.17	0.85
0.30	1.40	0.37	0.70	0.70	1.48	0.54	0.66	0.55	1.14
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00

2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1.45	0.39	0.39	0.70	1.17	0.67	0.69	1.76	0.98	0.94
0.75	0.28	0.51	0.60	0.83	0.38	0.92	0.64	0.76	1.17
0.00	0.00	0.89	0.00	0.00	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00
2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0.47	1.50	1.10	0.54	0.59	1.40	0.74	1.04	0.44	0.68
0.35	2.04	0.72	0.51	0.43	1.08	0.98	2.34	0.57	1.23
0.72	0.00	0.00	0.00	0.92	0.00	1.43	2.47	0.74	0.81

Annexe 4 : Débit moyen annuel , débit moyen de chaque période, débit moyen interannuel de chaque période et rapport des débits moyens journaliers de l'année i sur le débit moyen journalier d'interannuelle par chaque période sur la station de **La Vienne à Ingrandes**

année	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
période 1	74.33	148.66	86.68	356.43	99.64	181.52	216.11	95.55	176.58	123.64	65.69
période 2	60.96	78.83	62.59	180.00	98.10	80.27	85.74	74.93	84.70	55.10	44.65
période 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
moyen	122.06	157.00	142.60	153.58	147.29	117.34	138.19	108.04	175.65	59.72	70.69
1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000		
74.30	84.08	95.29	154.46	123.10	69.88	99.16	266.38	124.52	185.67		
31.93	63.39	146.33	99.90	67.61	55.94	76.71	131.00	58.86	92.67		
0.00	0.00	0.00	0.00	41.67	0.00	74.44	58.04	0.00	0.00		
77.05	104.38	117.25	183.76	149.95	110.68	93.99	117.55	124.43	151.07		
2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010		
298.95	103.70	81.83	109.61	102.33	71.61	75.05	198.30	101.21	103.47		
136.43	103.07	45.60	57.49	31.96	22.03	104.32	91.68	74.65	97.67		
91.43	0.00	56.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
145.22	101.45	99.40	98.13	59.00	100.11	118.15	127.87	84.26	97.40		
2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
51.45	121.62	171.79	113.69	113.70	147.39	84.03	131.29	66.43	104.42		
30.84	98.41	82.07	74.75	48.23	112.70	85.64	76.83	80.76	71.83		
0.00	0.00	0.00	0.00	45.78	0.00	36.37	70.04	67.13	0.00		
53.08	99.80	141.54	124.11	77.89	108.77	58.77	116.98	94.26	108.92		

interannuelle période 1 période 2 période 3
125.08 69.97 60.82

Rapport	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
période 1	0.59	1.19	0.69	2.85	0.80	1.45	1.73	0.76	1.41	0.99	0.53
période 2	0.87	1.13	0.89	2.57	1.40	1.15	1.23	1.07	1.21	0.79	0.64
période 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000		
0.59	0.67	0.76	1.23	0.98	0.56	0.79	2.13	1.00	1.48		
0.46	0.91	2.09	1.43	0.97	0.80	1.10	1.87	0.84	1.32		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.69	0.00	1.22	0.95	0.00	0.00		
2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010		
2.39	0.83	0.65	0.88	0.82	0.57	0.60	1.59	0.81	0.83		
1.95	1.47	0.65	0.82	0.46	0.31	1.49	1.31	1.07	1.40		
1.50	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
0.41	0.97	1.37	0.91	0.91	1.18	0.67	1.05	0.53	0.83		
0.44	1.41	1.17	1.07	0.69	1.61	1.22	1.10	1.15	1.03		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00	0.60	1.15	1.10	0.00		

Annexe 5 : Synthèse de paramètre de Thermique sur station de Vichy (TMA, °C , NJ10.5°C, NJ18°C, NJ 22°C, NJ 27°C, °J entre 10.5 °C et 18°C, °J entre 18 °C et 22°C , °J entre 22 °C et 27°C)

Années	Moyen	N° jour de 10,5	N° jour de 18	Nombre jours 1	°J 10.5-18	N° jour de 22	Nombre jours 18-2	°J 18-22	N° jour de 27	Nombre jour 22-27	°J 22-27
1980	10.9	120	204	85	463.7	207	4	3.2			
1981	11.4	126	209	84	491.2	212	4	7.2			
1982	12.6	107	146	40	134.8	153	8	9.3			
1983	11.9	106	172	67	238.0	190	19	32.6			
1984	11.8	105	166	62	199.2	172	7	12.3			
1985	11.1	134	181	48	266.9	187	7	15.2			
1986	11.4	115	166	52	200.3	171	6	10.7			
1987	11.2	128	216	89	594.3	226	11	9.8			
1988	11.7	103	199	97	506.5	221	23	54.8			
1989	12.5	123	182	60	478.2	188	6	7.6			
1990	12.9	111	190	80	579.6	195	6	6.2			
1991	12.0	129	181	53	305.0	186	6	11.3			
1992	11.9	113	298	186	482.4	204	7	13.6			
1993	12.1	97	204	108	755.0	232	29	59.8			
1994	12.8	114	165	52	252.5	179	15	34.4			
1995	13.3	117	167	51	302.5	178	12	20.5			
1996	12.5	100	151	52	202.4	158	8	11.1			
1997	13.7	83	153	71	313.1	158	6	9.7	225	68	-6.1
1998	12.4	127	168	42	283.3	171	4	3.8			
1999	12.7	111	162	52	251.2	177	16	24.4			
2000	12.9	105	167	63	343.1	171	5	10.1			
2001	12.4	129	172	44	256.1	175	4	7.9			
2002	13.2	108	164	57	327.7	165	2	1.8			
2003	13.9	104	149	46	265.9	151	3	3.3	163	13	24.1
2004	12.4	131	158	28	145.7	161	4	4.5			
2005	12.3	113	162	50	282.2	170	9	13.1			
2006	13.1	107	157	51	234.5	162	6	8.3	196	35	86.0
2007	12.4	98	195	98	639.6	208	14	26.1			
2008	11.9	115	192	78	416.4	210	19	40.7			
2009	13.0	95	163	69	321.4	165	3	3.9			
2010	12.0	138	176	39	244.9	181	6	12.2			
2011	14.0	90	138	49	278.9	144	7	17.8	234	91	-46.8
2012	12.8	119	168	50	230.0	180	13	33.4			
2013	11.8	147	182	36	196.4	188	7	9.8			
2014	13.2	91	157	67	270.3	159	3	3.5			
2015	13.6	100	149	50	252.3	155	7	9.9	183	29	16.7
2016	12.8	124	174	51	216.0	176	3	4.4			
2017	13.5	120	142	23	101.8	146	5	8.3	171	26	17.1
2018	13.9	95	142	48	186.3	160	19	43.7	207	48	53.0
2019	13.8	99	168	70	318.7	171	4	7.9	179	9	13.1
2020	14.1	96	174	79	504.2	177	4	4.8	213	37	47.6

Annexe 6 : Synthèse de paramètre de Thermique sur station de Décize (TMA, °C , NJ10.5°C, NJ18°C, NJ 22°C, NJ 27°C, °J entre 10.5 °C et 18°C, °J entre 18 °C et 22°C , °J entre 22 °C et 27°C)

Années	Moyen	N° jour de 10,5	N° jour de 18	Nombre jours 10.5-18	°J 10.5-18	N° jour de 22	Nombre jours 18-22	°J 18-22	N° jour de 27	Nombre jour 22-27	°J 22-27
1980	11.7	103	204	102	561.5	207.0	4.0	6.0			
1981	12.2	118	208	91	562.4	211.0	4.0	7.2			
1982	13.4	106	146	41	168.0	152.0	7.0	9.3			
1983	12.7	104	155	52	122.9	159.0	5.0	32.6	194.0	36.0	-23.8
1984	12.6	104	165	62	243.0	171.0	7.0	12.3			
1985	11.9	134	181	48	308.7	184.0	4.0	15.2			
1986	12.2	114	165	52	236.3	170.0	6.0	10.7	180.0	11.0	14.8
1987	12.0	106	177	72	339.8	181.0	5.0	9.8			
1988	12.5	99	199	101	592.6	202.0	4.0	54.8			
1989	13.4	122	161	40	295.1	164.0	4.0	7.6			
1990	13.8	111	175	65	500.7	177.0	3.0	6.2	216.0	40.0	17.7
1991	12.8	128	174	47	292.3	185.0	12.0	11.3			
1992	12.8	112	181	70	412.1	203.0	23.0	13.6			
1993	12.9	94	167	74	461.3	170.0	4.0	59.8			
1994	13.6	113	157	45	235.0	169.0	13.0	34.4			
1995	14.1	94	145	52	207.5	172.0	28.0	20.5	191.0	20.0	37.0
1996	13.3	100	150	51	238.1	157.0	8.0	11.1			
1997	14.6	80	187	108	712.7	189.0	3.0	9.7	216.0	28.0	70.4
1998	13.3	111	167	57	358.7	171.0	5.0	3.8	223.0	53.0	32.4
1999	13.6	107	161	55	317.8	169.0	9.0	24.4			
2000	13.9	109	152	44	288.2	154.0	3.0	10.1			
2001	13.3	114	161	48	256.1	173.0	13.0	7.9	211.0	39.0	26.9
2002	14.2	74	163	90	421.2	165.0	3.0	1.8	210.0	46.0	57.1
2003	14.6	103	147	45	295.9	150.0	4.0	3.3	163.0	14.0	36.2
2004	13.3	111	157	47	244.8	160.0	4.0	4.5	214.0	55.0	24.6
2005	13.3	113	146	34	132.0	149.0	4.0	13.1	178.0	30.0	0.2
2006	13.1	108	157	50	201.6	162.0	6.0	8.3	200.0	39.0	92.6
2007	13.5	96	182	87	689.9	196.0	15.0	26.1			
2008	13.1	110	171	62	368.4	176.0	6.0	40.7			
2009	13.2	92	140	49	224.6	143.0	4.0	3.9	182.0	40.0	-6.5
2010	12.8	97	175	79	434.5	178.0	4.0	12.2			
2011	14.7	84	154	71	513.5	172.0	19.0	17.8	233.0	62.0	45.4
2012	13.3	110	167	58	255.5	181.0	15.0	33.4			
2013	12.8	102	163	62	191.6	169.0	7.0	9.8	203.0	35.0	1.7
2014	13.9	88	190	103	603.0	206.0	17.0	3.5			
2015	14.3	98	147	50	275.3	154.0	8.0	9.9	182.0	29.0	34.5
2016	13.6	94	172	79	334.1	175.0	4.0	4.4			
2017	14.1	85	142	58	208.6	145.0	4.0	8.3	171.0	27.0	39.0
2018	14.6	96	141	46	223.9	172.0	32.0	43.7	207.0	36.0	74.0
2019	14.9	81	165	85	442.8	169.0	5.0	7.9	177.0	9.0	14.7
2020	15.8	93	124	32	220.7	130.0	7.0	4.8	143.0	14.0	-3.2

Annexe 7 : Synthèse de paramètre de Thermique sur station de Châtelleraut (TMA, °C , NJ10.5°C, NJ18°C, NJ 22°C, NJ 27°C, °J entre 10.5 °C et 18°C, °J entre 18 °C et 22°C , °J entre 22 °C et 27°C)

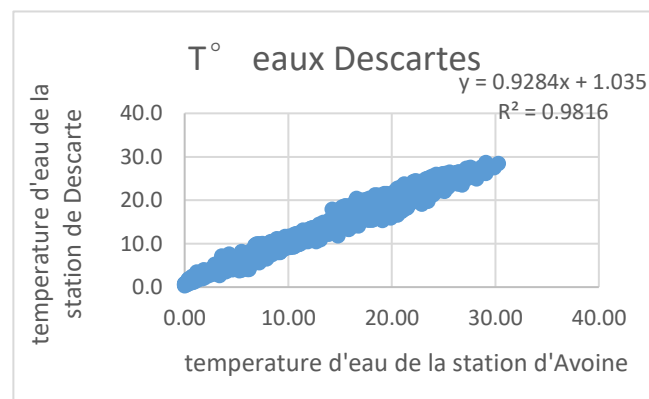
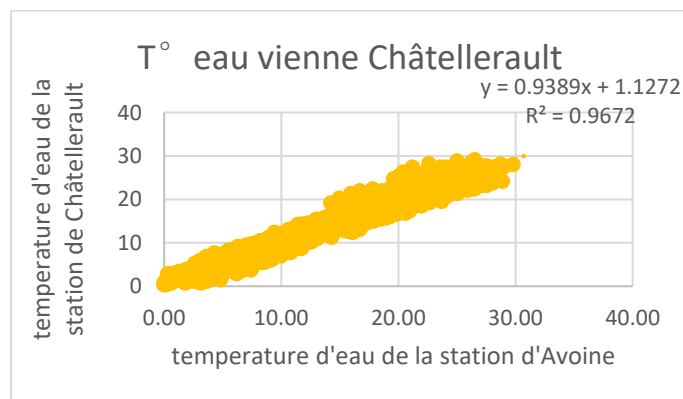
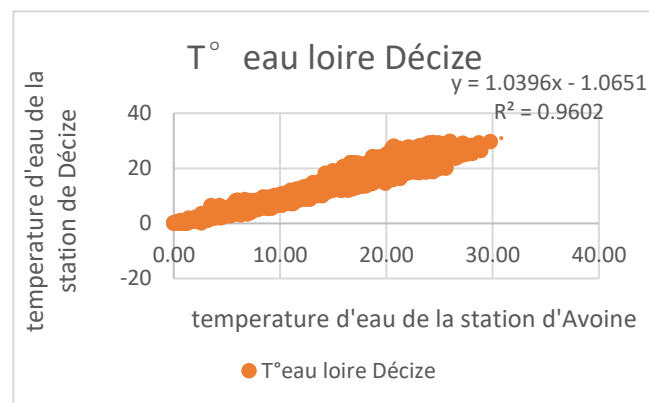
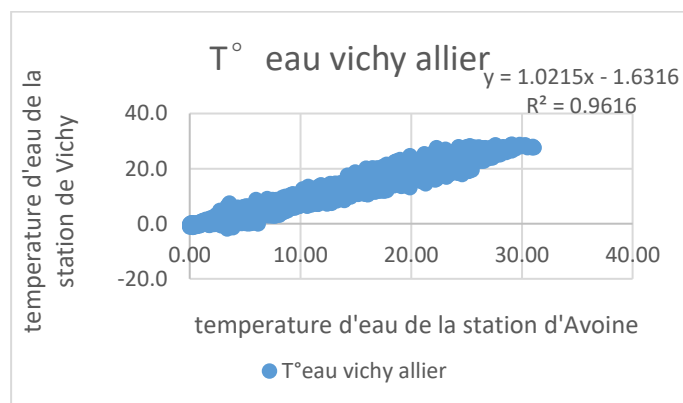
Années	Moyen	N° jour de 10,5	N° jour de 18	Nombre jours 10.5-18	°J 10.5-18	N° jour de 22	Nombre jours 18-22	°J 18-22	N° jour de 27	Nombre jour 22-27	°J 22-27
1980	12.6	102.0	198.0	97.0	567.1	207.0	10.0	9.2			
1981	13.1	81.0	208.0	128.0		211.0	4.0	5.9			
1982	14.2	95.0	145.0	51.0	203.8	152.0	8.0	12.2			
1983	13.5	99.0	155.0	57.0		159.0	5.0	9.3			
1984	13.5	102.0	165.0	64.0	284.8	171.0	7.0	14.7			
1985	12.8	103.0	181.0	79.0	400.2	184.0	4.0	7.9			
1986	13.1	113.0	165.0	53.0	267.6	170.0	6.0	12.0			
1987	12.9	96.0	177.0	82.0	385.9	181.0	5.0	4.8			
1988	13.4	97.0	198.0	102.0	634.4	202.0	5.0	6.3			
1989	14.2	97.0	162.0	66.0	349.9	164.0	3.0	4.6			
1990	14.5	89.0	175.0	87.0	554.6	177.0	3.0	5.0			
1991	13.6	65.0	174.0	110.0	429.3	185.0	12.0	20.9			
1992	13.6	100.0	180.0	81.0	446.4	203.0	24.0	37.2			
1993	13.7	87.0	167.0	81.0	502.9	170.0	4.0	5.7			
1994	14.4	111.0	157.0	47.0	259.5	169.0	13.0	15.9			
1995	14.8	94.0	144.0	51.0	233.7	172.0	29.0	37.3	191.0	20.0	32.7
1996	14.1	98.0	150.0	53.0	269.2	157.0	8.0	14.9			
1997	15.2	54.0	135.0	82.0	292.6	157.0	23.0	40.8	225.0	69.0	51.8
1998	14.2	110.0	131.0	22.0	75.6	134.0	4.0	6.0	222.0	89.0	-48.6
1999	14.5	83.0	160.0	78.0	431.4	167.0	8.0	16.2			
2000	14.6	93.0	153.0	61.0	332.6	165.0	13.0	26.8			
2001	14.2	69.0	142.0	74.0	163.6	149.0	8.0	14.5	212.0	64.0	1.0
2002	14.7	72.0	163.0	92.0	462.3	166.0	4.0	4.4			
2003	15.1	78.0	146.0	69.0	318.3	149.0	4.0	4.3	192.0	44.0	104.4
2004	14.3	91.0	139.0	49.0	136.1	159.0	21.0	37.0			
2005	13.4	77.0	145.0	69.0	263.1	169.0	25.0	62.2			
2006	12.3	105.0	157.0	53.0	234.4	164.0	8.0	11.4			
2007	14.1	96.0	155.0	60.0	420.4	197.0	43.0	75.5			
2008	13.6	103.0	172.0	70.0	366.3	176.0	5.0	8.0			
2009	14.5	75.0	142.0	68.0	236.3	155.0	14.0	28.7			
2010	13.8	95.0	175.0	81.0	463.7	178.0	4.0	5.8			
2011	15.7	73.0	110.0	38.0	139.2	141.0	32.0	55.4			
2012	14.5	73.0	146.0	74.0	254.3	153.0	8.0	18.5			
2013	13.9	100.0	178.0	79.0	391.8	188.0	11.0	12.3			
2014	15.2	71.0	152.0	82.0	331.8	163.0	12.0	20.3			
2015	15.2	87.0	144.0	58.0	296.5	156.0	13.0	16.9	184.0	29.0	21.7
2016	14.5	85.0	173.0	89.0	417.9	177.0	5.0	8.3			
2017	15.6	70.0	135.0	66.0	257.2	147.0	13.0	21.5	170.0	24.0	36.0
2018	15.4	93.0	141.0	49.0	274.0	148.0	8.0	16.3	218.0	71.0	101.5
2019	15.5	75.0	164.0	90.0	484.2	169.0	6.0	9.5	177.0	9.0	13.0
2020	15.6	93.0	139.0	47.0	309.3	142.0	4.0	6.8			

Annexe 8 : Synthèse de paramètre de Thermique sur station de Descartes (TMA, °C, NJ10.5°C, NJ18°C, NJ

22°C, NJ 27°C, °J entre 10.5 °C et 18°C, °J entre 18 °C et 22°C, °J entre 22 °C et 27°C)

Années	Moyen	N° jour de 10,5	N° jour de 18	Nombre jours 10.5-11	°J 10.5-18	N° jour de 22	Nombre jours 18-22	°J 18-22	N° jour de 27	Nombre jour 22-27	°J 22-27
1980	12.4	102.0	204.0	103.0	587.7	207.0	4.0	5.5			
1981	12.8	82.0	208.0	127.0	671.5	211.0	4.0	5.0			
1982	14.0	95.0	146.0	52.0	198.9	152.0	7.0	10.2			
1983	13.3	99.0	155.0	57.0	158.7	159.0	5.0	8.1			
1984	13.3	103.0	165.0	63.0	269.2	171.0	7.0	12.8			
1985	12.6	104.0	181.0	78.0	380.4	185.0	5.0	10.7			
1986	12.8	114.0	165.0	52.0	254.4	171.0	7.0	14.4			
1987	12.7	96.0	177.0	82.0	365.5	181.0	5.0	3.6			
1988	13.1	97.0	199.0	103.0	614.6	202.0	4.0	5.2			
1989	13.9	97.0	162.0	66.0	333.0	164.0	3.0	3.9			
1990	14.3	89.0	175.0	87.0	531.3	177.0	3.0	4.4			
1991	13.4	90.0	180.0	91.0	428.8	186.0	7.0	15.0			
1992	13.4	102.0	181.0	80.0	432.9	203.0	23.0	30.6			
1993	13.5	88.0	167.0	80.0	481.4	170.0	4.0	4.7			
1994	14.1	112.0	157.0	46.0	247.6	169.0	13.0	12.3			
1995	14.6	94.0	144.0	51.0	221.1	172.0	29.0	29.0			
1996	13.8	98.0	150.0	53.0	255.9	157.0	8.0	12.7			
1997	15.0	55.0	135.0	81.0	273.6	157.0	23.0	34.1	225.0	69.0	28.9
1998	13.9	110.0	131.0	22.0	70.6	135.0	5.0	8.8	223.0	89.0	-71.8
1999	14.2	84.0	160.0	77.0	411.4	167.0	8.0	14.0			
2000	14.4	93.0	154.0	62.0	324.1	166.0	13.0	27.2			
2001	13.9	113.0	143.0	31.0	111.2	149.0	7.0	12.4			
2002	14.5	72.0	163.0	92.0	439.0	166.0	4.0	3.5			
2003	14.9	102.0	146.0	45.0	258.6	150.0	5.0	7.2	196.0	47.0	107.8
2004	13.9	91.0	138.0	48.0	144.1	141.0	4.0	4.5			
2005	14.0	77.0	145.0	69.0	235.4	147.0	3.0	3.7			
2006	14.3	85.0	155.0	71.0	315.7	162.0	8.0	16.0	201.0	40.0	86.7
2007	13.6	93.0	155.0	63.0	390.6	197.0	43.0	57.9			
2008	13.2	110.0	172.0	63.0	340.1	177.0	6.0	11.2			
2009	14.2	86.0	142.0	57.0	215.7	155.0	14.0	23.9			
2010	13.4	96.0	175.0	80.0	443.3	179.0	5.0	7.6			
2011	15.2	81.0	113.0	33.0	132.2	141.0	29.0	43.4			
2012	14.1	82.0	146.0	65.0	224.3	154.0	9.0	21.5			
2013	13.5	101.0	176.0	76.0	337.4	188.0	13.0	15.7			
2014	15.0	70.0	151.0	82.0	340.5	160.0	10.0	8.6			
2015	14.4	89.0	145.0	57.0	267.6	157.0	13.0	12.7			
2016	13.8	86.0	174.0	89.0	354.4	190.0	17.0	31.3			
2017	14.5	85.0	142.0	58.0	254.2	147.0	6.0	8.6	172.0	26.0	17.8
2018	14.9	93.0	141.0	49.0	225.9	172.0	32.0	54.6	217.0	46.0	120.9
2019	15.2	76.0	143.0	68.0	259.8	153.0	11.0	13.2	179.0	27.0	-23.5
2020	15.2	71.0	141.0	71.0	298.8	154.0	14.0	31.8			

Annexe 9 : R²





POLYTECH[®]
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Yusufu Muhetabaer

2020-2021

Evolution interannuelle des variables thermiques et hydrologiques en lien avec la phase eau douce de la grande alose (*Alosa alosa* L.)

Résumé : In this study, the main research is to study the interannual evolution of thermal and hydrological variables linked to the freshwater phase of *Alosa alosa* L during the years 1980-2020. The main methods used are to reconstruct the missing data and to use XLSTAT to calculate the changes in trend of each variable and the rupture date.

Mots Clés : Grande alose (*Alosa alosa* L.) , Changement Climatique , Thermique , Hydrologique ,
Reconstruire

Université de TOURS UMR CITERES

33 allée Ferdinand de Lesseps

Tuteur entreprise :

Catherine Boisseau

Tuteur académique :

Stéphane Rodrigues