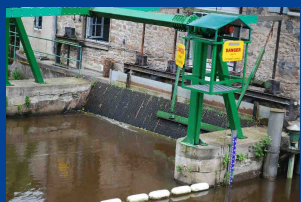
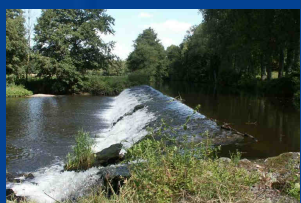
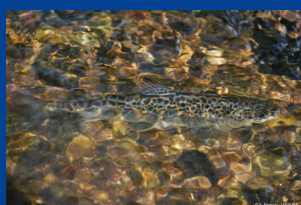
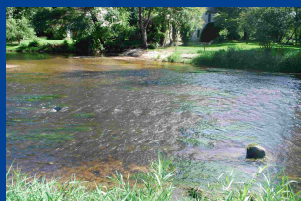




UNION EUROPÉENNE

Cette action est cofinancée par l'Union Européenne. L'Europe s'engage dans le bassin de la Loire avec le Fonds européen de développement régional.



LOGRAMI
Loire Grands Migrateurs

Etude actualisée des potentialités d'accueil de la Gartempe pour le saumon atlantique

Rapport définitif

**Audrey COSYNS, Angéline SENECAI &
Aurore BAISEZ**

Association LOGRAMI

Cellule Vienne

112 Faubourg de la Cueille
86000 POITIERS
logrami.vienne@logrami.fr

Et la participation de :

Pierre PORTAFAIX
Aurélien GUERIT
Quentin RIVARD

Remerciements pour leur contribution à :

Vincent VAUCLIN (ONEMA ; Dir 4)
Pierre STEINBACH (ONEMA ; Dir 4)
Philippe BARAN (ONEMA-Irstea-IMFT)
Peggy GOMES (ONEMA-Irstea-IMFT)
Marion HOFFMANN LEGRAND (Tableau de Bord SALT)

Juin 2013



Résumé

Après trente années d'essai de réintroduction du saumon atlantique dans la Gartempe, un état des lieux et une quantification des habitats à juvéniles de saumon ont été effectués. Les débits, températures et paramètres physico-chimiques ne montrent pas d'incompatibilité majeure dans l'ensemble, même si les températures estivales de la zone aval sont létales certaines années pour les juvéniles. Les mesures de terrain, sur 125 km du cours moyen et supérieur, ont permis de cartographier 48 ha de surface potentiellement productive et d'en estimer le taux d'ensablement. Les zones de production en tacons 0+ se situent surtout dans la partie haute, à moins de 43 km de la source. Quarante trois (43) seuils sur 117 sont des obstacles significatifs ou majeurs, dont trente empêchent l'accès aux meilleures surfaces productives (29 ha), correspondant à 74 % de la production en tacons 0+. La perte en habitats courants due à l'enneigement par les seuils est estimée à 29-35 ha. Enfin, les smolts dévalants du haut bassin ont une probabilité nulle d'éviter tout passage par les turbines des 20 microcentrales hydroélectriques. Les mortalités associées n'ont pu être calculées, faute de certaines données techniques sur ces usines.

Mots clés : saumon atlantique ; Gartempe ; surface productive ; faciès d'écoulement hydrauliques ; seuils ; dévalaison

Abstract

After thirty years of trying to reintroduce the Atlantic salmon in the Gartempe river, an inventory and a quantification of juvenile salmon habitat have been carried on. Flow rates, temperatures and physico-chemical parameters showed no major incompatibility, although, some years, summer temperatures of the lower section were above the lethal level for juveniles. Field measurements, on 125 km of the middle and upper sections have allowed us to map 48 ha of potentially productive areas and estimate the rate of silting. The habitats for 0+ parrs are mainly located in the upper part, at less than 43 km from the source. 43 out of 117 weirs have been assessed as significant or major barriers. Thirty of them prevent the access to the best productive area (29 ha), corresponding to 74% of the total 0+ parr production. Habitat loss due to the impoundment by the weirs is estimated between 29 and 35 ha. At last, the downstream migrating smolts coming from the upper zones have an almost nil probability of avoiding all the turbines of the 20 micro-hydroelectric power plants. Associated mortalities could not be calculated, due to the lack of certain technical data about these power plants.

Keywords: Atlantic salmon; Gartempe; productive area; hydraulic flow facies; thresholds; outmigration

Liste des abréviations

1HM : saumon de 1 Hiver de Mer

2HM : saumon de 2 Hivers de Mer

AELB : Agence de l'Eau Loire Bretagne

Alt. : Altitude

APN : Association de Protection de la Nature

Cemagref : institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement (aujourd'hui IRSTEA)

CL50 : Concentration Létale 50

COGEPOMI : Comité de Gestion des Poissons Migrateurs

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

DREAL : Direction Régionale de l'Equipement de l'Aménagement et du Logement

EPTB : Etablissement Public Territorial de Bassin

ERR : Equivalent Radiers Rapides

IA : Indice d'Abondance

IGN : Institut Géographique National

IMFT : Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse

LOGRAMI : Association Loire Grands Migrateurs

MEDDE : Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie

ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques

OSUR : Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes

PC : Plat Courant

PK : Point Kilométrique (par rapport à la confluence Creuse/Gartempe)

PLAGEPOMI : Plan de Gestion des Poissons Migrateurs

Q50 : Valeur de débit représentant 50 % des données

Q75 : Valeur de débit représentant 75 % des données

QJM : Débit moyen journalier

RAD : Radier

RAD/RAP : Radier/Rapide

RAP : Rapide

RCS : Réseau de Contrôle et de Surveillance

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SERR : Surface d'Equivalent Radiers Rapides

SP : Surface Productive

STRANAPOMI : Stratégie nationale pour les poissons migrateurs amphihalins

Sommaire

LISTE DES ABREVIATIONS.....	2
SOMMAIRE.....	3
1. INTRODUCTION	5
2. MATERIEL	6
2.1. ESPECE VISEE : <i>SALMO SALAR</i>	6
2.1.1. <i>Biologie de l'espèce</i>	6
2.1.2. <i>Répartition géographique et statut de conservation</i>	7
2.1.3. <i>La réglementation et les plans de gestion liés au saumon atlantique</i>	7
2.2. LA GARTEMPE.....	7
2.2.1. <i>Présentation générale du cours d'eau</i>	7
2.2.2. <i>Le saumon atlantique dans la Gartempe</i>	7
3. METHODOLOGIE.....	12
3.1. PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX : CONDITIONS DE VIE ET DE CROISSANCE DU SAUMON DANS LA GARTEMPE.....	12
3.1.1. <i>Débits</i>	12
3.1.2. <i>Température</i>	13
3.1.3. <i>Autres paramètres physico-chimiques</i>	13
3.2. CARTOGRAPHIE DES HABITATS DE CROISSANCE ET ESTIMATION DES POTENTIALITES D'ACCUEIL	15
3.2.1. <i>Cartographie des habitats</i>	15
3.2.2. <i>Calcul de la Surface Productive (SP) en juvéniles selon les faciès d'écoulement</i>	18
3.2.3. <i>Estimation de la production en tacons et calcul théorique du nombre de géniteurs de retour</i>	19
3.3. CONDITIONS DE MIGRATION ET ESTIMATION DE LA PERTE DE PRODUCTION EN JUVENILES.....	20
3.3.1. <i>Surfaces ennoyées</i>	20
3.3.2. <i>Continuité de l'axe</i>	21
4. RESULTATS.....	24
4.1. PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX : CONDITION DE VIE ET DE CROISSANCE DU SAUMON DANS LA GARTEMPE	24
4.1.1. <i>Débits</i>	24
4.1.2. <i>Température</i>	27
4.1.3. <i>pH</i>	29
4.1.4. <i>Taux de saturation en O₂</i>	31
4.1.5. <i>Nitrites</i>	33
4.1.6. <i>Ammoniaque</i>	33
4.2. POTENTIEL D'ACCUEIL DE LA GARTEMPE ET LIMITES DE SON EXPLOITATION PAR LE SAUMON.....	34
4.2.1. <i>Sectorisation de la Gartempe</i>	34
4.2.2. <i>Potentiel actuel de la zone d'étude</i>	37
4.2.3. <i>Potentiel perdu faute d'accès des saumons adultes</i>	40
4.2.4. <i>Potentiel perdu par effet « retenue »</i>	43
4.2.5. <i>Risques liés à la dévalaison des smolts</i>	45
5. DISCUSSION	48
5.1. PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX : CONDITION DE VIE ET DE CROISSANCE DU SAUMON DANS LA GARTEMPE	48
5.1.1. <i>Débits</i>	48

5.1.2. <i>Température</i>	48
5.1.3. <i>Paramètres physico-chimiques</i>	48
5.2. CAPACITE D'ACCUEIL DE LA GARTEMPE ET LIMITES DE SON EXPLOITATION PAR LE SAUMON	49
5.2.1. <i>Capacité de production de la Gartempe</i>	49
5.2.2. <i>Potentiel actuel</i>	50
5.2.3. <i>Potentiel perdu faute d'accès des saumons adultes</i>	51
5.2.4. <i>Potentiel perdu par effet « retenue »</i>	52
5.2.5. <i>Risques liés à la dévalaison des smolts</i>	52
5.3. UN PROGRAMME DE REINTRODUCTION AU PROFIT DE LA DIRECTIVE CADRE SUR L'EAU	53
6. CONCLUSION	54
7. BIBLIOGRAPHIE	55
8. LISTE DES ILLUSTRATIONS	58
9. ANNEXES	61

1. INTRODUCTION

Dans le cadre du projet de réintroduction du saumon atlantique dans la Gartempe, débuté en 1981, les différents partenaires du Plan de Gestion des Poissons Migrateurs du bassin de la Loire, des côtiers vendéens et de la Sèvre Niortaise ont souhaité établir un état des lieux actuel. Après 30 ans d'actions en faveur de cette espèce, l'implantation d'une population viable et autonome n'est pas atteinte. Le plan de gestion actuel est essentiellement orienté vers le déversement de juvéniles de saumon et le suivi scientifique et technique de la population. La continuité écologique est un autre pan primordial de ce programme notamment au regard de la prolongation du classement de la Gartempe (L.432-6) dans le cadre de l'article L.214-17. Les données actualisées de potentialités de la Gartempe pour le saumon atlantique sont importantes pour requalifier les actions en faveur du saumon sur ce sous-bassin. La Gartempe est un cours d'eau qui subit encore divers impacts anthropiques (agriculture, exploitation minière d'uranium, hydro-électricité, urbanisme...). De ce fait, ses caractéristiques écologiques et physico-chimiques peuvent être perturbées. Il était nécessaire de faire le point sur les paramètres environnementaux ayant un impact direct sur la croissance et le développement des juvéniles et sur le frai des géniteurs. Enfin, l'analyse de la variation des débits de la Gartempe sur une chronique de 50 ans permettra d'évaluer l'évolution des conditions de montaison des géniteurs et de dévalaison des smolts.

Un des objectifs de cette étude était d'établir une nouvelle cartographie des habitats de croissance des juvéniles de saumon dans le département de la Haute-Vienne et de la Creuse (Gartempe limousine), non réactualisée depuis 1991, en séparant les habitats préférentiels des tacons 0+ et 1+. Ces estimations de surfaces, ainsi que leur cartographie, serviront accessoirement au plan de déversement des juvéniles, grâce à des données précises de répartition des surfaces favorables à leur développement. Enfin, l'estimation de la production potentielle en tacons par secteur permettra éventuellement de distinguer des sites de production plus favorables.

De nombreux seuils jalonnent le cours de la Gartempe. Ceux-ci représentent de réels obstacles à la migration de montaison du saumon. Ainsi, il est nécessaire de hiérarchiser ces seuils et d'apprécier l'ampleur de leur impact sur l'accès aux zones de frayères et de production. De plus, 20 microcentrales sont répertoriées sur la Gartempe. Ces usines peuvent avoir des impacts notables sur les smolts dévalant vers l'estuaire. Au même titre que les difficultés d'accès des géniteurs aux frayères, on tentera d'apprécier l'impact des microcentrales sur la dévalaison des smolts. Enfin, la perte d'habitats courants par ennoisement des zones situées à l'amont des seuils doit être abordée, afin de quantifier d'éventuels gains de surface productive, en cas de suppression de seuils destinée à l'amélioration écologique de la rivière.

2. MATERIEL

2.1. Espèce visée : *Salmo salar*

2.1.1. Biologie de l'espèce

Le saumon atlantique, *Salmo salar*, est un poisson amphihalín¹, anadrome². Il effectue des mouvements de plusieurs milliers de kilomètres entre les aires d'engraissement marines et les zones amont des cours d'eau, où se situent ses zones de frayère. Le cycle biologique est résumé par la **Figure 1**. La reproduction des adultes se déroule en rivière de novembre à janvier. En France, l'éclosion a donc lieu autour du mois d'avril. Par la suite, les jeunes saumons appelés « tacons » séjournent le plus souvent 1 à 2 ans en rivière, rarement 3 (en France). Avant la migration de dévalaison, les juvéniles deviennent peu à peu des « smolts » (KEITH & *al.*, 2011). Suite à cela, le smolt entreprend sa migration de dévalaison vers l'estuaire et gagne le milieu marin pour rejoindre les zones d'engraissement situées au Groënland, en Islande ou en mer du Labrador pour la majorité des saumons français (BRUSLE & QUIGNARD, 2001). Après 1 à 3 ans passés en mer, le saumon entame une migration de montaison en direction des sites de reproduction situés en amont des cours d'eau. Il retrouve grâce à sa mémoire olfactive le cours d'eau où il est né. Ce phénomène connu sous le nom de « homing » (littéralement : retour à la maison, soit ici, à la rivière natale) a pour conséquence l'existence d'une population propre à chaque entité hydrographique, bassin, fleuve ou rivière. La biologie complète du saumon se trouve en **Annexe 1**.

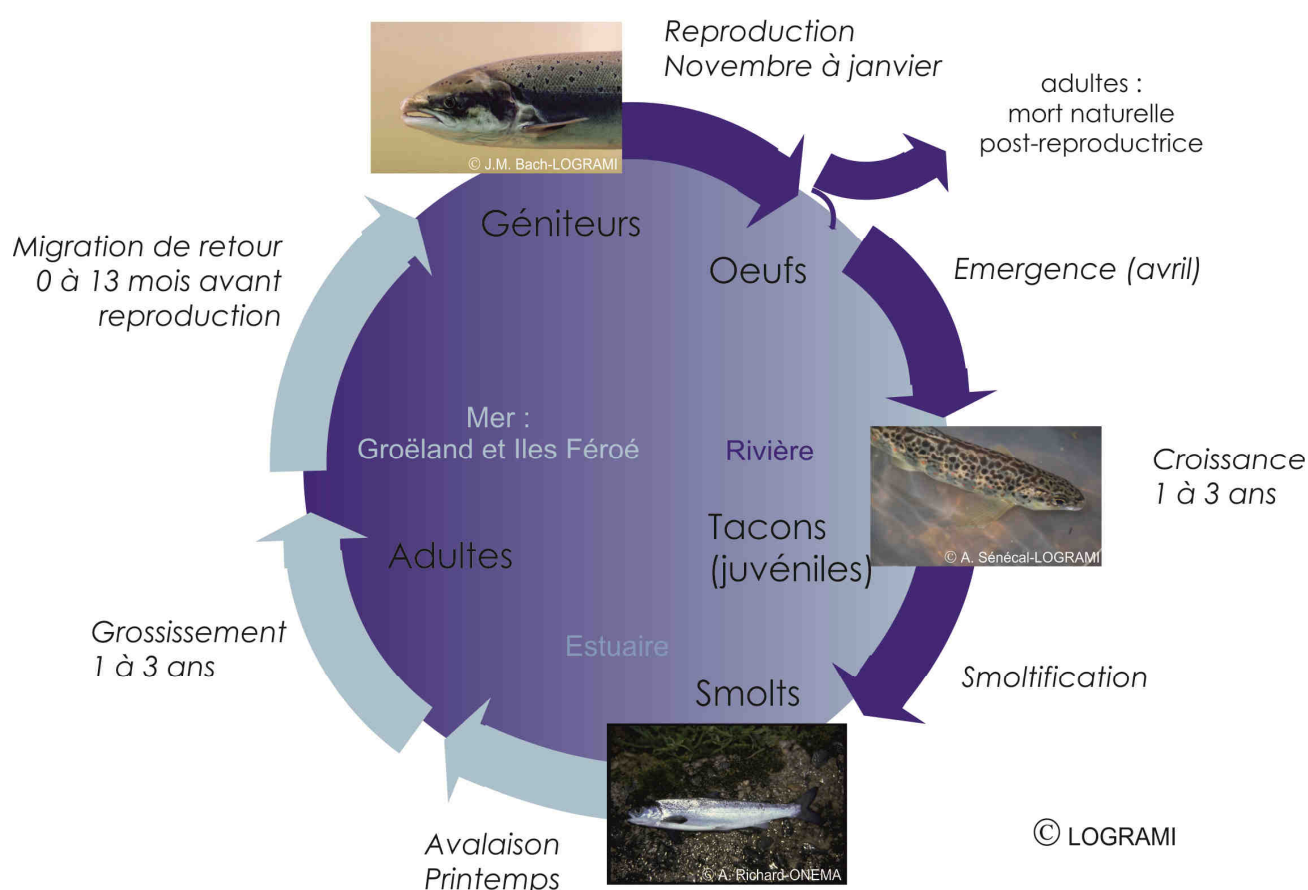


Figure 1 : cycle biologique du saumon atlantique pour le bassin de la Loire (A. Sénécal-LOGRAMI).

¹ vivant alternativement en eau douce et en eau de mer

² vivant habituellement en mer et se reproduisant en eau douce

2.1.2. Répartition géographique et statut de conservation

Le saumon atlantique est classé Least Concern (préoccupation mineure) sur la liste rouge mondiale, puisqu'on n'entrevoit pas de risque de disparition totale dans son aire de répartition. Cependant, l'industrialisation du 18^{ème} siècle a considérablement contribué à la disparition ou à l'affaiblissement de plusieurs populations de saumons d'un grand nombre de rivières où il était naturellement présent.

Le saumon atlantique est classé VU (VULnérable) sur la liste rouge Française. Il est également inscrit à l'Annexe III de la convention de Berne, les annexes II et V de la Directive Habitats et sur la liste des poissons protégés sur l'ensemble du territoire national (Arrêté du 8 décembre 1988). Par ailleurs, la pêche au saumon en Loire est interdite depuis 1994 en raison du très faible niveau de la population et a conduit à un programme de restauration toujours en cours (plan « saumon » du plan de gestion des poissons migrateurs). La répartition géographique et le statut de conservation du saumon se trouve en **Annexe 2**.

2.1.3. La réglementation et les plans de gestion liés au saumon atlantique

Le saumon atlantique bénéficie depuis 1975, d'un certain nombre de plans de gestion et de statuts de protection à la fois à l'échelle nationale et au niveau du bassin (plan saumon : 1975 ; la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques : 1992 puis 2006 ; STRANAPOMI : 2010 ; Opération Gartempe : 1981 ; plan Loire Grandeur Nature : 1994 ; plan saumon Loire-Allier : 2009). Ces plans et moyens de gestion sont détaillés en **Annexe 3**.

2.2. La Gartempe

2.2.1. Présentation générale du cours d'eau

Deux grands secteurs favorables ou *a priori* adaptés au saumon atlantique se distinguent dans le bassin de la Loire. Le premier en importance est l'Allier, dernier lieu de survie de saumons sauvages dans le bassin de la Loire. Le second est le sous-bassin Vienne-Creuse-Gartempe, où la majorité des frayères étaient situées dans les monts du Limousin et de la Marche (BACHELIER, 1964).

La Gartempe prend sa source à 630 m d'altitude, dans le département de la Creuse, à une dizaine de kilomètres au sud de Guéret. Après avoir parcouru 205 km au travers des départements de la Creuse (60 km), de la Haute-Vienne (75 km) et de la Vienne (70 km), elle se jette dans la rivière Creuse juste en amont de la Roche-Posay, à l'altitude de 56 m. Sa pente moyenne générale est de 0,3 % et son bassin versant totalise une surface de 3 922 km² (THIBAULT, 1992). La Creuse est un affluent de la Vienne et un sous affluent de la Loire. Un linéaire de 450 km sépare la source de la Gartempe de l'estuaire de la Loire. Le bassin versant de la Gartempe est faiblement peuplé (29 habitants /km²) et peu industrialisé (VAUCLIN, 1994). L'agriculture, tournée vers un élevage ovin et bovin, qui s'oriente cependant vers une intensification ces dix dernières années, reste la principale activité économique du territoire.

2.2.2. Le saumon atlantique dans la Gartempe

2.2.2.1. Présence historique de l'espèce et causes de sa disparition

Une enquête datant de 1888 menée par les Ponts et Chaussées sur le saumon à l'échelle de la France estime qu'avant la révolution française, 80 ha de surface en eau étaient propices à la production de tacons : 40 ha de Grand-Bourg à Châteauponsac et 40 ha en aval de Châteauponsac (BACHELIER, 1964), la limite de remontée du saumon sur la Gartempe étant fixée à Ribière-Jalade (Commune de Sardent, 23) au PK 195 (Point Kilométrique par rapport à la confluence Creuse/Gartempe) (BACHELIER, 1964 ; THIBAULT, Date inconnue). En 1857, le saumon semble considéré comme une espèce banale qui jalonne le bassin de la Creuse. A cette même date, un décret autorise l'édification d'un barrage à La Haye-Descartes sur la Creuse (Indre et Loire, à 30 km de la confluence avec la Gartempe) à des fins de production hydro-électrique. En 1860, suite à un exhaussement de ce dernier, 5 092 saumons avaient été pêchés à son aval selon BACHELIER (1964). Il constitue le premier ouvrage depuis la mer rencontré par

les saumons sur l'axe Creuse (BACHELIER, 1964). Ce n'est qu'en 1870 qu'une passe à poissons est installée sur ce dernier. Cependant, elle ne montra pas une réelle efficacité. Une seconde passe à poissons, à bassins successifs, fut construite en 1881. Pourtant, une régression de la montée des saumons fut tout de même constatée par la suite. Elle était cette fois-ci liée à l'édification en 1903-1905 du barrage de l'usine hydroélectrique de la Roche Etrangleloup à Châteauponsac sur la Gartempe d'une hauteur de 5 m. Ce fut la première cause de la disparition du saumon dans la Gartempe, par suppression de l'accès à 89 km de rivière situés en amont, riches en zones de frayères (VAUCLIN, 1994). Il fut localement qualifié de « tombeau des saumons ». Ainsi, le saumon commença à se raréfier sur le bassin de la Vienne dès la fin du XIX^{ème} siècle.

En 1918-1920 le barrage du Bec-des-Deux-Eaux (ou de Maisons Rouges) est construit dans le lit de la Vienne, à l'aval immédiat de la confluence de la Creuse. Sa hauteur est de 3,8 m, ce qui le rend totalement infranchissable vers l'amont par n'importe quelle espèce de poissons. Après quelques années, il ne fut plus revu de saumon dans les 70 km de la Vienne situés en aval de ce seuil. Cet obstacle sonna le glas du saumon sur l'ensemble du bassin de la Vienne (BACHELIER, 1964). Le Plan « saumons » (1975) et le Plan Loire Grandeur Nature (1994), sur la Gartempe permettent par la suite de prendre en considération les poissons migrateurs et contribuent à la restauration des populations de saumons. Ainsi, après avoir construit une passe à poissons au niveau du barrage de Maisons Rouges, qui s'est révélée insuffisamment efficace, c'est finalement en 1998 que le barrage est détruit dans le cadre du Plan Loire Grandeur Nature I. Ce fait insuffla un nouvel élan au Plan « saumons » sur la Gartempe. Il était alors question de reconquérir les 80 ha d'habitats estimés présents sur la Gartempe selon BACHELIER (1964).

2.2.2.2. Actions de restauration de la population

– Le saumon et la Gartempe dans le passé :

La période située entre la révolution française et la fin du XIX^{ème} siècle est caractérisée par un changement drastique du mode de vie des français. Sur le bassin de la Loire, la pêche a un impact de plus en plus important sur les populations de saumons avec l'extension des droits de pêche en 1808 et 1882 qui favorise ainsi l'empiètement de la pêche maritime en eau douce (HILAIRE, 1979). A cela, s'ajoute la suppression des passes-lits utilisés pour le flottage du bois, l'exhaussement des barrages et des moulins, le remplacement des rouets par des turbines et l'installation d'établissements industriels le long des cours d'eau pour l'utilisation de la force motrice qui contribuent à réduire l'accessibilité des saumons aux frayères (LOGRAMI;CSP DR4, 2000). Jusqu'ici, le saumon n'apparaît pas comme une priorité et la réglementation française n'est pas orientée vers la préservation de cette espèce. Ce n'est qu'en 1905 qu'apparaît la première mesure en faveur du saumon : la soumission du bassin de la Vienne au régime des échelles à poissons. Cette mesure n'empêche pas l'édification de nouveaux seuils. Dans les années 50, la Vienne et la Creuse sont définitivement stérilisées par la construction d'ouvrages trop élevés pour être franchissables. Dans le bassin de la Loire comme dans l'ensemble du territoire français, les barrages hydroélectriques infranchissables apparaissent bien comme la cause principale de disparition des saumons. La Gartempe, épargnée par de tels ouvrages est alors jugée comme la seule rivière susceptible de revoir des saumons remonter sur son cours (HILAIRE, 1979).

– De 1951 à 1968 : premier programme de réintroduction

En 1949, les Conseils Généraux de la Vienne, de l'Indre et Loire et du Maine et Loire votèrent des crédits pour l'équipement du barrage du Bec des deux eaux (Maisons Rouges). L'échelle à poissons fut construite en 1950-1951. Au même moment, en 1952, l'échelle à poissons de la Haye Descartes est modernisée car peu efficace. Compte tenu des travaux prévus sur l'axe Vienne-Creuse-Gartempe, un programme de réintroduction du saumon sur la Gartempe est lancé (CHAPON, 1991). Ainsi, dès 1951, des opérations susceptibles de permettre la réintroduction du saumon se mettent en place. De 1951 à 1963, de nombreuses immersions d'œufs sont effectuées dans les affluents de la Gartempe et sur le cours principal en aval de la Roche Etrangleloup, jusqu'ici toujours infranchissable. Cependant, ces déversements n'engendrent aucun résultat et le programme est arrêté en 1968 (CHAPON, 1991).

– **De 1975 à aujourd’hui : 2ème programme de réintroduction**

- 1975 : relance avec le plan saumon (niveau national).
- 1979 : Etat des lieux par Harmel et Hilaire

C’est donc en 1979 que Harmel et Hilaire effectuent une étude des potentialités de la Gartempe. Suite à cette étude, un programme de réintroduction est lancé en 1981 et est nommé « Opération Gartempe ».

- 1991 : 1er bilan du programme par Pierre Marie Chapon

Chapon dresse en 1991 le bilan de l’opération après 10 ans de programme. L’axe Vienne-Creuse-Gartempe ne possède pas d’ouvrages « infranchissables », mais un nombre important de seuils qui peuvent s’avérer difficilement franchissables par certains débits et à certaines périodes de l’année (CHAPON, 1991). Certains barrages sont aménagés durant ces 10 années : 12 au total (sur 117 répertoriés). Depuis 1982 sont effectués des déversements de juvéniles et de tacons afin de reconstituer une population de saumons. De 1982 à 1990, ce sont environ 900 000 alevins et 140 000 tacons et smolts qui ont été déversés dans la Gartempe et ses affluents (LOGRAMI;CSP DR4, 2000). Ce sont principalement des œufs de saumons écossais. C’est seulement à partir de 1987 que l’utilisation d’une souche Allier est développée (1 600 tacons de « souche Allier » déversés en 1987 contre 11 923 tacons et 15 000 alevins en 1990). En 1989 : 65,9 millions d’euros ont été dépensés dans « l’opération Gartempe », dont 33,8 millions pour le « nettoyage » des berges et 6,4 millions pour la production, selon CHAPON (1991).

- 2000 : 2ème bilan par LOGRAMI et le Conseil Supérieur de la Pêche (CSP)

En 2000, le bilan de l’opération est dressé par l’association LOGRAMI après 20 ans de programme de réintroduction. Ces 10 dernières années permettent de perfectionner la méthode de repeuplement et notamment la production de saumons de souche « Allier » et « Vienne », qui sont jugés les plus adaptés à la Gartempe pour des raisons de proximité géographique. Ainsi, de 1992 à 1995, les souches utilisées proviennent de l’Elorn (Finistère), la Vienne et l’Allier. Puis de 1996 à 1999 seules les souches « Vienne » et « Allier » sont utilisées (LOGRAMI;CSP DR4, 2000). Après 20 ans de programme, quelques remontées de saumons sont observées sur la Gartempe, mais encore insuffisantes pour permettre la reconstitution naturelle du stock. Il en est conclu que les déversements doivent se poursuivre. Une nouvelle salmoniculture est alors en fin de construction dans le Haut-Allier, à Chanteuges (43). Depuis 1987, le marquage des juvéniles de saumons déversés est effectué afin de savoir si ce sont les saumons issus des déversements qui remontent dans les rivières. Ce marquage est effectué par cryomarkage ou par ablation de la nageoire adipeuse (méthode plus récente). Les dépenses cumulées depuis 1981 s’élève à 56 991 KF (8 688 K€) dont 27 387 KF (4 175 K€) pour l’arasement de Maisons Rouges intervenu en 1998 (LOGRAMI; CSP DR4, 2000), si l’on choisit d’imputer cet arasement à la seule opération Gartempe, et en valeurs non constantes. A partir de cette date, il est plus facile de reconsidérer le retour du saumon sur la Gartempe, car cet ouvrage était un réel « verrou » pour la libre circulation des saumons.

- En 2012 : 3ème bilan du programme par LOGRAMI

En 2012, 30 ans après le début du deuxième programme de réintroduction, on peut dresser un état écologique et financier de ce dernier. Depuis 1996, l’effort de repeuplement est maintenu (**Figure 2**). La remontée des saumons est contrôlée depuis 2007 à la station de comptage de Descartes sur la Creuse, premier obstacle rencontré par les poissons grands migrateurs depuis la mer. On peut noter que les remontées de saumons sont faibles mais en hausse, l’effectif passant de 22 à 122 saumons entre 2007 et 2011 (119 au 15/08 en 2012). Afin d’estimer les gains du programme de déversement, le marquage des smolts a été rétabli en 2009 par ablation de la nageoire adipeuse permettant de reconnaître les adultes de retour issus de ce programme. En revanche, les juvéniles déversés au stade alevin ne sont pas marqués. Les conclusions de retour des smolts déversés seront donc effectuées dans quelques années, LOGRAMI- Juin 2013, Etude actualisée des potentialités de la Gartempe pour le saumon atlantique

compte tenu d'un séjour en eau douce de 1 à 2 ans et d'un séjour marin de 1 à 2 ans également.

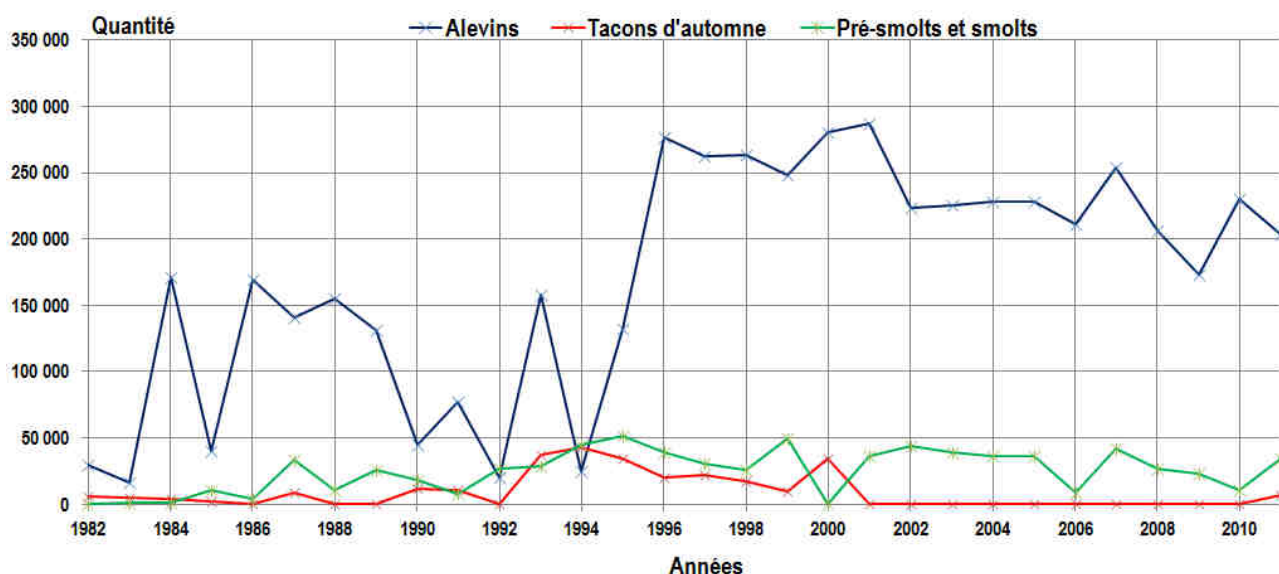


Figure 2 : bilan des déversements effectués sur la Gartempe entre 1982 et 2011 (Données : LOGRAMI/CNSS)

La population de saumons dans la Gartempe reste cependant anecdotique, avec une dizaine de saumons probables³ comptés en moyenne chaque année depuis 2001, suite à l'installation d'un compteur à résistivité à la Roche Etrangeloup, avec une année exceptionnelle : 57 saumons en 2004 (**Figure 3**), la même année où des frayères ont été observées sur l'Ardour, affluent situé en amont de la Roche Etrangeloup.

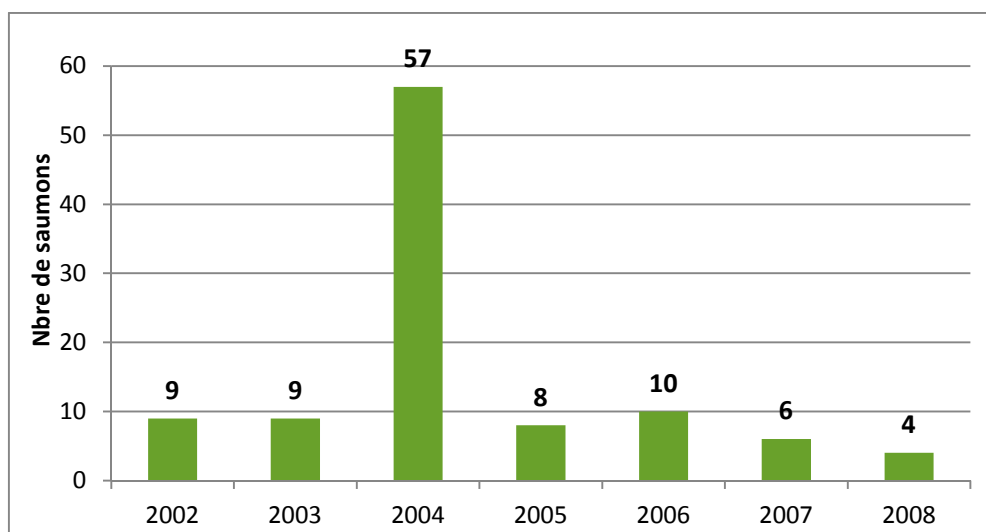


Figure 3 : nombre de saumons probables comptabilisés à la Roche Etrangeloup de 2000 à 2008. Le compteur à résistivité était en panne en 2009 et 2010, d'où l'absence de données.

Un radiopistage de saumons adultes sur la Creuse en amont du barrage de Descartes, visant à connaître la progression des poissons sur la Creuse et la Gartempe, a été effectué en 2011. Cependant, cette année a connu une sécheresse printanière marquée donc de faibles débits, ce qui n'a pas permis la remontée des saumons jusqu'au barrage de la Roche Etrangeloup. En effet, sur les 26 saumons suivis par radiopistage, 25 soit 96 % n'ont pas survécu jusqu'à la

³ Le compteur à résistivité ne permet pas rigoureusement d'identifier les espèces comptées, mais uniquement leur taille. Celui de Châteauponsac est réglé pour comptabiliser les gros poissons considérés à ce niveau de l'axe comme des saumons.

période de reproduction (LOGRAMI, 2012). Le point le plus amont atteint par un saumon est le moulin du Breuil (PK 87), soit 30 km en aval de La Roche Etrangeloup.

Dans le cadre de la réintroduction du saumon, avec des retours initiaux de faible ampleur, et sur un axe de cette longueur, tout obstacle est nuisible, et à plus forte raison, l'accumulation de ceux-ci (VAUCLIN, 1994).

Financièrement, ces dix dernières années ont permis l'aménagement de 11 passes à poissons pour un montant total d'environ 407 K€, en valeur non constante.

3. METHODOLOGIE

3.1. Paramètres environnementaux : conditions de vie et de croissance du saumon dans la Gartempe

3.1.1. Débits

Les débits des cours d'eau ont une grande influence sur la migration de montaison des géniteurs et de dévalaison des smolts. Les « coups d'eau » ou crues, c'est-à-dire l'augmentation brusque des débits stimule en effet la montaison des géniteurs et peuvent améliorer le franchissement. Ainsi, l'analyse de la variation des débits sur la Gartempe fournit des indications sur leur évolution au cours du temps et permet de connaître les conditions actuelles de migrations des saumons par rapport aux décennies précédentes.

Les données de débits ont été récupérées via la banque hydro (www.hydro-eaufrance.fr). Six stations de mesures existent dans la Gartempe. L'analyse a été réalisée sur les deux des six stations de mesure qui fonctionnent depuis plus de 50 ans : les stations de Montmorillon (cours médian inférieur, PK=39 km) et de Folles (cours supérieur, PK=136 km) recensent les données de débits respectivement depuis 1960 et 1955 (**Figure 4**).

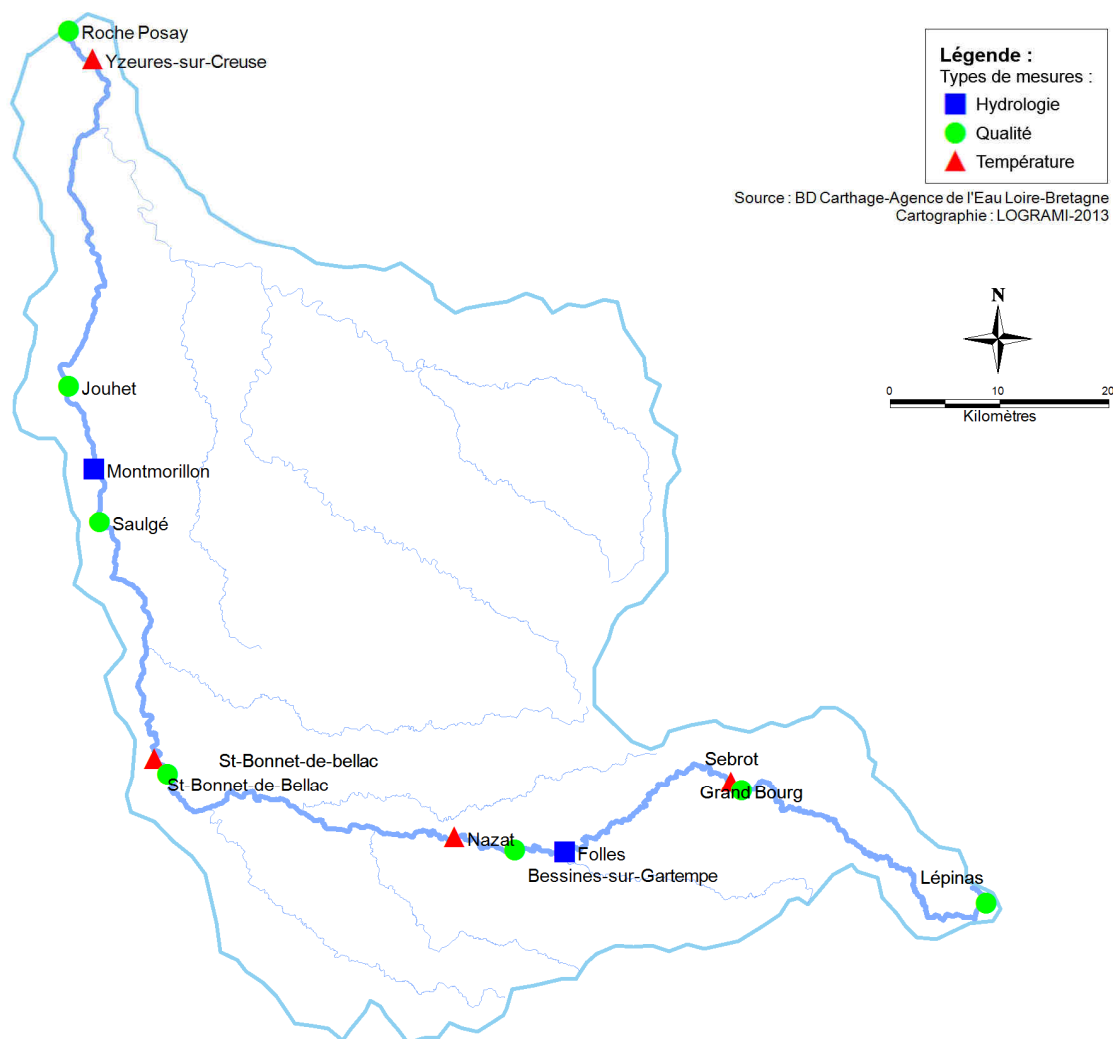


Figure 4 : Localisation des stations de mesures hydrologiques, de qualité d'eau et de température utilisées pour l'étude des paramètres environnementaux sur la Gartempe

L'analyse des débits est basée sur une comparaison deux à deux des différentes décennies. Le test statistique utilisé est le test de Kruskal-Wallis (kruskalmc sous R), il effectue un test de comparaison des moyennes des rangs des QJM (débit moyen journalier) des différentes décennies pour chaque mois (soit pour chaque mois et pour chaque décennie, 28 à 31 (jours) * 10 années).

3.1.2. Température

La température de l'eau est un paramètre important tout au long du cycle biologique du saumon. Ses exigences sont fonction de son stade de développement. A chaque stade de son cycle de vie, un développement optimum est obtenu pour des températures préférentielles ou *preferendum thermique*. L'analyse de la température actuelle de la Gartempe est donc un élément important pour connaître les conditions de développement du saumon dans la Gartempe. Une température trop élevée peut entraîner la mort de l'individu ou bien, à un moindre degré, limiter la croissance du saumon, du stade œuf jusqu'à l'adulte. Ainsi, le seuil léthal et la zone de température optimale sont des paramètres importants dans l'analyse des potentialités d'habitat.

Les stations RCS (Réseau de Contrôle et de Surveillance) de l'ONEMA Poitou-Charentes d'Yzeures-sur-Creuse (PK = 4,5 km), les stations RCS de l'ONEMA Limousin situées à St-Bonnet de Bellac (PK = 84 km) et à Nazat (PK = 122 km) et la station LOGRAMI de Sebrot (PK = 162 km) (sonde HOB0® Pendant Temperature Data Logger UA-001-64 ; précision de 0.1 °C ± 0.47 °C à 25°C) font l'objet d'un suivi thermique de l'eau respectivement depuis juin 2008, juillet 2010 pour les 2 stations du Limousin et janvier 2000 (**Figure 4**).

Les données de températures de l'eau correspondent à des mesures horaires pour les 3 stations du réseau RCS et journalières pour la station de Sebrot. Leur analyse consiste à étudier la dispersion de l'ensemble des données de températures sur une période donnée. Cette dispersion est ensuite comparée à des valeurs dites « optimales » de croissance pour le stade considéré. Chaque stade correspond à une période de l'année préalablement définie en fonction du cycle de vie du saumon sur la Gartempe (**Tableau 1**).

Ces valeurs optimales ont été synthétisées en 2011 (GORONFLOT, LEGRAND, & BAISEZ ; **Tableau 1**). Le pourcentage de données comprises et non comprises dans les valeurs optimales de croissance ainsi que le pourcentage de valeurs dépassant le seuil léthal sont calculés à l'aide du logiciel R et d'Excel.

Tableau 1 : bilan de la période et des températures optimales et létales en fonction des stades de développement du saumon (référence in GORONFLOT, LEGRAND, & BAISEZ, non publié)

	Franchissement d'obstacle	Fraie	Incubation	Croissance printanière	Croissance estivale et automnale
Période	de mars à novembre	novembre/décembre	décembre/janvier février/mars	avril/mai/juin	juillet/août/ septembre/octobre
Température optimale (°C)	9 à 17 Cohendet (1993)	7,5 à 12,5 Beall (1983)	< 10 Crisp (1993)	16 à 20 Jonsson (2001)	16 à 20 Jonsson (2001)
Seuil léthal (°C)	> 27,5 Mills (1991)	> 27,5 Mills (1991)	> 16 Ojanguren (1999)	> 25 Crisp (1993)	> 25 Crisp (1993)

3.1.3. Autres paramètres physico-chimiques

L'étude bibliographique de 2011 menée par l'Association LOGRAMI (GORONFLOT, LEGRAND, & BAISEZ, non publié) a permis de mettre en évidence des seuils de tolérances physico-chimiques du saumon pour quatre autres paramètres environnementaux que sont le pH, le taux de saturation en O₂ ainsi que les concentrations en nitrites (NO₂) et en ammoniacque (NH₃). L'analyse de ces paramètres est une étape importante dans l'étude des potentialités car elle permet de mettre en évidence la qualité physico-chimique de la Gartempe par rapport aux exigences du saumon.

L'Agence de l'Eau Loire-Bretagne (AELB) gère, au sein d'une base de données nommée OSUR, l'ensemble des informations recueillies dans le cadre de la surveillance de la qualité des cours d'eau et des plans d'eau.

La Gartempe fait l'objet depuis 2009 d'un suivi mensuel de trois paramètres environnementaux précédemment cités (pH, O₂ et nitrites) et de [NH₄⁺] (grille de conversion disponible en [NH₃] en **Annexe 9**) sur sept stations de mesures qui sont, d'aval en amont (**Tableau 2**).

Tableau 2 : période de mesure aux différentes stations de la Gartempe

Station	Période de mesure
<i>La Roche-Posay</i>	de mai 2009 à janvier 2012
<i>Jouhet</i>	de mai 2009 à décembre 2011
<i>Saulgé</i>	de juin 2009 à décembre 2011 (manque de données régulières)
<i>Saint-Bonnet-de-Bellac</i>	de mai 2009 à février 2012
<i>Bessines-sur-Gartempe</i>	de mai 2009 à février 2012
<i>Le Grand-Bourg</i>	de mai 2009 à février 2012
<i>Lepinas</i>	de mai 2009 à février 2012

L'étude de ces paramètres permet de les comparer à des valeurs optimales et/ou à des seuils létaux pour le saumon. Nous avons transcrit en pourcentages par rapport au nombre de données totales les valeurs comprises dans l'optimal, celles le dépassant et celles dépassant le seuil léthal.

3.2. Cartographie des habitats de croissance et estimation des potentialités d'accueil

3.2.1. Cartographie des habitats

Les potentialités d'accueil du saumon sont fonction des faciès d'écoulement hydraulique (HELAND & DUMAS, 1993 ; HEGGENES, BAGLINIERE, & CUNJAK, 1999 ; RICHARD, 1999 ; SYMONS & HELAND, 1978). Les différents faciès de la Gartempe ont été déterminés à l'aide de la clé de détermination des faciès d'écoulement publiée dans CHAPON, 1991 (**Annexe 4**). Les plats courants (PC), radiers (RAD), radiers/rapides (RAD/RAP) et rapides (RAP) (**Figure 5**) correspondent à des faciès d'écoulement favorables aux juvéniles.

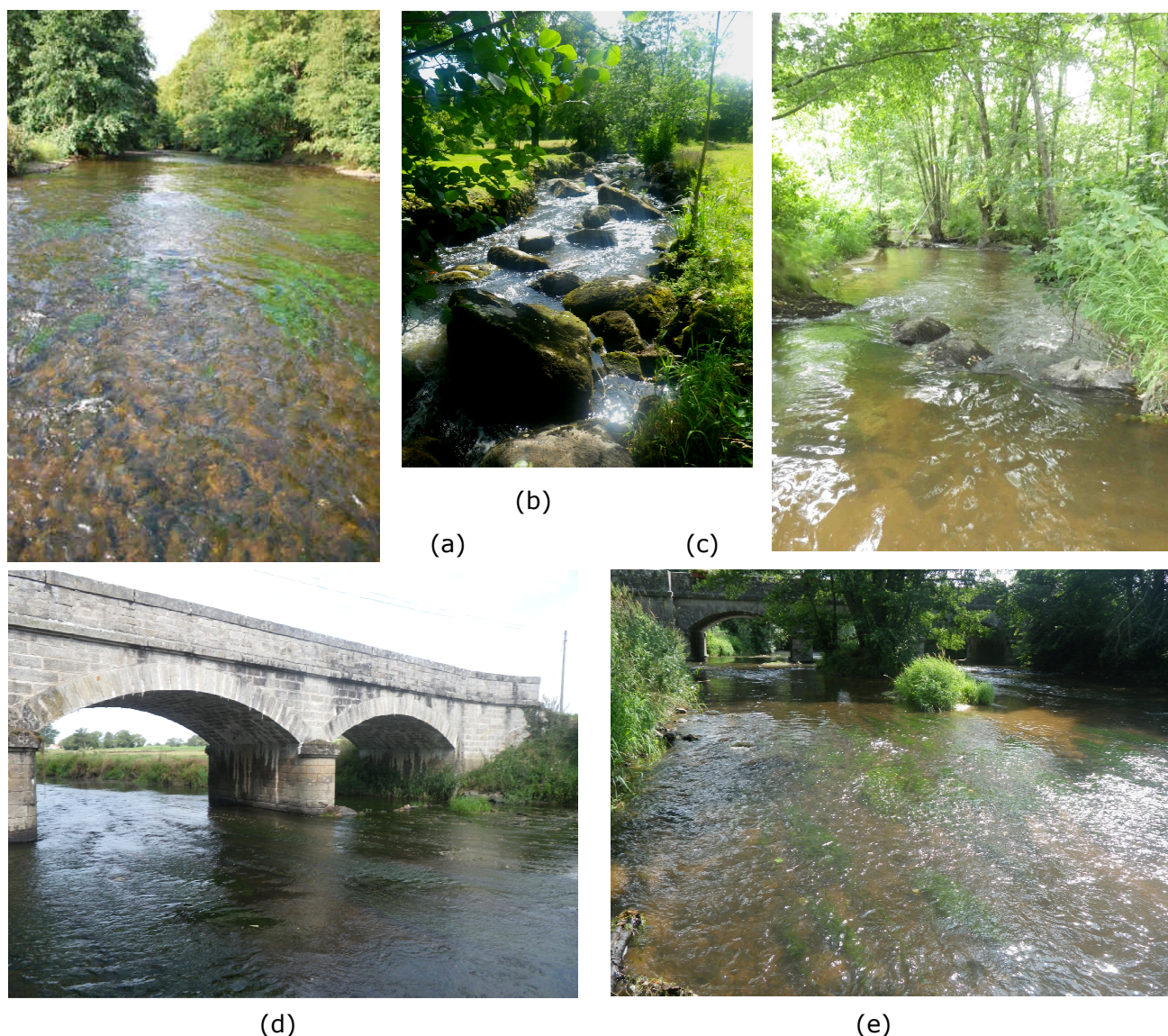


Figure 5 : Différents types de faciès d'écoulement, de gauche à droite et de haut en bas : (a) : radier, (b) : rapide, (c) : plat courant accessoire rapides, (d) : plat courant, (e) : radier.

3.2.1.1. Prise en compte d'autres caractéristiques de l'habitat des juvéniles et hiérarchisation qualitative des surfaces productives :

Suite à une synthèse bibliographique (**Annexe 1**), d'autres paramètres ayant une réelle influence sur la croissance des juvéniles ont été identifiés pour choisir les données à recueillir sur le terrain. Outre le faciès d'écoulement abordé ci-dessus, la granulométrie, la végétation aquatique et l'ensoleillement ont une incidence sur la croissance des juvéniles. De plus, il ressort que ce n'est pas l'âge du juvénile qui joue sur l'utilisation de l'espace mais la taille de

l'individu. Après l'émergence, les juvéniles mesurent 2,5 cm. De ce moment à la taille de 4 cm, ces juvéniles au stade « alevin » utilisent le même habitat et rentrent en compétition intraspécifique. Les juvéniles de 4 à 7 cm correspondent au stade « tacon d'été » et les plus de 7 cm correspondent aux « tacons d'automne », et ils utilisent des habitats différents d'un point de vue de la granulométrie et de la vitesse de courant. Par souci de compréhension, nous conviendrons que les juvéniles de 4 à 7 cm correspondent aux tacons 0+ et les plus de 7 cm correspondent aux tacons 1+ et distinguerons les habitats favorables aux deux stades dans la présente étude.

La méthode choisie pour déterminer la granulométrie de l'habitat cartographié correspond à une estimation visuelle de la granulométrie dominante et accessoire présente sur la zone cartographiée. La granulométrie rencontrée est attribuée à une classe (déterminée en fonction des *preferenda* des saumons) à l'aide de l'échelle de WENTWORTH (1922) modifiée par MALAVOI et SOUCHON (2001), simplifiée pour l'étude (pas de différenciation entre matériaux fins et grossiers à l'intérieur d'une même classe). Les classes utilisées se trouvent en **Annexe 5** de même que celles utilisées pour apprécier visuellement l'ensablement, la végétation aquatique ainsi que l'ensoleillement.

3.2.1.2. Cartographie des habitats sur le terrain

La cartographie des habitats de croissance des juvéniles a été établie par prospections de terrain (21 jours à 2 personnes). L'ensemble de la partie limousine de la Gartempe (PK 70 jusqu'au PK 195 km), soit un total de 125 km de cours d'eau, a été parcouru dans les départements de la Haute-Vienne et de la Creuse. La **Figure 7** présente les linéaires dont les habitats ont été précédemment étudiés sur le sous-bassin de la Gartempe et le linéaire cartographié en 2012. L'essentiel du parcours a été mené en canoë (PK 70 à PK 179, soit 109 km), seule la partie PK 179 à PK 195 (soit 16 km) a été reconnue à pied.



Figure 6 : Photos de l'outil Carto Pocket ® (à gauche), du canoë utilisé lors de la campagne de terrain et d'une prise de mesure à l'aide du télémètre optique (photos : LOGRAMI)

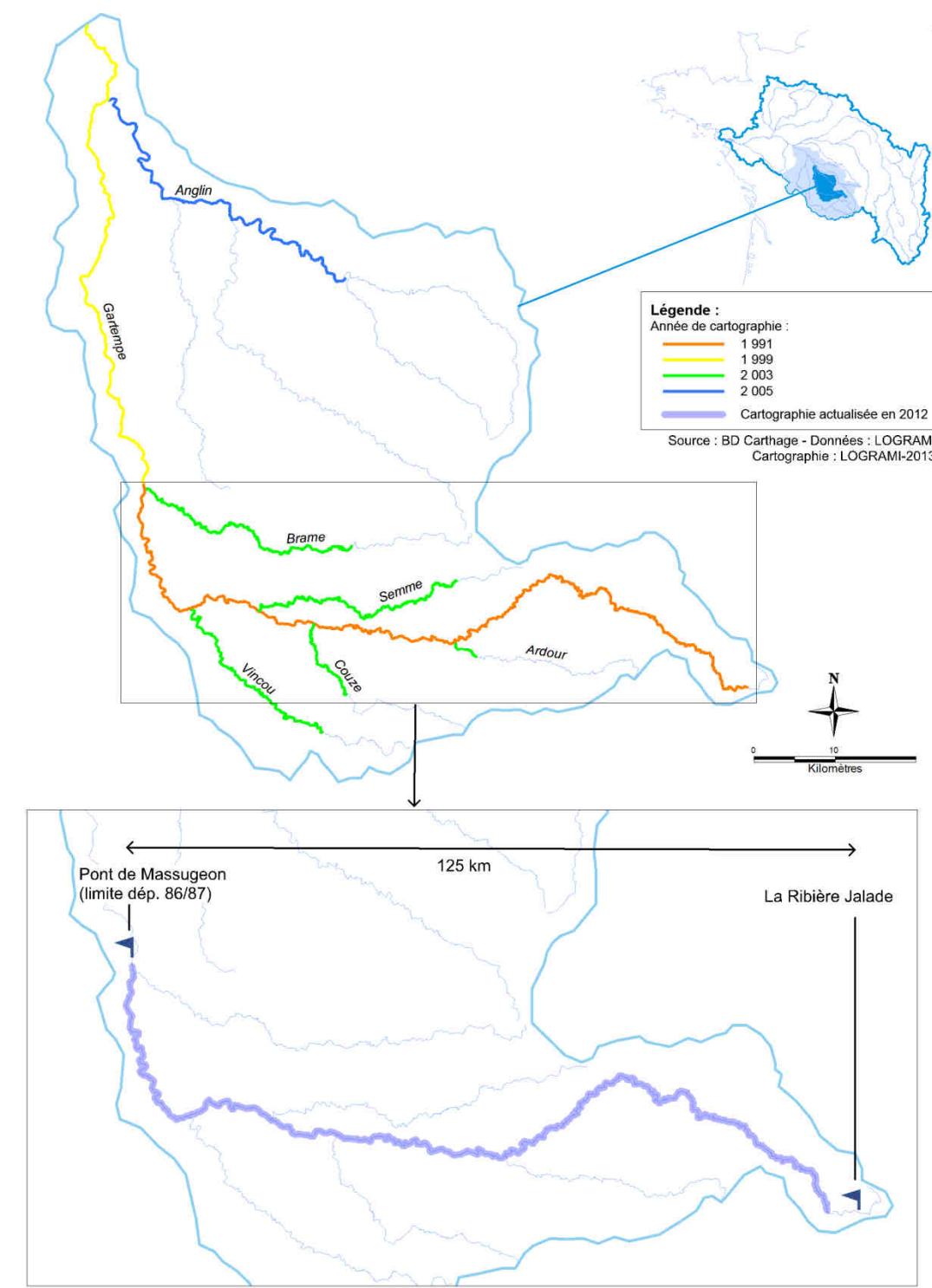


Figure 7 : Cartographies des habitats et études des potentialités pour le saumon atlantique sur le sous-bassin de la Gartempe et linéaire étudié du cours principal en 2012

Pour la cartographie de terrain, un SIG nomade (Cartopocket® Getac PS236) a été utilisé (**Figure 6**). Il permet de cartographier sur fond IGN au 1/25000^e les zones de radiers, rapides et plats courants et de renseigner les caractéristiques de la zone en terme de granulométrie, de taux d'ensablement, d'ensoleillement, longueur/largeur, profondeur et taux de recouvrement par la végétation aquatique (**Annexe 6**).

Chaque changement de faciès est cartographié par un point (limite aval) sur le cours d'eau à l'aide du GPS inclut dans le SIG nomade. Les tables renseignées sont ensuite reprises au bureau sous le logiciel SIG (MapInfo).

Tableau 3 : débits d'étude en comparaison des débits d'étiage pour chaque journée de terrain réalisée.

Dates	Débit d'étude (m3/s)	QMJ moyen inter-annuel du mois le plus bas (m3/s)			Différence avec le QMJ moyen inter-annuel du mois le plus bas
		St Bonnet de Bellac (1994-2012)	Folles (1960-2012)	St victor en marche (2003-2012)	
05/07/2012	5,47	5,22			5%
12/07/2012	6,14	5,22			18%
17/07/2012	6,85	5,22			31%
18/07/2012	5,84	5,22			12%
19/07/2012	3,17		2,90		9%
20/07/2012	3,03		2,90		4%
23/07/2012	2,66		2,90		-8%
24/07/2012	2,43		2,90		-16%
25/07/2012	2,26		2,90		-22%
02/07/2012	0,50			0,43	17%
26/07/2012	0,29			0,43	-33%
27/07/2012	0,27			0,43	-38%
30/07/2012	0,36			0,43	-15%
31/07/2012	0,32			0,43	-27%
01/08/2012	0,28			0,43	-34%
02/08/2012	0,27			0,43	-38%
03/08/2012	0,26			0,43	-40%
07/08/2012	0,38			0,43	-11%
08/08/2012	0,33			0,43	-24%
09/08/2012	0,28			0,43	-36%
13/08/2012	0,25			0,43	-43%

Les valeurs de débits d'étude varient entre + 31 % et - 43 % par rapport au débit journalier moyen interannuel du mois le plus bas (m3/s) à la station hydrologique la plus pertinent. La cartographie des faciès d'écoulement a donc bien été effectuée par débits d'étiage.

3.2.2. Calcul de la Surface Productive (SP) en juvéniles selon les faciès d'écoulement

BAGLINIERE et CHAMPIGNEULLE (1982) ont mis en évidence que la production en juvéniles des plats courants était 5 fois inférieure à celle des radiers, rapides et radiers/rapides. Dans le but de déterminer les Totaux Autorisés de Capture en rapport avec les potentialités d'accueil sur les cours d'eau de Bretagne où la pêche du saumon est autorisée, PREVOST et PORCHER (1996) ont déterminé la surface productive (SP) en juvéniles en fonction des faciès d'écoulement favorables à leur croissance, exprimée en équivalents radiers-rapides (ERR) :

$$SP = SRR + (SPC/5)$$

SP : Surface Productive en juvéniles de saumon en ERR par m²

SRR : Surface Radiers-Rapides (Somme des surfaces de Radiers, Rapides et Radiers Rapides) (m²)

SPC : Surface de Plats Courants et plats⁴ (m²)

⁴ Pour l'étude des potentialités de la Gartempe, les plats n'ont pas été pris en compte car jugés comme « non potentiels » pour les juvéniles.

La cartographie des habitats a été effectuée dans la partie Limousine de la Gartempe. Afin de connaître l'ensemble du potentiel de la rivière, la cartographie de la partie aval (département de la Vienne), effectuée en 1999 par DER MIKAELIAN, sera prise en compte dans les résultats de l'étude.

3.2.3. Estimation de la production en tacons et calcul théorique du nombre de géniteurs de retour

La Gartempe bénéficie d'un programme de réintroduction du saumon atlantique qui se traduit entre autres par le déversement de juvéniles sur certains secteurs, notamment ceux situés en amont de la Roche Etrangleloup (PK 117). Le contrôle d'implantation des tacons est effectué par LOGRAMI (CSP & ONEMA avant 2009) en utilisant la méthodologie des indices d'abondance (PREVOST & BAGLINIERE, 1995), qui repose sur des sondages ponctuels (effort cumulé de 5 minutes de pêche) effectués depuis 1999, durant le mois de septembre sur certaines stations, soumises ou non à ces déversements.

Nous supposons que la Gartempe possède des zones plus ou moins productives, c'est-à-dire que certains secteurs permettraient la production d'un nombre plus important de smolts pour 100 m² d'ERR. Afin d'étudier cela, les Indices d'Abondance (IA) obtenus depuis 1999 ont été analysés, de la station la plus aval (PK = 8 km) jusqu'à la plus amont (PK = 184 km). Seules les stations alevinées ont été analysées, car il y a très peu de reproduction naturelle dans la Gartempe d'après les suivis de frayères effectués (LOGRAMI, 2011). La présence de tacons sur certaines stations non alevinées proviendrait d'une reproduction naturelle mais également de la dispersion des tacons déversés sur les stations situées en amont (LOGRAMI, 2011).

L'utilisation des taux d'implantation aurait été plus juste, mais les surfaces déversées étant mal connues, ces taux ne sont pas connus depuis 1999. La cartographie des habitats réalisée en 2012 permettra de recalculer à l'avenir ces taux d'implantation.

L'estimation de la production en tacons a été effectuée en passant par plusieurs étapes :

- les indices d'abondance (IA) des différentes stations de pêche électrique ont été comparés par secteurs homogènes (IA similaires) à l'aide du test de Kruskal-Wallis (kruskalmc sous R),
- l'IA moyen de 1999 à 2011 a été calculé pour chaque secteur identifié,
- la conversion entre l'effectif en 5 minutes et la densité sur le bassin de la Gartempe, donnée par $D = 0,358 * IA$ (PREVOST & NIHOARN, 1999 ; LOGRAMI, 2009), a été faite pour chaque secteur de production identifié, afin d'obtenir un nombre d'individus/100m² de SP,
- l'estimation du nombre de tacons par secteur est ensuite donnée par :

$NT = D * SP/100$, où D (nombre d'individu/100m² de SP) et NT (nombre de tacons d'automne).

Enfin, une estimation de la production totale en géniteurs issus de la Gartempe, susceptibles de remonter au barrage de Descartes, a été calculée à partir de la formule 3 smolts/100m² de surface productive (PREVOST et PORCHER, 1996) et :

$$N_G = (N_{\text{smolts}} * \% 1\text{HM} * T_{1\text{HM}}) + (N_{\text{smolts}} * \% 2\text{HM} * T_{2\text{HM}})$$

- NG : Nombre de géniteurs de retour
- N_{smolts} : Nombre de smolts estimé
- % 1HM : pourcentage moyen de saumons 1HM à Descartes entre 2007 et 2011 : 19%

- % 2HM : pourcentage moyen de saumons 2HM à Descartes entre 2007 et 2011 : 81%
- T1HM : taux de survie des saumons 1HM en mer, d'après ICES (2010)
- T2HM : taux de survie des saumons 2HM en mer, d'après ICES (2010)

Pour le taux de survie des saumons de 1HM et 2HM, plusieurs données étaient disponibles dans ICES (2010) issues des rivières atelier de différents pays (Norvège, Royaume-Uni, Irlande, Islande et France), pour des smolts déversés ou sauvages. Nous avons pris des hypothèses maximales et minimales pour ces deux cas de figure.

De plus, nous avons calculé un nombre théorique de géniteurs en retenant la production en smolts de 3 smolts/100 m² d'ERR prise par PREVOST & PORCHER (1996) pour les rivières de Bretagne et de Basse-Normandie. Cela pourrait correspondre à des smolts sauvages, adaptés écologiquement aux conditions de biotope de la Gartempe.

3.3. Conditions de migration et estimation de la perte de production en juvéniles

La quantification des habitats à juvéniles a été menée sur la Gartempe dans son état actuel, qui résulte de nombreux aménagements et usages humains. Dans l'optique de chiffrer un effectif de smolts potentiel, le manque à produire dû aux retenues de seuils, le défaut d'accès des géniteurs aux zones amont du fait des seuils ainsi que les mortalités liées aux passages dans les turbines ont été estimés.

3.3.1. Surfaces ennoyées

Les seuils ont des impacts importants sur l'hydromorphologie des cours d'eau. La conséquence générale est une uniformisation des habitats associée à la perte de zones de frayères ou de production pour le saumon notamment (CROZE & LARINIER, 2001), du fait du ralentissement du courant et de l'approfondissement de la rivière dans les retenues.

Les peuplements pisciaires sont très affectés par le changement des conditions hydromorphologiques et thermiques. On assiste à un glissement typologique des espèces (MALAVOI & SALGUES, 2011) :

- les espèces rhéophiles sont fortement défavorisées,
- les espèces de milieux lenticques (cyprinidés), sont favorisées car la stagnation de l'eau en amont des seuils favorise leur réchauffement, parfois de plusieurs degrés aux périodes chaudes, en cas d'effets cumulés.

Ainsi, il est intéressant de connaître la perte d'habitat courant liée à la présence des seuils sur la Gartempe, indépendamment de leur impact lié à l'accessibilité pour les saumons adultes.

Cette perte d'habitat par ennoisement de la zone située à l'amont de l'ouvrage est estimée par mesure de la distance de cours d'eau sous influence de l'ouvrage : sur le terrain, cela correspond à la retenue d'eau créée en amont de l'ouvrage (zone de profond ou plat lenticque).

Ensuite, des secteurs de pentes homogènes sont déterminés afin d'affecter à chaque tronçon un **Taux de Surface Productive par mètre de cours d'eau**. Ce taux a été calculé pour chaque tronçon à l'aide de la cartographie d'habitat :

$$\text{Taux de SP (\%)} = \Sigma SP (m^2) / [L_{\text{tronçonN}} (m) - L_{SE} (m)]$$

Taux de SP : % de Surfaces Productives à l'intérieur du Tronçon N (%)

ΣSP : Surface Productive totale répertoriée sur le Tronçon N (m²)

$L_{\text{tronçonN}}$: Longueur totale du tronçon N (m)

L_{SE} : Longueur totale des Surfaces Ennoyées par les ouvrages présents sur le tronçon N (m)

Connaissant le taux de SP moyen par mètre de cours d'eau, une SP en fonction de la longueur de la zone ennoyée pourra être attribuée à chaque retenue créée par un ouvrage.

Afin de découper la Gartempe en tronçons de pentes homogènes, on a utilisé le profil en long, élaboré par l'Institut de Géographie National. Les altitudes au pied de chaque ouvrage permettent d'obtenir une pente inter-ouvrages :

$$\text{Pente} = [\text{Alt (ouvrage amont)} - \text{Alt (ouvrage aval)}] / [\text{PK (ouvrage amont)} - \text{PK (ouvrage aval)}]$$

Les pentes qui semblent appartenir au même secteur d'un point de vue topométrique sont rassemblées au sein du même tronçon. Il faut ensuite tester l'homogénéité des données de chaque tronçon, ce qui est fait par le test de Shapiro-Wilk. Il teste la normalité de l'échantillon (suit-il la loi Normale d'espérance μ et d'écart type σ), et donc l'hypothèse que les valeurs de l'échantillon soient homogènes. Enfin, la comparaison deux à deux de tronçons successifs permet de vérifier que les tronçons ont des pentes statistiquement différentes. Cette différence est testée à l'aide d'un test de Student dans le cas de variances homogènes (test de Fisher avec $\alpha = 5\%$), sinon à l'aide du test de Welch.

3.3.2. Continuité de l'axe

3.3.2.1. Montaison

STEINBACH a étudié la franchissabilité des obstacles du bassin de la Loire, dont ceux de la Gartempe en 2003, afin d'établir une base de données sur les ouvrages et de déterminer un coefficient de franchissabilité en fonction des espèces concernées. Ce coefficient de franchissabilité dépend de nombreux paramètres (hauteur de chute, fosse d'appel, turbinage, configuration...). Cependant cette base doit être réactualisée puisque des modifications des ouvrages ou des aménagements de type passe à poissons ont eu lieu au cours du temps. Les points suivants, en particulier, ont été vérifiés et au besoin mis à jour :

- hauteurs de chute à l'étiage (mesure sur le terrain),
- type de dispositif de franchissement (s'il existe),
- état de l'ouvrage.

Un dossier photo des 117 seuils construits dans le lit mineur de la Gartempe a été réalisé grâce aux photos archivées jusqu'à aujourd'hui par LOGRAMI, complétées de photos réalisées au cours de la présente étude (6 jours de terrain ont été nécessaires). Le débit à la station hydrologique la plus pertinente le jour de la prise de vue est renseigné pour permettre de comparer la franchissabilité au module et au débit d'étiage.

Par la suite, la classe de franchissabilité a été réévaluée pour chacun des ouvrages, à l'aide de la base de données ainsi actualisée, des photos et de la connaissance de terrain des différents ouvrages, par STEINBACH P. (ONEMA) ; SENECAI A. et COSYNS A. (LOGRAMI). Ces classements ont été comparés entre eux (examen d'un effet « personne »), pour être enfin validés conjointement « à dire d'expert ». Les classes de franchissabilité et les critères d'évaluation sont en **Annexe 7**.

3.3.2.2. Dévalaison

Une pré-étude de la dévalaison des smolts a été effectuée. Elle permet d'analyser la répartition des smolts au niveau des 20 microcentrales hydroélectriques existantes, c'est-à-dire le pourcentage de smolts passant au niveau du déversoir du seuil et celui correspondant aux smolts passant dans les turbines. Cette analyse a été menée avec l'appui méthodologique du Pôle Ecohydraulique de Toulouse (ONEMA/IRSTEA/IMFT).

L'analyse est basée sur :

- la configuration de l'ouvrage : elle permet de sélectionner un modèle de courbe issue d'une étude menée par plusieurs auteurs (CROZE & LARINIER, 1999 ; CROZE, CHANSEAU & LARINIER, 1999). Ainsi, plus la configuration de l'ouvrage par rapport au cours d'eau favorise l'attraction des smolts dans les turbines, plus la courbe Débit turbiné (Q_t)/Débit rivière (Q_r) donne un pourcentage important de passage des smolts dans les turbines par rapport aux passages au niveau du déversoir (**Figure 8**).

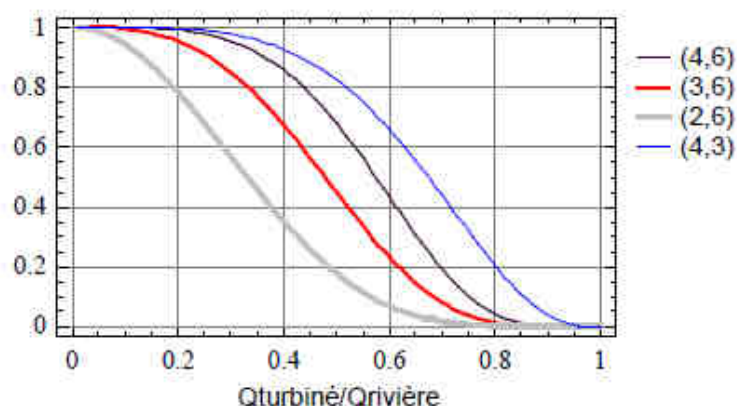


Figure 8 : Pourcentage de smolts dévalant au barrage en fonction de Q_t/Q_{riv} pour différentes valeurs de coefficients α et β (α, β) (CROZE & LARINIER, 1999 ; CROZE, CHANSEAU & LARINIER, 1999)

- le débit turbiné (débit d'équipement) par rapport au débit de la rivière lors de la dévalaison permet de connaître à l'aide de la courbe sélectionnée auparavant, le pourcentage de smolts dévalant au barrage et celui passant dans les turbines (le choix du modèle pour chaque usine a été effectué sur avis technique de Philippe BARAN, ONEMA).

Dans un premier temps, la période de dévalaison des smolts a été analysée à l'aide des données de piégeage de smolts dévalants à la Roche Etrangleloup effectué entre 1993 et 1998, ainsi qu'avec l'appui technique de l'ONEMA (2 jours passés au Pôle Ecohydraulique de Toulouse) et des périodes de dévalaison de smolts d'autres cours d'eau. Quatre périodes de dévalaison ont été identifiées. Chaque période correspond à un pourcentage de dévalants de la population totale :

Tableau 4 : Périodes de dévalaison retenues et % de smolts dévalants retenus pour l'étude de la répartition des smolts en dévalaison sur la Gartempe au niveau des usines hydroélectriques

	Dates de dévalaison	% de la population dévalante
Période 1	Du 5 mars au 25 mars	1%
Période 2	Du 26 mars au 15 avril	31%
Période 3	Du 16 avril au 6 mai	63%
Période 4	Du 7 mai au 27 mai	5%

Enfin, sur chaque période de dévalaison, les QJM (débit moyen journalier de la période de dévalaison) aux stations de Montmorillon et de Folles de 20 années ont été récupérés puis recalculés au niveau de la microcentrale en fonction de la surface du bassin versant au droit de l'ouvrage (proportionnellement à celui de la station hydrologique). Le calcul de répartition des smolts au niveau de la microcentrale a été effectué pour les Q50 (débit médian journalier) et Q75 (débit du troisième quartile) des 4 périodes de dévalaison.

Cette analyse a permis d'estimer le pourcentage de smolts passant par les turbines des microcentrales.

Cependant, le taux de mortalité des smolts lié aux turbines n'a pas été estimé, en raison de données manquantes relatives aux microcentrales qu'il n'était pas possible de recueillir dans le cadre de cette étude. En effet, des données importantes, non exigibles réglementairement, sont nécessaires pour effectuer les calculs : diamètre de la roue, nombre de pales, modèle de la turbine... ce qui demanderait de conduire une enquête spécifique auprès des microcentraliers concernés.

A l'aide des estimations (minimales et maximales) de passage au niveau du barrage, le taux d'échappement d'un smolt produit à l'amont de chaque microcentrale sera donné par :

$$\textbf{Taux d'échappement} = \% \textbf{PbM1} \times \% \textbf{PbM2} \times \% \textbf{PbM3} \times \% \textbf{PbMn}$$

Avec PbMn = pourcentage de passage au barrage de la microcentrale n (située à l'amont des microcentrales 1, 2 et 3).

4. RESULTATS

4.1. Paramètres environnementaux : condition de vie et de croissance du saumon dans la Gartempe

4.1.1. Débits

Suite à l'élaboration de box-plots répertoriant les débits en fonction de l'année à chaque station, il n'a pas été possible de distinguer à l'œil nu de réelles tendances ni de périodes homogènes. On a donc analysé les données par décennies successives, allant de [1962 - 1971] à [2002 - 2011]. La période [1992 ; 2001] n'a pas été étudiée à la station de Montmorillon car les données de certaines années ne sont pas disponibles.

Le test employé est celui de Kruskal-Wallis qui permet de comparer la moyenne de la somme des rangs QJM de chaque décennie pour chaque mois de l'année (kruskalmc sous R).

– A Montmorillon (PK = 50 km)

Le **Tableau 5** donne le résultat des tests de comparaisons des débits des décennies sur tous les mois de l'année. La différence est significative (« TRUE ») si elle dépasse la valeur critique calculée par le test. Les décennies les plus semblables sont [1962 - 1971] - [1982 - 1991], avec 17 % de comparaisons « significatives » (2 mois sur 12). Celles qui sont les plus différentes sont [1972 - 1981]-[2002 - 2011], avec 75 % de comparaisons « significatives » (9 mois sur 12).

Tableau 5 : résultats des tests de comparaison de Kruskal-Wallis (kruskalmc avec p-value = 0,05) appliqués aux QJM pour chaque mois entre les décennies à Montmorillon (TRUE = différence significative ; FALSE = différence non significative)

	Mois											
Décennies comparées	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
[1962;1971]-[1972;1981]	TRUE	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	FALSE	TRUE
[1962;1971]-[1982;1991]	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE
[1962;1971]-[2002;2011]	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE
[1972;1981]-[1982;1991]	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	TRUE
[1972;1981]-[2002;2011]	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
[1982;1991]-[2002;2011]	FALSE	TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE

– A Folles (PK = 138 km)

Le **Tableau 6** donne le résultat des tests de comparaisons des débits des décennies sur tous les mois de l'année. Les décennies les plus semblables sont [1962 - 1971]-[1982 - 1991], avec 33% de comparaisons « significatives » (4 mois sur 12). Celles qui sont les plus différentes sont [1962 - 1971]-[2002 - 2011] et [1992 - 2001]-[2002 - 2011] avec 83 % de comparaisons « significatives » (10 mois sur 12).

Tableau 6 : résultats des tests de comparaison de Kruskal-Wallis (kruskalmc avec p-value = 0,05) appliqués aux QJM pour chaque mois entre les décennies à la station de Folles (TRUE = différence significative ; FALSE = différence non significative)

	Mois											
Décennies comparées	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
[1962;1971]-[1972;1981]	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE
[1962;1971]-[1982;1991]	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE
[1962;1971]-[1992;2001]	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE

[1962;1971]-[2002;2011]	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE
[1972;1981]-[1982;1991]	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
[1972;1981]-[1992;2001]	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	FALSE
[1972;1981]-[2002;2011]	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
[1982;1991]-[1992;2001]	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
[1982;1991]-[2002;2011]	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	TRUE
[1992;2001]-[2002;2011]	TRUE	TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE

– Montmorillon et Folles :

Les tests avec différences significatives (« TRUE ») sont extraits afin d'être analysés de manière plus précise. En effet, les QJM sont significativement différents, mais il est intéressant de savoir en quoi ils le sont. Ainsi, pour chaque différence significative, les QJM médians des décennies concernées sont comparés.

Les **Figure 9** et **Figure 10** montrent que la décennie [2002 - 2011] est la plus sèche depuis 1962 avec respectivement 69 % et 50 % des débits significativement plus faibles que les autres à Folles et à Montmorillon. A l'inverse, la décennie [1992 - 2001] est celle qui comprend les plus forts débits, avec 56 % des débits significativement plus forts que les autres décennies contre 6 % de significativement plus faibles à Folles. Enfin, la décennie [1982 - 1991] est la 2^{ème} décennie la plus sèche avec 38 et 19 % des débits significativement plus faibles que les autres décennies, contre 13 % et 11 % significativement plus forts à Folles et à Montmorillon. Enfin, les décennies [1962 - 1971] et [1972 - 1981] sont les plus proches depuis 1962. Ainsi, malgré une diminution des débits ces dix dernières années, on ne remarque pas une tendance réelle d'évolution des débits sur plusieurs décennies.

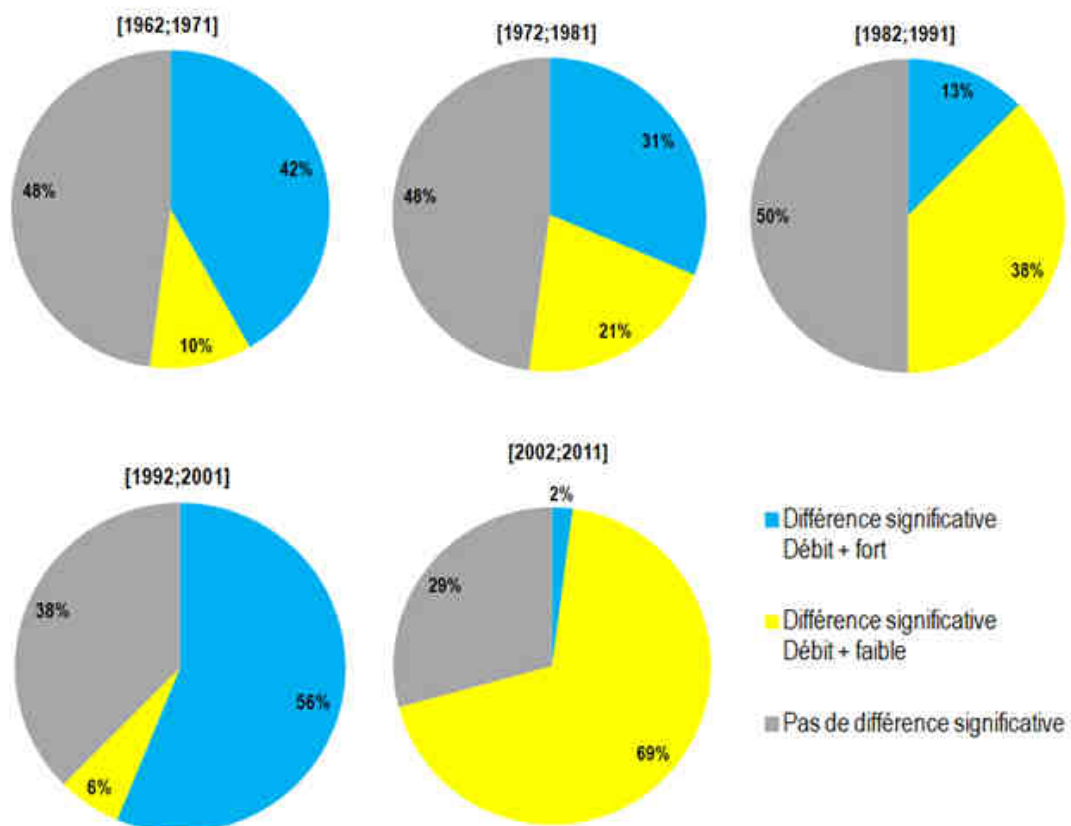


Figure 9 : pourcentage de mois d'une décennie donnée dont les QJM diffèrent significativement, ou non, de 1962 à 2011, à Folles. Test de Kruskal-Wallis (kruskalmc avec p-value = 0,05).

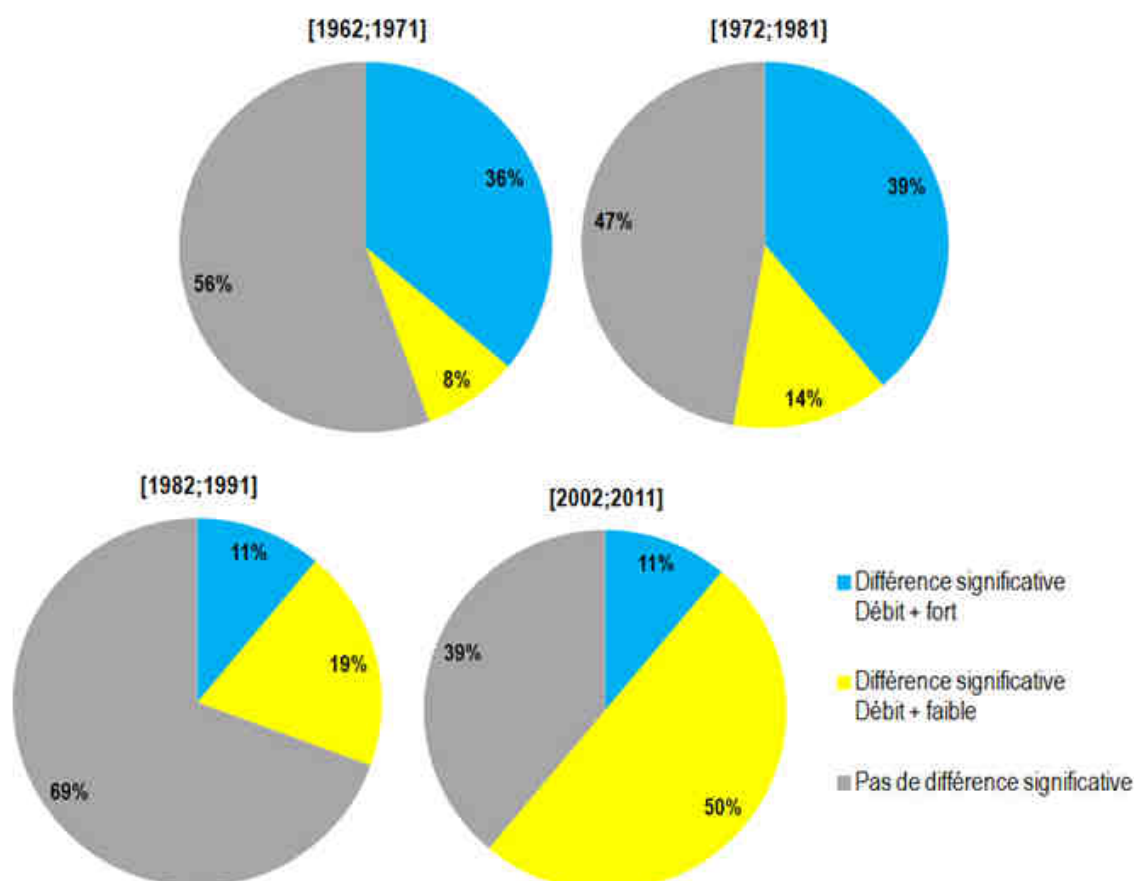


Figure 10 : pourcentage de mois d'une décennie donnée dont les QJM diffèrent significativement, ou non, de 1962 à 2011, à Montmorillon. Test de Kruskal-Wallis (kruskalmc avec p-value = 0,05)

La **Figure 11** présente un bilan des QJM significativement différents en fonction des mois de l'année. Elle indique qu'il n'y a pas de mois dans l'année où les différences de débits semblent majoritaires. Si une décennie est plutôt sèche, elle le sera sur la totalité des mois et non pas sur certains mois en particuliers.

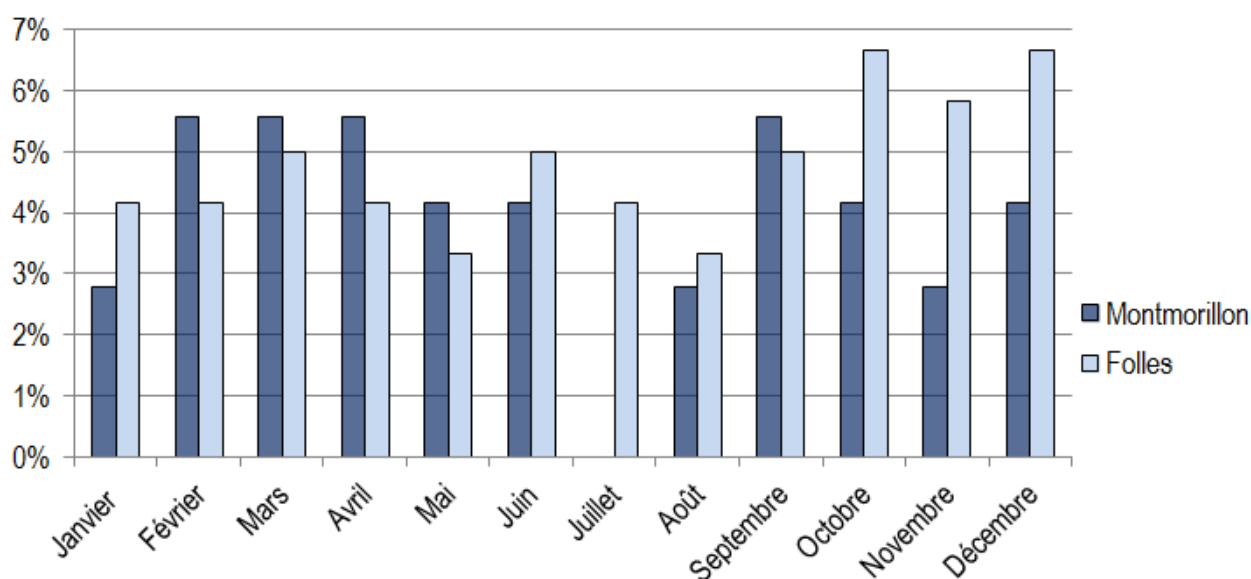


Figure 11 : pourcentage de données par mois ayant des débits significativement différents lors des tests de comparaison (kruskalmc avec p-value=0,05) des QJM de 1962 à 2011 à Montmorillon et à Folles.

4.1.2. Température

Les données des quatre stations thermiques d'Yzeures-sur-Creuse (PK = 4,5 km), St Bonnet de Bellac (PK = 84 km), Nazat (PK = 122 km) et Sebrot (PK = 162 km) ont été analysées et comparées dans leur distribution des températures pour chaque stade de développement du saumon (cf 3.1.2) Les résultats numériques complets de l'analyse se trouvent en **Annexe 8**.

– Période de fraie :

On observe globalement, un gradient croissant amont / aval des températures, sauf pour la station d'Yzeures qui semble avoir des températures similaires à la station de Nazat (**Figure 12**). A St Bonnet et à Nazat, 55 % des données de températures sont comprises dans la gamme optimale, contre 47 % à Yzeures et à Sebrot. La station la plus éloignée de l'optimal à la hausse est St Bonnet pour 6 % des données et à la baisse Sebrot pour 53 %.

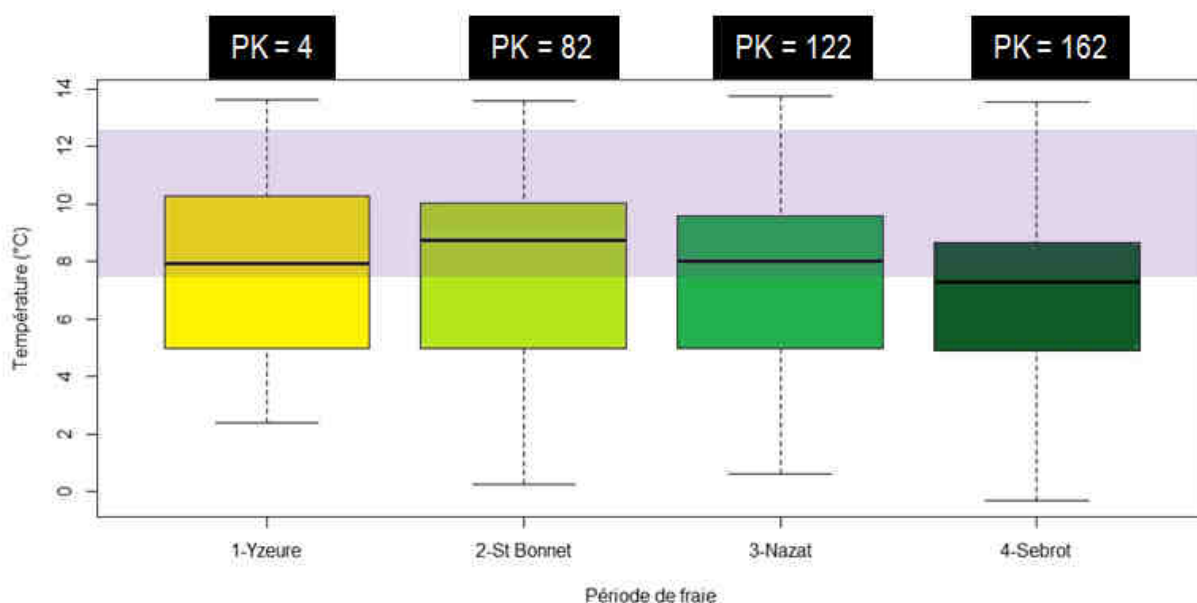


Figure 12 : répartition des températures aux 4 stations thermiques de la Gartempe pour la période de fraie (la zone mauve correspond aux températures optimales selon la bibliographie ; les rectangles sont délimités par les percentiles 25 % et 75 %)

– Période d'incubation :

Les données de températures des 4 stations sont globalement comprises dans l'optimal et ne dépassent jamais le seuil léthal (**Figure 13**). Sebrot enregistre une température maximale de 13,1°C contre 12,3 ; 11,9 et 12,7 respectivement pour St-Bonnet ; Nazat et Sebrot. Enfin, c'est la station d'Yzeures qui dépasse le plus souvent la gamme optimale, pour 12 % de ses données.

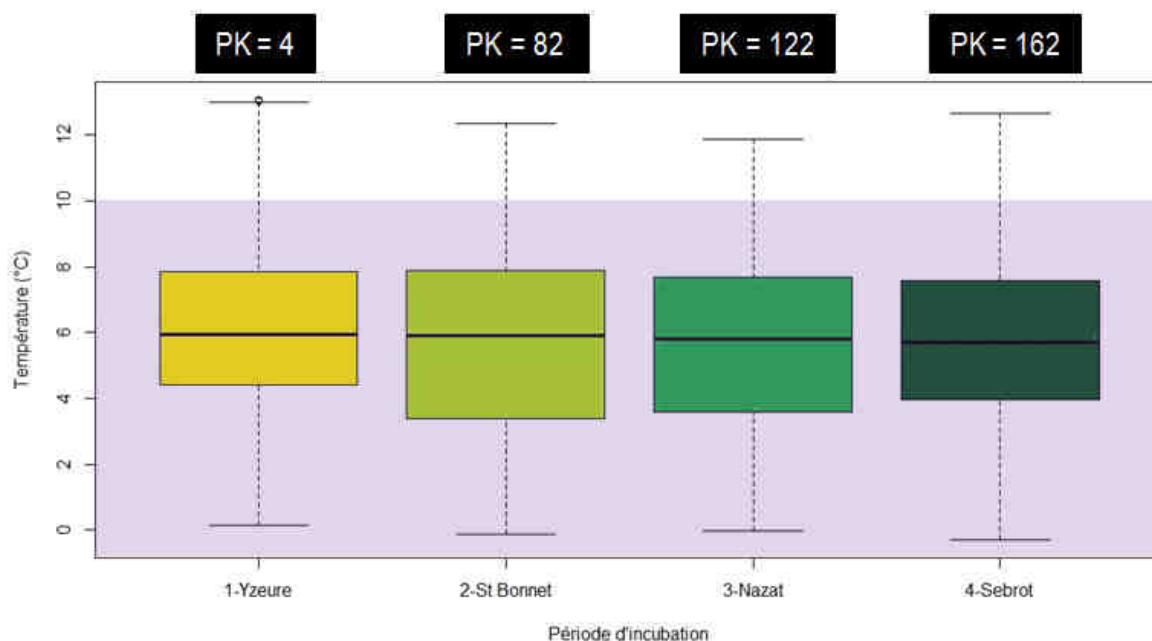


Figure 13 : répartition des températures aux 4 stations thermiques de la Gartempe pour la période d'incubation (la zone mauve correspond aux températures optimales selon la bibliographie ; les rectangles sont délimités par les percentiles 25 % et 75 %)

– Période de croissance printanière :

La **Figure 14**, montre un gradient croissant des températures de l'amont vers l'aval, sauf pour la station d'Yzeures, qui a une valeur médiane de 17,1°C, plus faible que la station de St-Bonnet à l'amont. La station de St-Bonnet a 58 % de ses données dans la gamme optimale de croissance, contre 44 %, 51 % et 25 % à Yzeures, Nazat et Sebrot. Sebrot enregistre des températures majoritairement plus froides que l'optimal (67 %). Les stations d'Yzeures et St-Bonnet, les plus aval, ont 16 % de leurs données supérieures au seuil (10°C). Enfin, les stations de St-Bonnet et Nazat enregistrent des températures supérieures au seuil létal pour respectivement 1,1 et 0,4 % de leurs données. A St-Bonnet, cela représente 24 h, dont deux fois 10 h de suite en juin 2011 et 9h à Nazat, dont 6 h consécutives en juin 2011.

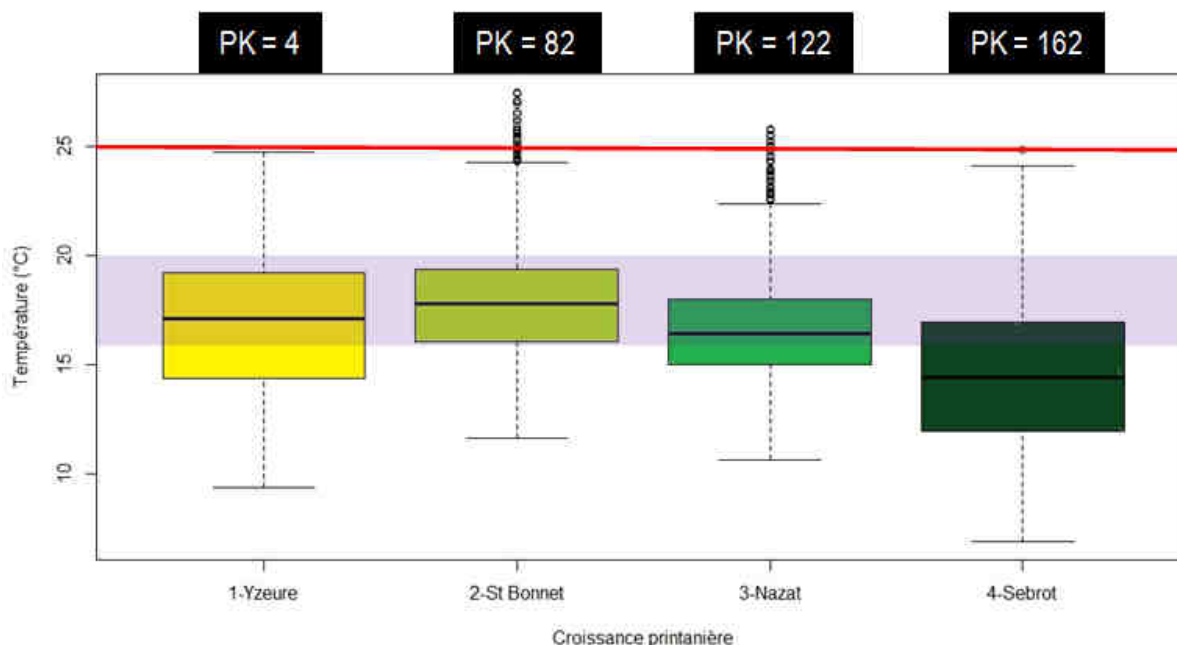


Figure 14 : répartition des températures au niveau des 4 stations thermiques de la Gartempe pour la période de croissance printanière (la zone mauve correspond aux températures optimales)

selon la bibliographie et la limite en rouge au seuil léthal ; les rectangles sont délimités par les percentiles 25 % et 75 %)

– Période de croissance estivale et automnale :

La **Figure 15** montre un gradient croissant amont / aval des températures. Nazat enregistre la plus forte proportion de valeurs comprises dans la gamme optimale, avec 45 % contre 37 % à Sebrot et St Bonnet et 30 % à Yzeures. La température maximale est atteinte à St-Bonnet, avec 26,7 °C (+1,7° C par rapport au seuil léthal) contre 26,2 °C à St Bonnet et 25,7°C à Yzeures et Sebrot. Ainsi, les 4 stations enregistrent des températures supérieures au seuil léthal. Ces dépassements représentent 0,4 % de toutes les données à Yzeures (dont 30 h de suite en juillet 2010), 1 % à St-Bonnet (dont 14 h de suite en août 2011), 0,3 % à Nazat (dont 2 fois 9 h consécutives en août 2011) et 0,9 % à Sebrot (dont 10 jours en 2003, 1 en 2006 et 1 en 2011: températures horaires). Enfin, Yzeures a 43 % de ses températures supérieures à l'optimal contre 34 %, 17 % et 18 % à St-Bonnet, Nazat et Sebrot.

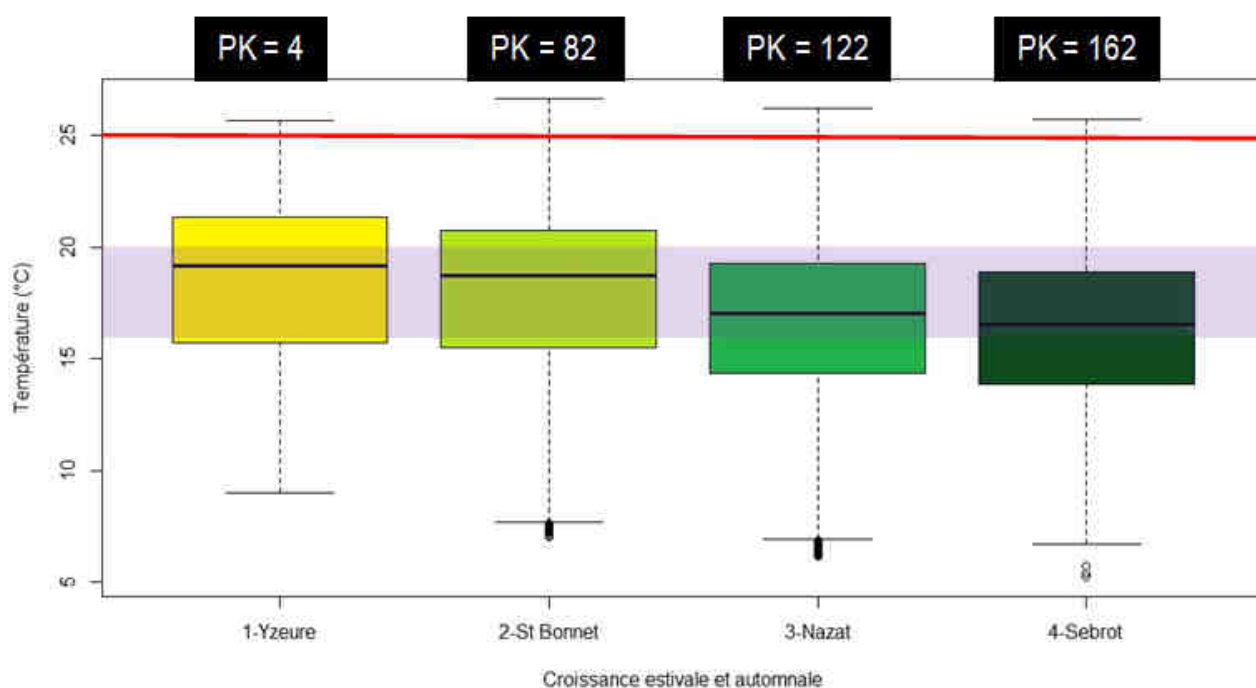


Figure 15 : répartition des températures aux 4 stations thermiques de la Gartempe durant la période de croissance estivale et automnale (la zone mauve correspond aux températures optimales selon la bibliographie et la limite en rouge au seuil léthal ; les rectangles sont délimités par les percentiles 25 % et 75 %.)

4.1.3. pH

D'après la **Figure 16**, le pH est généralement compris dans l'optimum, qui est situé entre 6,5 et 8 d'après FINN (2007 in GORONFLOT, LEGRAND, & BAISEZ, non publié) pour tous les stades de développement du saumon. Seules six données sur les 218 de l'ensemble des stations sortent légèrement de la gamme de pH optimal (11/2009 : pH = 6,2 ; 06/2010 : pH = 6,3 ; 08/2010 : pH = 8,2 ; 01/2011 : pH = 9,3 ; 11/2011 : pH = 8,1 et 02/2012 : pH = 8,1). L'écart est en général modeste (de 0,1 à 0,3), sauf dans un cas (+ 1,3). Ce dernier a été mesuré en janvier 2011 à Grand-Bourg, sur la haute Gartempe.

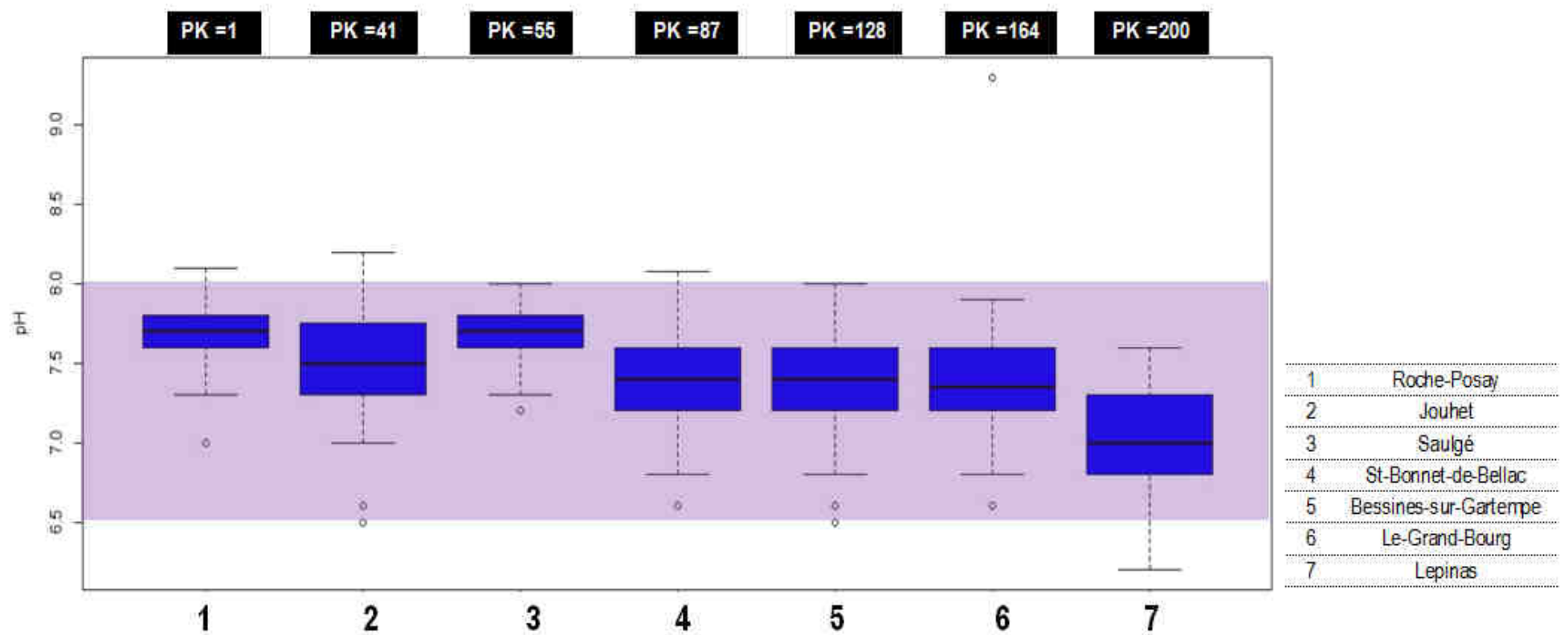


Figure 16 : pH aux stations de mesures de la Gartempe de mai 2009 à février 2012 (prélèvements mensuels) et comparaison à la gamme optimale pour le saumon selon la bibliographie (zone mauve). Les rectangles sont délimités par les percentiles 25 % et 75 % (données : OSUR)

4.1.4. Taux de saturation en O₂

L'O₂ dissous est directement lié à la température de l'eau. Les valeurs de références seront exprimées en % de saturation en O₂. Selon DUMAS (2007), l'optimum pour le saumon correspond à un taux de saturation en O₂ > 78% (in GORONFLOT, LEGRAND, & BAISEZ, non publié).

D'après le **Tableau 7** et la **Figure 17**, le taux de saturation en O₂ de la Gartempe est compris dans l'optimum du saumon, sauf pour le mois de décembre 2010 au niveau de quatre stations et également le mois de juillet 2010 pour une autre station. Pour décembre 2010, les taux de saturation en O₂ s'éloignent de -17 % par rapport à l'optimum pour la valeur la plus basse et de -1 % en juillet 2010.

Tableau 7 : taux de saturation en O₂ aux stations de mesures de la Gartempe, ordonnées d'amont en aval, de mai 2009 à février 2012 (prélèvements mensuels) et comparaison à l'optimum pour le saumon (données : OSUR).

	LEPINAS PK = 1	LE GRAND-BOURG PK = 41	BESSINES-SUR- GARTEMPE PK = 55	SAINT-BONNET- DE-BELLAC PK = 87	SAULGE PK = 128	JOUHET PK = 164	ROCHE- POSAY PK = 200
Minimum	63%	94%	64%	85%	84%	71%	61%
Q1	92%	97%	98%	94%	96%	87%	86%
Médiane	97%	101%	101%	98%	103%	93%	95%
Q3	101%	106%	105%	105%	108%	96%	101%
Maximum	109%	123%	117%	112%	122%	111%	130%
Nombre de valeurs	34	33	34	33	16	32	33
Optimum > 78%							
Date(s) S(O ₂) < optimum	15/12/2010		07/12/2010			19/07/2010 06/12/2010	06/12/2010

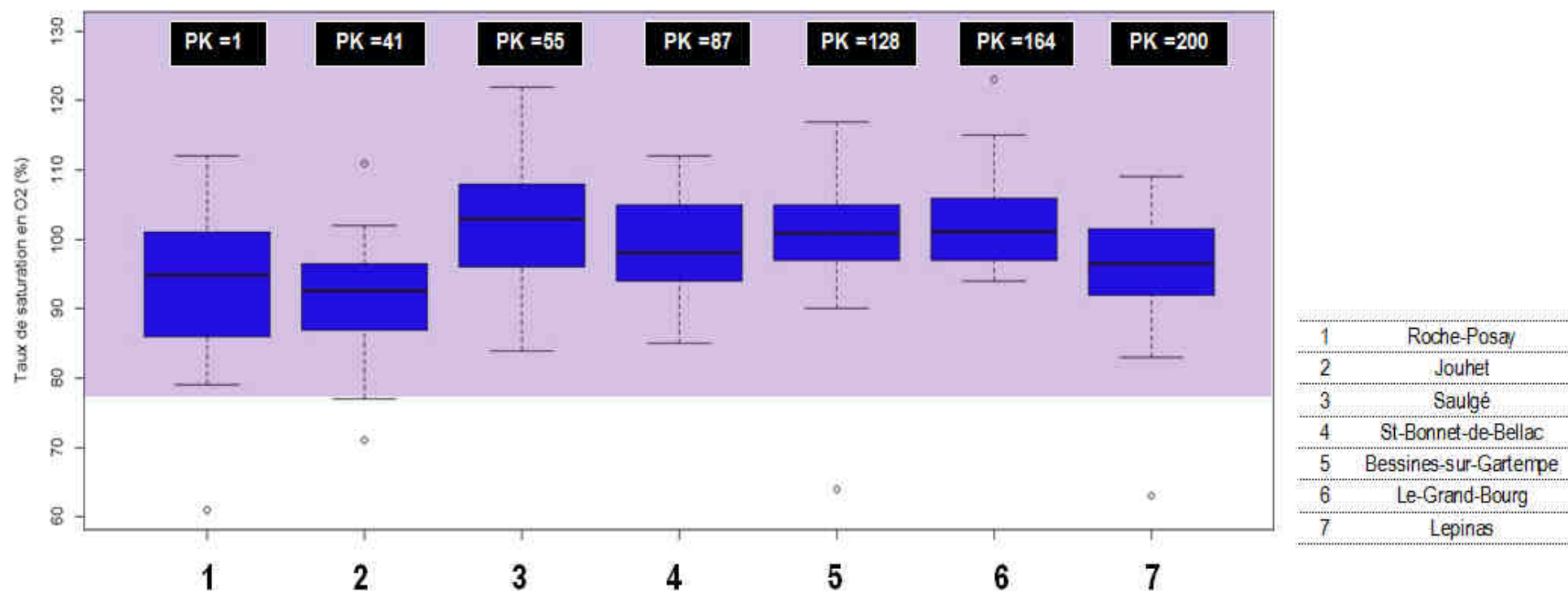


Figure 17 : taux de saturation en O₂ aux stations de mesure de la Gartempe ordonnées de l'aval vers l'amont (prélèvements mensuels de mai 2009 à février 2012) et comparaison à l'optimum pour le saumon selon la bibliographie (zone mauve). Les rectangles sont délimités par les percentiles 25 % et 75 % (données : OSUR).

4.1.5. Nitrites

D'après le **Tableau 8**, la concentration en nitrites de la Gartempe est toujours en dessous de la CL50 (96h) (concentration à partir de laquelle 50 % de la population meurt après 96 h d'exposition) de truites arc-en-ciel, prise comme substitut au saumon (MASSA & al. (2000) in GORONFLOT, LEGRAND, & BAISEZ, non publié) pour des concentrations en $[Cl^-]$ de 0,35 mg/L et 10 mg/L, soit $[NO_2^-] < 0,24$ mg/L. Sous l'hypothèse que la truite arc-en-ciel a les mêmes exigences que le saumon, les nitrites ne semblent pas limitants pour leur survie, avec une concentration en NO_2^- maximale de 0,19 mg/L.

Tableau 8 : concentration en nitrites aux stations de mesures de la Gartempe (prélèvements mensuels) de mai 2009 à Février 2012 et comparaison à un seuil critique pour le saumon (données : OSUR).

	LEPINAS PK = 1	LE GRAND- BOURG PK = 41	BESSINES-SUR- GARTEMPE PK = 55	SAINT-BONNET- DE-BELLAC PK = 87	SAULGE PK = 128	JOUHET PK = 164	ROCHE-POSAY PK = 200
Minimum (mg/L)	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
Q1 (mg/L)	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
Médiane (mg/L)	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03
Q3 (mg/L)	0,02	0,03	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04
Maximum (mg/L)	0,02	0,04	0,19	0,06	0,13	0,1	0,11
Nb de données (relevés mensuel)	34	34	34	34	17	32	33
CL50 (96h) avec $[Cl^-]=0,3$ mg/L					0,24 mg/L		
CL50 (96h) avec $[Cl^-]=10$ mg/L					3 mg/L		
Nb de valeurs > CL50 (96h)	0	0	0	0	0	0	0

4.1.6. Ammoniaque

Concernant l'ammoniaque, seule la concentration en ammonium $[NH_4^+]$ est répertoriée dans les données OSUR. Une grille de conversion de $[NH_4^+]$ en $[NH_3]$, qui est fonction de la température et du pH de l'eau, a été élaborée par le Conseil canadien des ministres de l'environnement et publiée dans une fiche de recommandation pour la qualité des eaux (CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT, 2010). Cette grille a permis de calculer $[NH_3]$, élément chimique toxique, contrairement à $[NH_4^+]$ (**Annexe 9**).

Ce sont les conditions environnementales qui déterminent la dangerosité de l'ammoniaque suivant sa concentration. KNOPH (1992, in GORONFLOT, LEGRAND, & BAISEZ, non publié) indique que si la teneur en ammoniaque augmente en même temps que la température et le pH, sa toxicité est d'autant plus grande que la température de l'eau est froide. Ainsi, une Concentration Létale 50 (CL50), c'est-à-dire une concentration à partir de laquelle 50 % de la population meurt après 96 h d'exposition, a été établie pour deux températures différentes : 1,8°C et 12,5°C.

D'après le **Tableau 9**, la concentration en ammoniaque sur la Gartempe est toujours plus faible que le seuil léthal pour les juvéniles de saumon. Sur l'ensemble des stations, $[NH_3]$ maximale est de 0,013 mg/L, donc trois fois inférieure au seuil léthal. Les médianes des $[NH_3]$ sont quant à elles de l'ordre de 10⁻³ à 10⁻⁴ mg/L, soit 10 à 100 fois inférieures au seuil léthal. La concentration en ammoniaque étant directement liée à la concentration en ammonium, à la température et au pH de l'eau, et ce dernier étant plutôt neutre sur la Gartempe, cela ne permet pas d'atteindre une concentration létale d'ammoniaque.

Tableau 9 : concentration en [NH₃] aux stations de mesure de la Gartempe (prélèvements mensuels) et comparaison à deux CL50 (96h) pour des températures de 1,8 et 12,5°C (données : OSUR).

	LEPINAS PK = 1	LE GRAND-BOURG PK = 41	BESSINES-SUR- GARTEMPE PK = 55	SAINT-BONNET- DE-BELLAC PK = 87	SAULGE PK = 128	JOUHET PK = 164	ROCHE-POSAY PK = 200
Minimum (mg/L)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001
Q1 (mg/L)	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0,0004	0,0011	0,0009
Médiane (mg/L)	0,0002	0,0002	0,0004	0,0003	0,0006	0,0011	0,0016
Q3 (mg/L)	0,0006	0,0005	0,0008	0,0008	0,0012	0,0020	0,0027
Maximum (mg/L)	0,0113	0,0016	0,0024	0,0072	0,0053	0,0046	0,0129
Nombre de valeurs	34	34	34	34	17	32	33
CL50 (96h) avec pH=6,4 et T=1,8°C					0,030 mg/L		
CL50 (96h) avec pH=6,4 et T=12,5°C					0,146 mg/L		
Nb de valeur(s) > CL50 (96h)	0	0	0	0	0	0	0

4.2. Potentiel d'accueil de la Gartempe et limites de son exploitation par le saumon

4.2.1. Sectorisation de la Gartempe

4.2.1.1. En fonction de la pente

Vingt-cinq tronçons homogènes du point de vue de leur pente ont été distingués suite aux tests statistiques effectués (voir § 3.3.1). La Gartempe est donc découpée d'aval en amont depuis le tronçon 1 jusqu'au tronçon 26 (les tronçons 1 et 2 sont situés dans le département 86, donc en aval de la zone cartographiée). Chaque tronçon suit une Loi Normale (dispersion des données suivant une loi Normale autour de la moyenne de l'échantillon). Les tests d'homogénéité deux à deux, résumés à l'**Annexe 10** conduisent à la conclusion que les tronçons sont tous différents deux à deux, d'aval en amont, sauf les tronçons 23 et 24 (p-value = 0,4587 > 0,05), qui sont proches de la source de la Gartempe. Ces deux derniers tronçons ont donc des pentes relativement proches. Cependant, lorsqu'ils sont rassemblés en un seul et même tronçon, l'échantillon ne suit pas une loi normale ; la séparation des deux se justifie donc.

Suite à la campagne de terrain et lors du traitement des résultats, certains tronçons qui ne possédaient qu'une seule donnée de pente ont été agrégés au tronçon limitrophe le plus pertinent, afin d'avoir une taille suffisante pour effectuer un calcul de perte d'habitat. De plus, les secteurs identifiés n'ont pas été délimités strictement au PK du premier seuil se trouvant sur le tronçon, mais en fonction de la rupture de pente naturelle identifiée sur le profil en long. Ainsi, pour l'analyse des résultats, les tronçons 5 à 9 ont été agrégés, ainsi que les tronçons 13 et 14 et 20 à 22.

La **Figure 18** montre la variabilité de la pente au niveau des différents tronçons identifiés ainsi que leur longueur respective. La pente moyenne de chaque tronçon varie de 0,06 % à 1,15 %. La longueur des tronçons varie quant à elle de 800 m (tronçon 18 à partir du PK 141,7) à 56 km pour le plus aval.

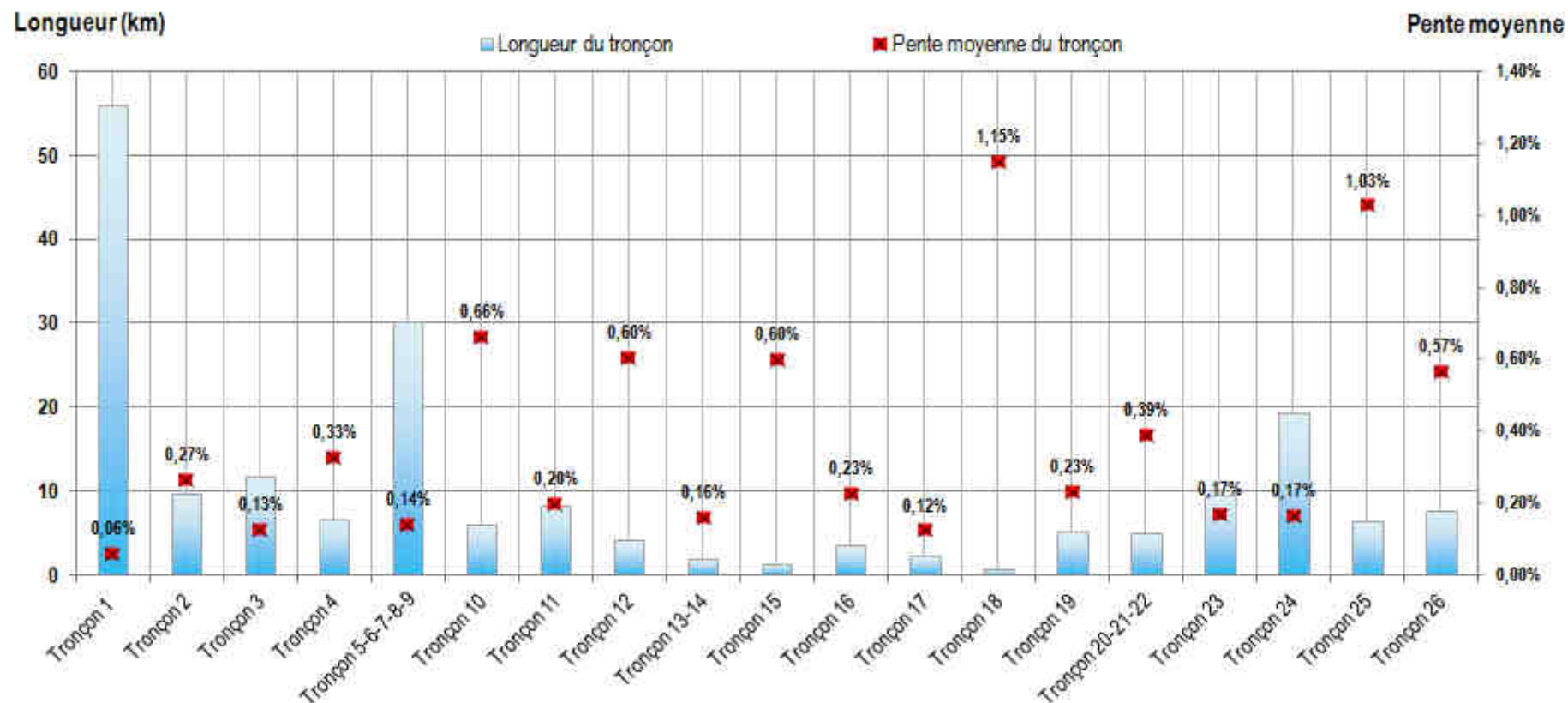


Figure 18 : pente moyenne et longueur des tronçons homogènes de la Gartempe, ordonnés d'aval en amont (données : Institut Géographique National)

4.2.1.2. En fonction de sa capacité de production

– Comparaison des indices d'abondance (IA) des stations alevinées :

On a cherché à rassembler, autant que possible, les stations de pêche en secteurs de productions homogènes. Sur la **Figure 19**, on remarque un gradient croissant de production d'aval en amont, davantage mis en évidence par la Figure 20. De plus, au regard de l'allure de la **Figure 19**, des données de température (limitantes l'été à St Bonnet), de la sectorisation en tronçons de pentes homogènes et de nos connaissances de terrain, il semble qu'on puisse distinguer 3 secteurs de productions différentes dans la Gartempe. Le test de Kruskal-Wallis (kruskalmc avec p-value = 0,05) effectué sous R sur les IA de ces secteurs confirme cette segmentation : les IA des 3 secteurs sont significativement différents. Le secteur S1 s'étend de la confluence jusqu'au PK 114, le S2 jusqu'au PK 160 et le S3 jusqu'au PK 184. L'affectation des stations de pêche à chaque secteur a été réalisée en tenant compte de la sectorisation par tronçon homogène de pente (§ 4.2.1.1), le nom des stations de pêche se trouve en **Annexe 11**.

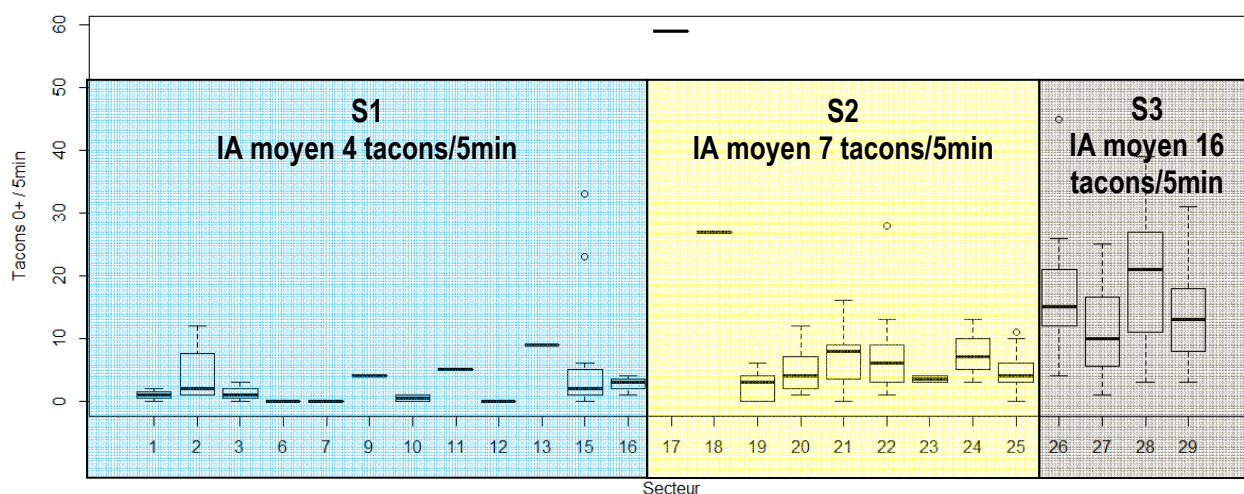


Figure 19 : indices d'abondance (IA) de 1999 à 2011 des stations de pêche soumises à déversements préalables d'alevins, réparties d'aval en amont.

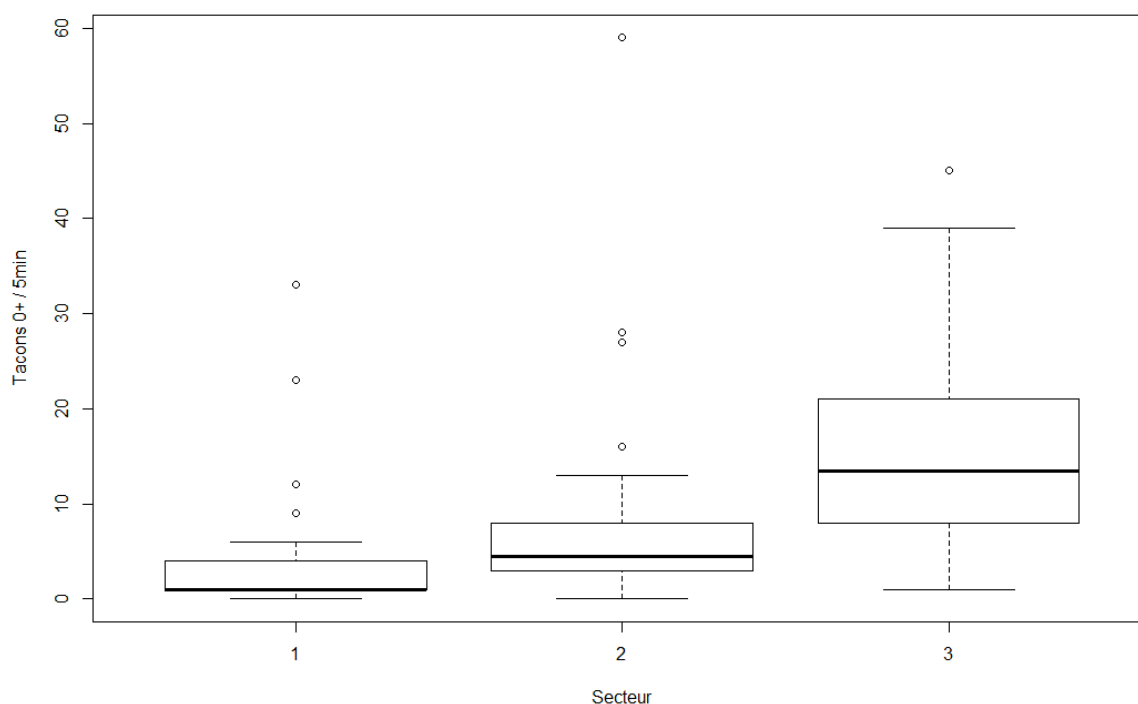


Figure 20 : indices d'abondance en 5 minutes selon les secteurs de production distingués (S1 à S3) à la Figure 15, répartis d'aval en amont.

– Sectorisation par valeur productive :

Il semble donc que les secteurs S1, S2 et S3 aient des valeurs productives différentes, avec respectivement des IA moyens de 4, 7 et 16 tacons/5 minutes. Le S3 se détache largement des autres secteurs, avec une valeur productive moyenne nettement supérieure (16 tacons/5 Mn).

4.2.2. Potentiel actuel de la zone d'étude

4.2.2.1. En terme de surface productive

Les relevés de terrain puis la cartographie des habitats de croissance des juvéniles ont permis de recenser, en amont de la limite départementale Vienne/Haute-Vienne (Pont de Massugeon, PK = 70) jusqu'à la Ribière-Jalade (limite de colonisation du saumon selon Bachelier, 1964), 484 647 m² (48,5 ha) de surface productive (en appliquant la formule : SP = SRR + (SPC/5)).

Après traitement des données de terrain, 40,9 % des surfaces d'habitats productifs ont un taux d'ensablement inférieur à 25 %, 41,8 % se situent entre 25 et 50 % d'ensablement et 17,3 % ont un taux supérieur à 50 %.

Si on ne retient que les zones productives ensablées à moins de 50 %, l'estimation de la surface productive est alors de 400 916 m² (40 ha) et de 198 285 m² (19,8 ha) si on considère que l'ensablement maximum acceptable est de 25 % (**Figure 21**).

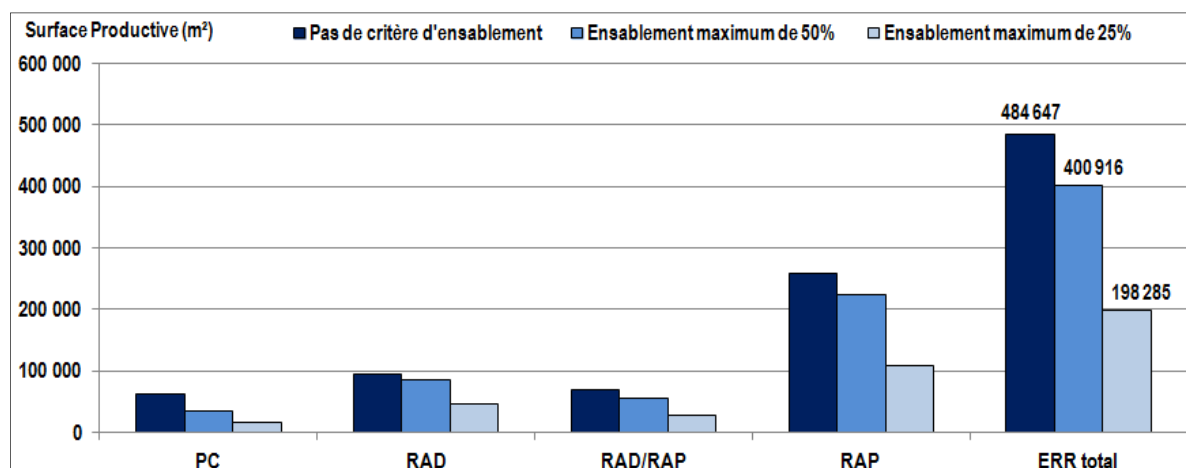


Figure 21 : surfaces de PC (Plats Courants), RAD (Radiers), RAD/RAP (Radiers/Rapides), RAP (Rapides) et SP totale (Surface Productive) de la Gartempe limousine, globalement ou en tenant compte de 2 niveaux d'ensablement.

En pourcentage des faciès productifs cartographiés (donc hors profonds et plats), les rapides sont majoritaires (53 %), suivis des radiers (20 %), des radiers/rapides (14 %) et enfin des plats courants (13 %). Ces derniers sont les faciès d'écoulement les moins productifs, du fait qu'on considère qu'ils représentent seulement 20 % d'une surface équivalente de radier ou de rapide (BAGLINIERE & CHAMPIGNEULLE, 1986). Cependant, leur surface totale est supérieure en valeur absolue à celles des radiers et rapides pris séparément.

La **Figure 22** représente la répartition des zones favorables aux tacons 0+ (SP où la granulométrie dominante est composée de Pierres, Cailloux ou Graviers) et aux tacons 1+ (SP où la granulométrie dominante est composée de Rochers/Blocs) (**Annexe 12**). Les SP à dominance « sable » ne sont ni comptabilisées dans les zones préférentielles des tacons 0+ ni des tacons 1+.

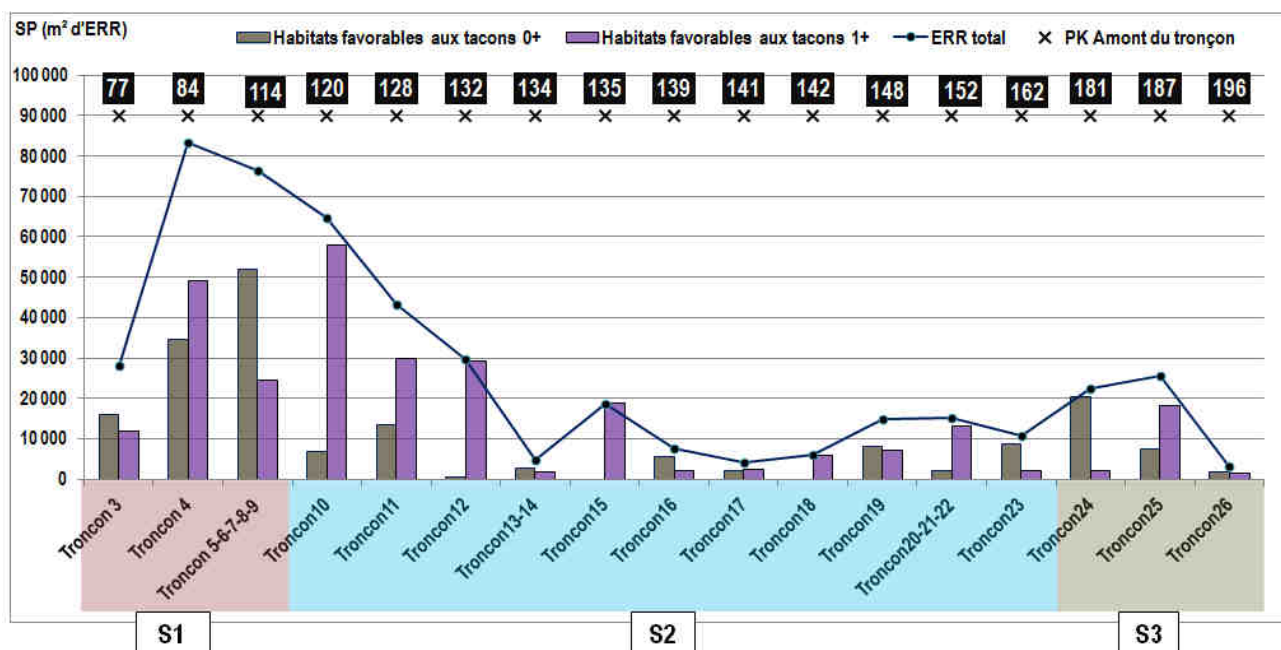


Figure 22 : répartition des zones favorables aux tacons 0+ et 1+ et SP totale de la Gartempe limousine en fonction des tronçons, d'aval en amont. On a fait figurer les secteurs S1 à S3 définis au § 4.2.1.2.

Les zones de production sont majoritairement situées dans la partie la plus aval de la zone d'étude. En effet, le secteur S1 totalise 41 % de la SP totale pour 44 km de cours d'eau, le S2, 48 % (48 km) et le S3, 11 % (34 km).

Si on considère seulement les surfaces réputées les plus favorables aux tacons 0+ (40 % de la SP totale), ces trois zones de production représentent respectivement 56 %, 27 % et 16 % de la surface d'habitats favorables totale et 31 %, 61 % et 8 % de celles réputées favorables aux tacons 1+ (60 % de la SP totale).

4.2.2.2. En terme de production de tacons et de géniteurs

– Production de tacons :

Rappelons que cette analyse ne tient pas compte du fait que la Gartempe puisse ou non être convenable pour la survie des œufs de saumon après la ponte ou pour les stades très précoces de vie sous graviers puis libre (émergence), étant donné que cette étude est basée sur des données de déversement d'alevins âgés d'au moins trois mois, relâchés en juin ou début juillet. Cependant, les taux de survies sous graviers évalués par LOGRAMI en 2011 étaient de 33 à 58 % sur 3 sites d'étude (Pochaud, Ardent et Ribbes) (LOGRAMI, 2012). L'incubation des œufs n'apparaît pas, à priori, comme un facteur limitant dans la Gartempe même s'il serait intéressant d'obtenir plus de données sur ce paramètre.

Au vue de cette étude, il semble que l'un des facteurs limitant la production finale de tacons est la présence de zones de croissances préférentielles des tacons 0+ (40 % des surfaces d'habitats où la granulométrie dominante n'est pas le sable (S), contre 60 % pour les tacons 1+). L'estimation de la production sera donc basée sur les zones favorables à ces derniers, soit 184 681 m².

Grâce aux données de SP préférentielles aux tacons 0+, de l'IA moyen des secteurs S1, S2 et S3 ainsi que du coefficient de conversion, un nombre de tacons potentiellement produits dans chaque secteur a été calculé. Le tableau suivant récapitule ces calculs :

Tableau 10 : Production potentielle de la Gartempe en tacons 0+ en fonction des hypothèses de productivité calculées à partir des Indices d'Abondance et par secteur de cours d'eau

Secteur de production	IA moyen (tacons/5Mn)	SP préférentielle aux tacons 0+ (m ²)	Densité D en tacons0+/100 m ² (D=0,358*IA moyen)	Nb de tacons 0+ (=SP préférentielle aux tacons 0+/100 * D)
S1	3,75	102 235	1,34	1 373
S2	6,98	49 611	2,50	1 240
S3	15,50	29 835	5,55	1 656
Total				4 268

La **Figure 23** illustre l'importance des zones situées à l'amont de la Gartempe pour la croissance des tacons 0+. En effet, les tronçons 24 et 25 (PK 162 à 187) totalisent 36,5 % de la production en tacons 0+ contre 32,2 % pour le S1 (PK 70 à 114) et 29,1 % pour le S2 (PK 114 à 162), si l'on ne tient compte que des surfaces préférentielles des tacons 0+. De plus, il faut noter que le S1 est une zone qui est potentiellement plus soumise à de fortes températures estivales.

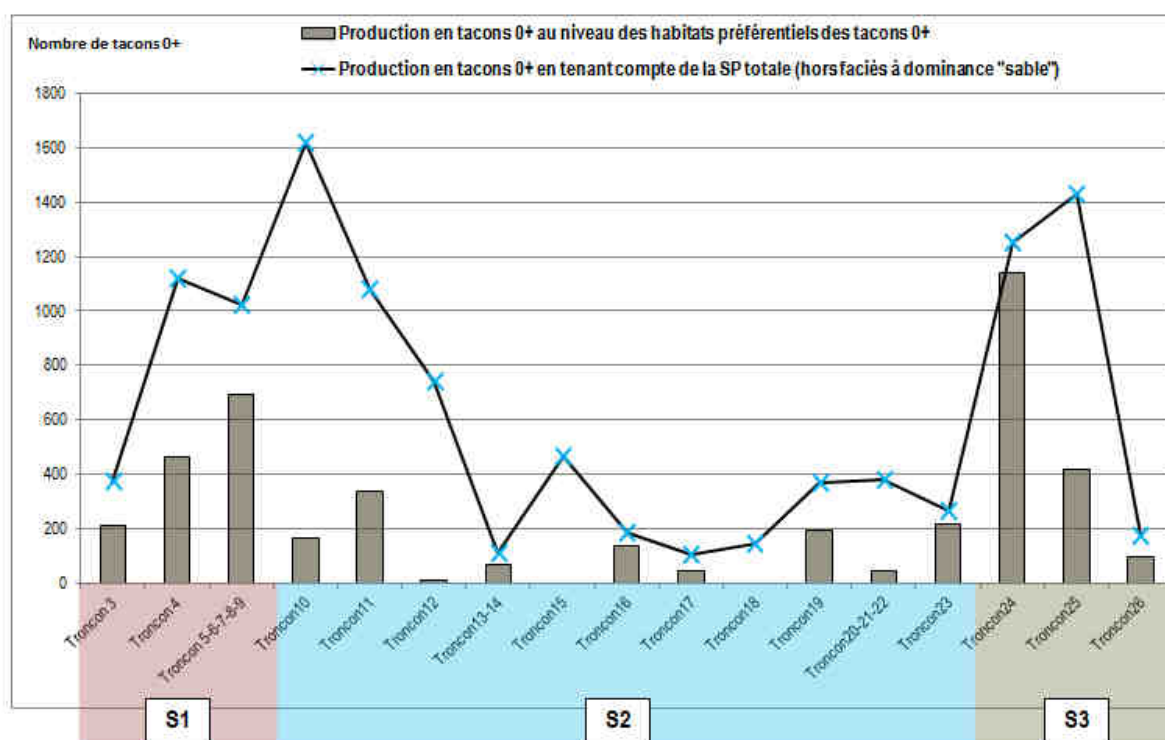


Figure 23 : estimation de la production en tacons 0+ après conversion des IA en densité/100 m² de SP (préférentielle des tacons 0+ et totale).

Ces calculs sont néanmoins à prendre avec précautions en rapport avec les calculs de productivité par tronçon issus des IA moyens, et non des taux d'implantation de juvéniles déversés (voir § 3.2.3).

Si on effectue un calcul théorique en rapport avec la surface de production potentielle en 0+ calculée, soit 184 681 m², et que l'on applique la production théorique de 3 smolts/100 m² (PREVOST & PORCHER, 1996), **on estime la production potentielle en smolts de la Gartempe à 5 450 smolts, ce qui est supérieur au nombre de tacons 0+ (stade inférieur) calculé par la première méthode.**

– Production théorique de géniteurs

Le calcul donne (§ 3.2.3), si l'on prend comme référence, la production en smolts des cours d'eau du Massif Armoricaïn de PREVOST et PORCHER (1996) et pour des taux de survie de smolts d'élevage, un nombre théorique de géniteurs à Descartes faible, de 12 à 78 individus (

Tableau 11). Pour des taux de retour de diverses rivières européennes, il serait de 43 à 240. Enfin, l'application de taux de retour de rivières françaises donnerait 93 à 213 saumons adultes.

Tableau 11 : nombre théorique de géniteurs remontant à Descartes, sur la base des données de PREVOST et PORCHER (1996 ; 3 smolts/100 m² d'ERR). L'estimation est basée sur des taux de retour de saumon de 1HM et 2HM dans le cas de smolts réintroduits et de smolts sauvages de différents pays publiés dans le WGNAS (ICES, 2010).

	Nbre potentiel de géniteurs	
	Min	Max
Base : 5 450 smolts (3 smolts/100m ² de SP, PREVOST & PORCHER, 1996)	Smolts d'élevage	
	Référence Norvège et Islande (1998-2007)	12 78
	Smolts sauvages	
	Référence Islande/Norvège/Irlande/UK (1998-2007)	43 240
	Référence France (1998-2007)	93 213

Tableau 12 : taux de survie pris pour l'estimation du nombre de géniteurs théorique de retour à Descartes

Taux de survie du smolt jusqu'au "homing"				
Smolts d'élevage	1HM (min)	1HM (max)	2HM (min)	2HM (max)
Référence Norvège et Islande (1998-2007)	0,7%	4,1%	0,1%	0,8%
Smolts sauvages	1HM (min)	1HM (max)	2HM (min)	2HM (max)
Référence Islande/Norvège/Irlande/UK (1998-2007)	1,6%	10,8%	0,6%	2,9%
Smolts sauvages	Min (tout HM)	Max (tout HM)		
Référence France (1998-2007)	1,7%	3,9%		

4.2.3. Potentiel perdu faute d'accès des saumons adultes

Les surfaces actuelles de production présentes dans la Gartempe ne sont cependant pas directement disponibles pour les géniteurs. En effet, de nombreux seuils jalonnent la Gartempe et rendent leur accès difficile. Ces derniers entraînent des retards de migration mais également des blocages⁵ en aval des zones de reproduction, quand les débits ne sont pas suffisants pour stimuler les adultes ou bien quand le franchissement n'est pas facilité (ex : plus faible dénivelé due aux crues, attractivité ou franchissabilité de la brèche, de la passe migratoire...).

Cependant, les 117 seuils anciennement répertoriés dans la Gartempe n'ont pas tous le même impact sur les migrations. De ce fait, il est important d'estimer, en fonction des zones de production situées à l'amont des seuils, jusqu'à quelle hauteur le saumon doit migrer pour que la population puisse mettre à profit un potentiel productif en tacons suffisant.

Les classes de franchissabilité des 117 seuils répertoriés et évalués « à dire d'expert » par, STEIBACH, SENEAL et COSYNS, n'aboutissent à aucun obstacle de classe 4 ou 5 (infranchissable ou total), et donnent 43 seuils en classes 2 ou 3 (37 % à impact significatif ou majeur) et 74 seuils de classe 0 ou 1 (63 %), c'est à dire ne posant pas problème majeur de remontée. Au final, seuls les 43 seuils classés 2 (impact significatif) ou 3 (impact majeur) peuvent gêner la migration de montaison du saumon.

⁵ Le blocage des saumons au pied des seuils peut avoir des conséquences dramatiques sur ces derniers en augmentant le risque de mortalité (prédation, température de l'eau...)

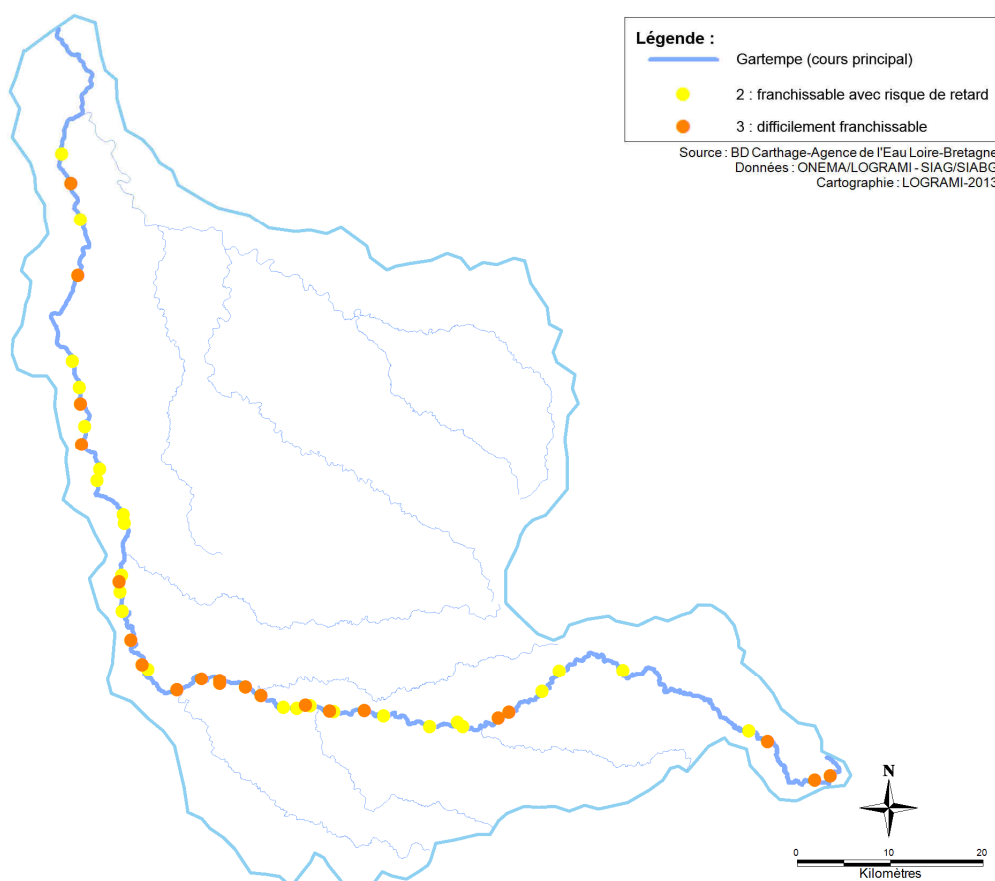


Figure 24 : Cartographie des seuils de la Gartempe considérés comme impactants pour le saumon atlantique à la montaison (classes 2 et 3) – Source : ONEMA/LOGRAMI

La **Figure 25** montre la répartition des surfaces productives en fonction de ces seuils pénalisants (classe 2 ou 3). Les surfaces de production situées de la confluence avec la Creuse jusqu'au PK 70 ont été cartographiées en 1999 (DER MIKAELIAN, 1999) et reprises dans cette étude, afin de présenter l'intégralité du potentiel de la Gartempe.

Les surfaces accessibles cumulées disponibles à l'amont de ces seuils problématiques croissent, sans palier marqué, le long de l'axe. On peut tout de même distinguer 7 paliers (matérialisés par des traits rouges sur la **Figure 25**) où l'amélioration notable de la franchissabilité d'un seuil aura un impact plus ou moins bénéfique pour la population de saumons, en termes de gain de surface productive située à l'amont immédiat du seuil rendu accessible (>5 % de la surface productive totale sans critère d'ensablement). Ainsi, la transparence des ouvrages dans la première zone permet de gagner de 0 à 2,68 % de surface productive par ouvrage. Par exemple, la transparence du seuil de Laprade située juste en amont permet à lui seul un gain de 6,91 % de la surface productive, soit 39 420 m² (**Tableau 13**).

L'ouvrage permettant la récupération la plus importante de surface productive en amont immédiat est celui de Chaumont avec 73 288 m², soit 12,8 % par rapport à la zone située en aval (**Tableau 13**).

Tableau 13 : Seuils constituant des paliers en termes de récupération de surface productive liée à leur transparence et gain en % et en surface productive (m²), sans critère d'ensablement

Seuil	Surface productive située immédiatement à l'amont (m ²)	Gain en % par rapport à la zone aval	Surface productive cumulée en amont (m ²)
La Prade	39 420	6,91	524 067
Chaumont	73 288	12,85	446 713
Laprade	38 668	6,78	287 509
La Villette	48 738	8,54	212 234
Gerbe	36 403	6,38	147 626
Sebrot	46 158	8,09	55 655

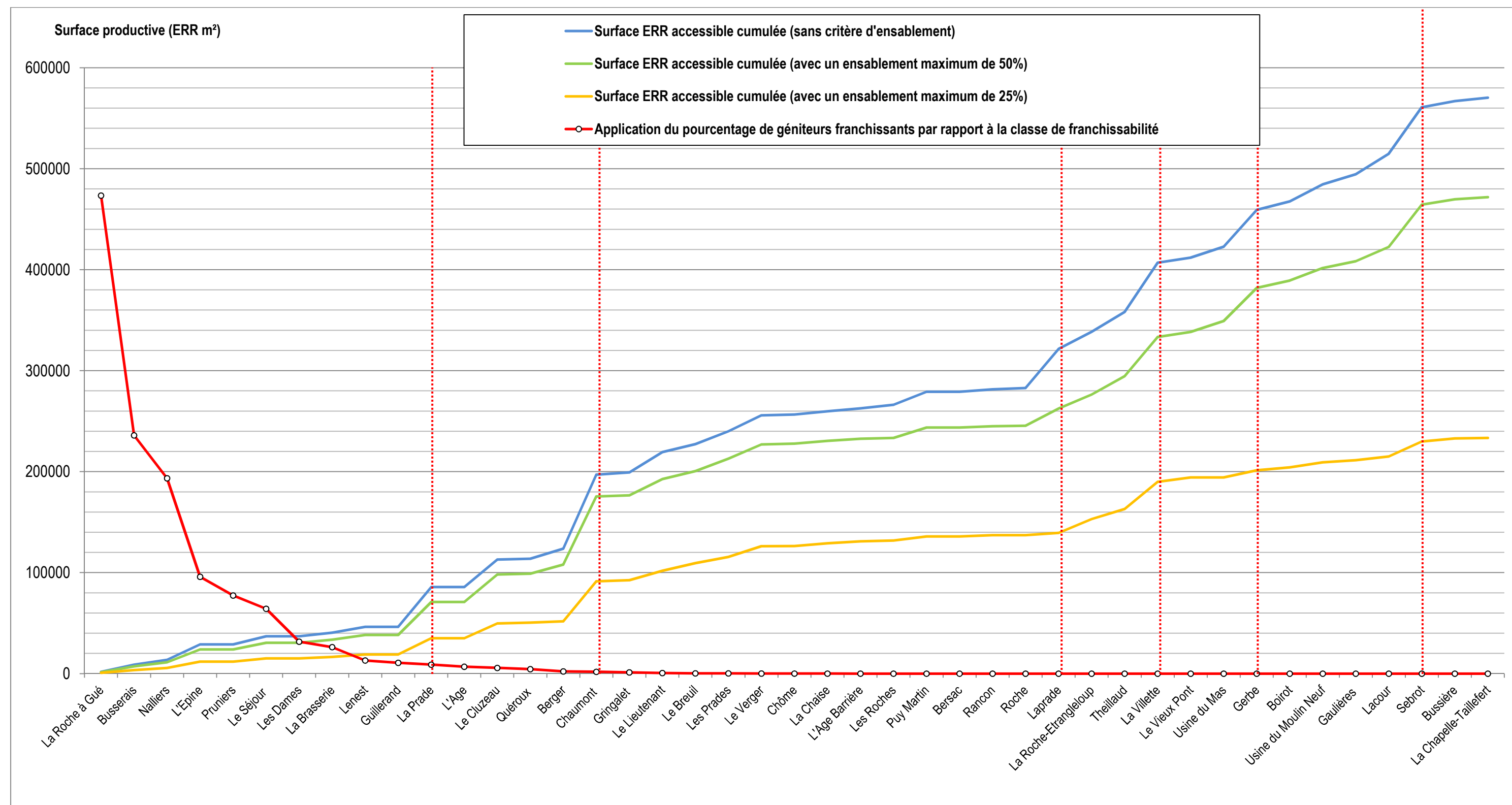


Figure 25 : Surfaces de production en juvéniles de saumon cumulées (ERR m2) en fonction des tronçons inter seuils d'aval en amont sur la Gartempe selon différents critères de taux d'ensablement et Pourcentage de géniteurs franchissant d'aval en amont selon l'application des taux de franchissabilité pour chaque seuil étudié

4.2.4. Potentiel perdu par effet « retenue »

Le potentiel perdu par effet « retenue » a été estimé d'une part en ne prenant que les seuils les plus impactants (hypothèse basse) et d'autre part en y ajoutant ceux dont la surface ennoyée se trouvant à l'amont n'est probablement pas intégralement liée au seuil (hypothèse haute). En d'autres termes, certains seuils cartographiés lors de la campagne de terrain étaient en partie arasés ou bien de petite taille ; la zone de plat et/ou de profond située à l'amont de ce dernier ne lui est donc pas exclusivement liée. Cette appréciation a été faite sur le terrain et complétée par l'examen des photos prises et la répartition des faciès situés sur le même tronçon. Cela a permis d'évaluer a priori le caractère « naturel » ou pas du faciès amont. Enfin, certains « seuils » anciens, presque totalement arasés n'ont pas d'impact en terme de perte d'habitat. Ces derniers sont au nombre de 32, contre 71 et 18 pour ceux qui respectivement créent une retenue « vraie » et « potentielle ». Cela représente au total 121 seuils en amont de la limite Vienne/Haute-Vienne (PK = 70).

La Figure 24 présente les seuils entraînant une perte de surface productive (SP) dépassant 1 000 m² d'ERR. Ils sont pour la plupart situés dans la partie la moins productive (S1 et S2) de la Gartempe (47 seuils). La perte en SP liée aux seuils est estimée entre 29 et 35 ha d'ERR au total (à partir du PK 70), soit plus de la moitié de la SP totale actuelle qui est de 62 ha (hors critère d'ensablement). Le cours principal de la Gartempe offrirait, à lui seul, un potentiel d'un minimum de 91 ha de surface productive en juvéniles de saumon avec les zones d'habitats ennoyées par les seuils.

La perte de production causée par un seul et même seuil atteint au maximum 18 266 (hypothèse basse) à 22 496 (hypothèse haute) m² d'ERR. En moyenne, la perte de surface productive oscille entre 3 925 et 4 778 m² d'ERR par seuil ; 25% des seuils ont un impact de moins de 225 m² et 75 % de 7 078 à 7 248 m². La médiane est quand à elle de 1 984 m² d'ERR perdus/seuil.

Les seuils les plus impactants en termes de perte de surface productive ennoyée, soit entraînant une perte d'au moins 10 000 m² ou 10 ha de surface productive, sont Chaumont (entre 18 300 et 22 400 m²), Gringalet (entre 13 800 et 17 000 m²), Chaume (entre 14 300 et 15 800 m²), Quéroux (15 500 m²) et Moulin Guéan (12 500 m²).

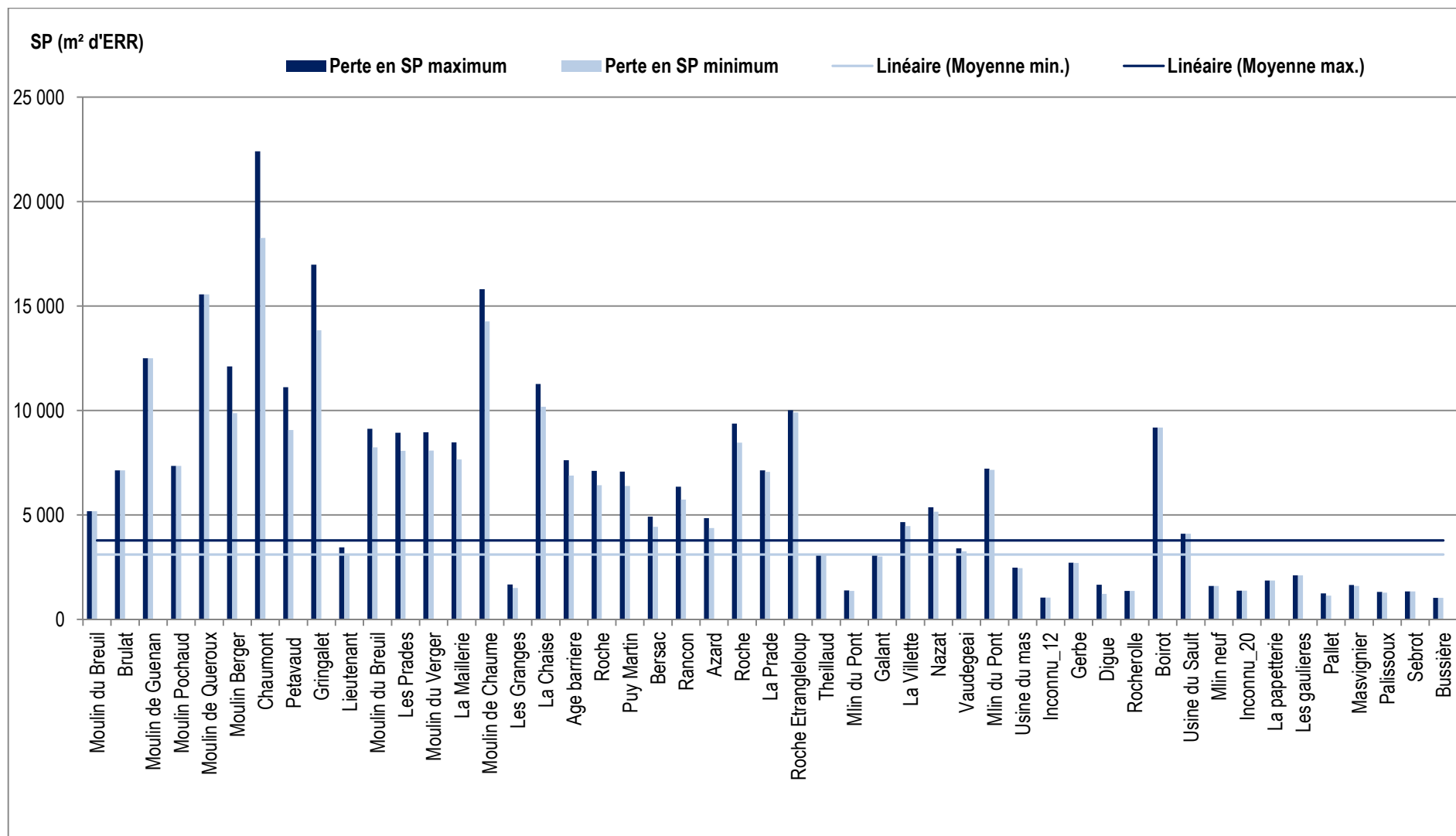


Figure 26 : Estimation de la perte en surface productive liée à la présence de surfaces ennoyées en amont de chaque seuil de la Gartempe, depuis l'aval vers l'amont.

4.2.5. Risques liés à la dévalaison des smolts

Les seuils équipés de microcentrales hydroélectriques ont, en plus d'être des obstacles à la montaison des géniteurs, un impact sur la dévalaison des smolts. En effet, lorsque les smolts se présentent au niveau du barrage, soit ils passent sur le déversoir du barrage, soit ils transitent par les turbines, avec alors des chocs physiques ou des pressions/dépressions pouvant causer des blessures externes et internes, suivies de mortalités.

Dans le deuxième cas de figure, les chances de survie du smolt seront fonction des caractéristiques de la turbine. Les **Figure 27** et **Figure 28** représentent le pourcentage estimé de passage des smolts au niveau des turbines ou au niveau des seuils pour chacune des microcentrales sur l'ensemble de l'axe. Elle suggère un réel problème lié à la dévalaison des smolts, car pour 10 des 20 sites, les smolts ont au moins 50 % de risques de transiter par les turbines (en retenant l'hypothèse d'attraction minimale).

Les usines hydroélectriques les moins impactantes ont des débits d'équipement faibles et une configuration d'ouvrage plus favorable à la dévalaison des smolts par le seuil.

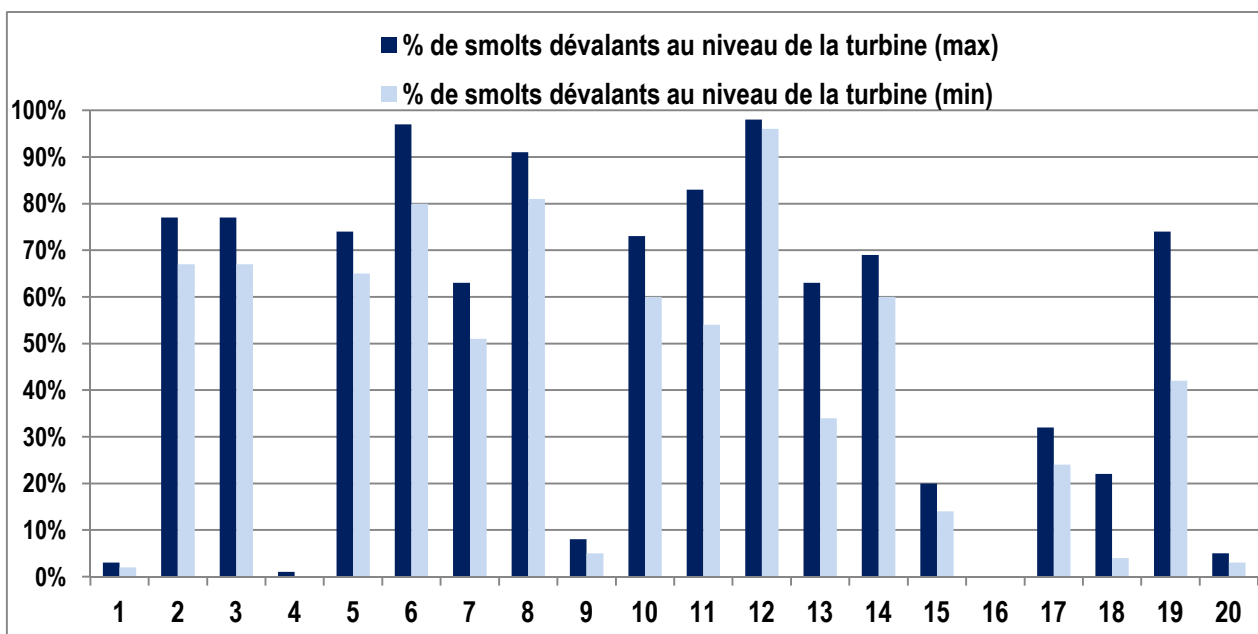


Figure 27 : Pourcentage estimé de smolts dévalants par la (les) turbine(s) de chaque microcentrale installée sur la Gartempe, d'amont en aval, numérotées de 1 à 20.

L'analyse des conditions de dévalaison des smolts dans la Gartempe a permis de calculer dans un deuxième temps le taux d'échappement d'un smolt aux turbines (**Tableau 14 ; Figure 29 ; § 3.3.2.2**). Il correspond à la probabilité qu'un smolt, issu de l'amont d'une usine, ne passe dans aucune turbine avant d'arriver au niveau de la confluence Creuse/Gartempe. Il est de l'ordre de 10^{-11} à 10^{-8} en partant de l'amont de la microcentrale située le plus en amont (Sebrot), de 10^{-8} à 10^{-6} en partant de l'amont de Roche Etrangleloup, limite aval des meilleures frayères à saumon selon Hilaire (1979), et de 10^{-2} en partant de l'amont de Quérouroux (limite aval de la zone d'étude, mais où la présence de frayères à saumons est incertaine), la fourchette haute et basse correspond aux estimations hautes et basses de passage au niveau du barrage déterminées à l'aide des Q50 et Q75.

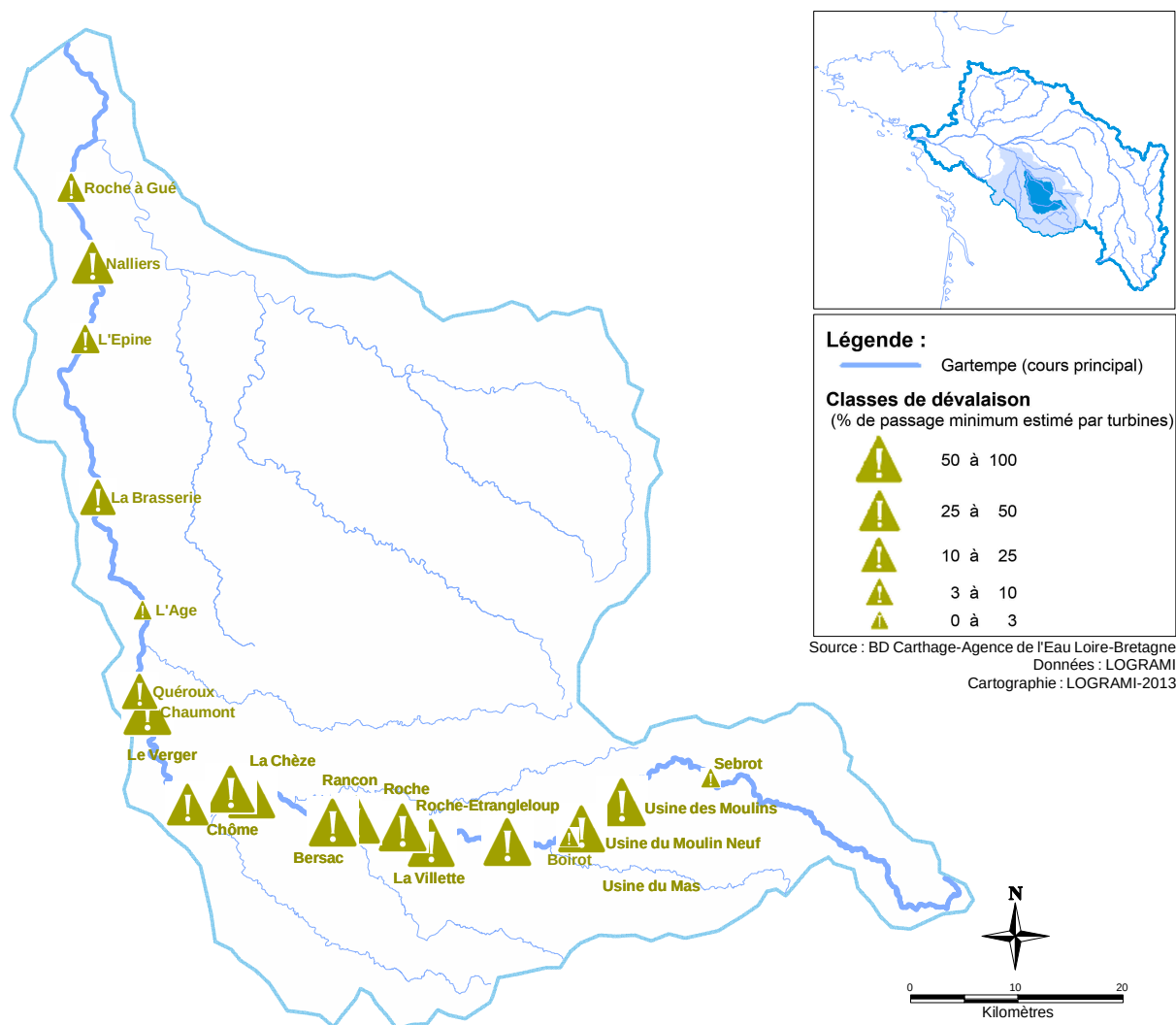


Figure 28 : Cartographie des usines hydroélectriques de l'axe Gartempe en fonction du pourcentage minimum estimé de passage des smolts vers les turbines lors de leur dévalaison

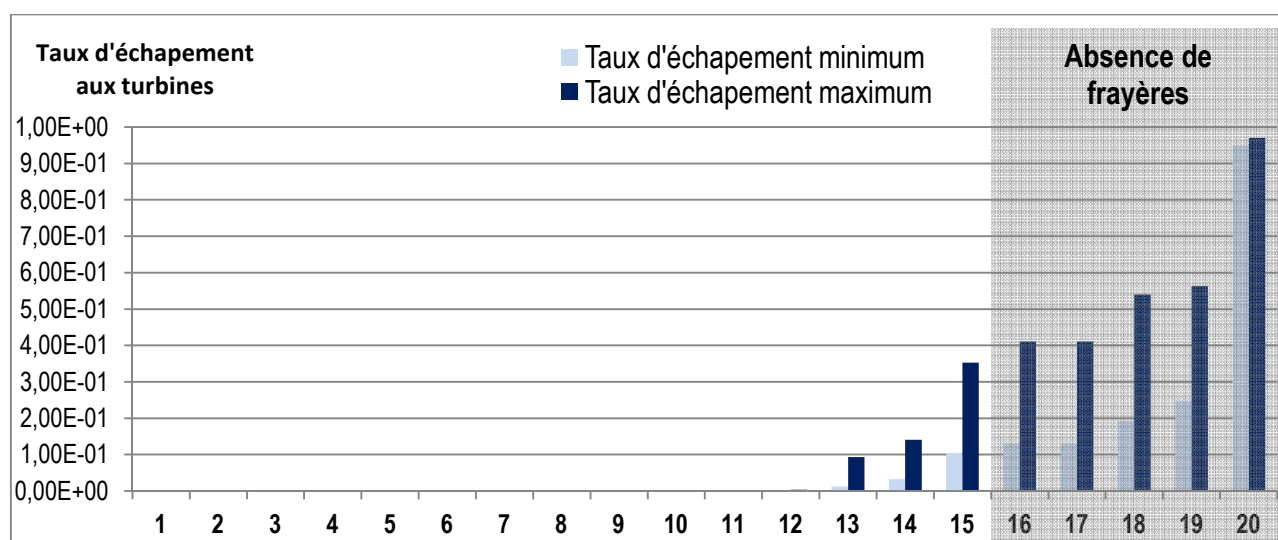


Figure 29 : taux d'échappement cumulé d'un smolt aux turbines des microcentrales (numérotées de 1 à 20) représenté d'amont en aval (ex : le taux d'échappement d'un smolt au niveau du seuil 13 correspond au taux d'échappement d'un smolt produit entre les seuils 12 et 13 jusqu'à atteindre la confluence).

Tableau 14 : taux d'échappement d'un smolt produit en amont de chaque microcentrale.

Smolt produit en amont de la microcentrale n°	% MIN de smolt dévalant au barrage	% MAX de smolts dévalant au barrage	Taux MIN d'échappement	Taux MAX d'échappement
1 (PK 161,7)	97%	98%	1,34E-10	4,53E-07
2 (PK 147,3)	23%	33%	1,38E-10	4,62E-07
3 (PK 141,5)	23%	33%	6,00E-10	1,40E-06
4 (PK 139,0)	99%	100%	2,61E-09	4,25E-06
5 (PK 130,5)	26%	35%	2,64E-09	4,25E-06
6 (PK 121,1)	3%	20%	1,01E-08	1,21E-05
7 (PK 117,0)	37%	49%	3,38E-07	6,07E-05
8 (PK 112,0)	9%	19%	9,14E-07	1,24E-04
9 (PK 110,1)	92%	95%	1,02E-05	6,52E-04
10 (PK 109,4)	27%	40%	1,10E-05	6,86E-04
11 (PK 99,7)	17%	46%	4,09E-05	1,71E-03
12 (PK 96,9)	2%	4%	2,40E-04	3,73E-03
13 (PK 91,7)	37%	66%	1,20E-02	9,32E-02
14 (PK 79,0)	31%	40%	3,25E-02	1,41E-01
15 (PK 75,5)	80%	86%	1,05E-01	3,53E-01
16	100%	100%	1,31E-01	4,10E-01
17	68%	76%	1,31E-01	4,10E-01
18	78%	96%	1,93E-01	5,40E-01
19	26%	58%	2,47E-01	5,63E-01
20	95%	97%	9,50E-01	9,70E-01

5. DISCUSSION

5.1. Paramètres environnementaux : condition de vie et de croissance du saumon dans la Gartempe

5.1.1. Débits

L'analyse de la variation des débits au cours du temps montre que ces dix dernières années, les débits ont été plus faibles, ce qui n'a probablement pas favorisé la montaison des géniteurs. Inversement, la décennie précédente [1992 – 2001] présente les débits les plus forts depuis 1962. Malgré une diminution des débits ces dix dernières années, on ne remarque donc pas une tendance réelle.

Enfin, d'après l'analyse des débits mensuels, il ressort que la période de montaison et de dévalaison sont toutes les deux touchées de même manière par la tendance de chaque décennie (de faibles ou de forts débits), sans distinction.

5.1.2. Température

Les chroniques de températures ne sont pas égales entre les stations, car elles débutent à des dates différentes à Yzeures (juin 2008), à St-Bonnet/Nazat (juillet 2010) et à Sebrot (janvier 2000). De plus, la station de Sebrot mesure des températures journalières alors que les 3 autres ont des températures horaires. Les résultats de l'étude permettent d'apprécier la dispersion des températures à un endroit donné de la Gartempe. Les stations, bien qu'également réparties, ne permettent pas d'affirmer que la tendance est linéaire sur l'axe. Les affluents par exemple, pourraient avoir une influence notable sur la température de l'eau.

De manière générale, on observe que la station d'Yzeures n'a pas véritablement des températures plus fortes que la station de St-Bonnet, située 80 km en amont, même si les écarts sont plus nets l'été. Cela pourrait provenir d'un effet tampon de l'Anglin (affluent rive droite), sous réserve de vérification. Les 3 autres stations présentent un gradient croissant de températures amont / aval. Les températures sont, de manière générale, favorables à la reproduction des géniteurs et à l'incubation des œufs à toutes les stations. Le seul facteur limitant serait les températures sur la Gartempe aval pour la croissance estivale et automnale : les stations d'Yzeures et St-Bonnet atteignent des températures létales dans 0,4 et 1,0 % des cas et ont très souvent des températures supérieures à la gamme optimale (43 et 34 %). A l'inverse, les températures à Nazat et à Sebrot sont moins limitantes (17 et 18 % sont supérieures à l'optimal ; 0,3 et 0,9 % supérieures au seuil léthal). Cependant, seule la sonde de Sebrot était en place en 2003. Cette même année a été caractérisée par une sécheresse estivale et les températures ont atteint 25,7 °C (+0,7°C par rapport au seuil léthal), sachant que les stations aval ont dépassé cette valeur en 2011 (le même constat aurait sans doute été fait en 2003 sur ces stations).

5.1.3. Paramètres physico-chimiques

La synthèse bibliographique effectuée par LOGRAMI en 2011 pour déterminer les valeurs optimales et les seuils létaux n'est pas exhaustive d'après GORONFLOT & al. (non publié), car l'accès aux publications n'a été que partielle. D'autre part, un certain nombre de lacunes existent dans la bibliographie sur ce sujet, notamment concernant la tolérance du saumon aux nitrites. Les valeurs dites « optimales » ou les seuils létaux ne sont pas des seuils invariables et indiscutables. Elles ont été obtenues dans des conditions d'expériences particulières, pour des populations précises. La complexité des relations dans un écosystème n'est jamais atteinte en laboratoire et par conséquent, l'extrapolation de ces résultats au milieu naturel ne constitue pas une référence absolue (GORONFLOT & al., non publié).

De manière générale, les données du réseau OSUR utilisées dans cette étude sont récentes (2009) et mensuelles. Il serait intéressant d'avoir des données avec une fréquence plus élevée (par exemple quotidienne à certaines périodes) pour vérifier que ces paramètres ne sont pas des facteurs qui limitent la présence du saumon, puisque certaines valeurs s'écartent de l'optimum.

Concernant l'oxygène dissous, les données disponibles aux différentes stations de mesures montrent que le pourcentage de saturation en O₂ est majoritairement compris dans la gamme

optimale, sauf pour certains relevés, notamment en décembre 2010. De même, le pH de la Gartempe est adapté aux exigences du saumon sur la grande majorité des données disponibles. La concentration en ammoniacque dans la Gartempe est toujours plus faible que le seuil légal pour les juvéniles de saumon. Cependant, compte tenu de la grande toxicité de l'ammoniacque pour le saumon à faibles doses, une fréquence accrue de données serait souhaitable afin de s'assurer que le seuil critique n'est pas atteint, en particulier sur les zones de grossissement des juvéniles. Enfin, les nitrites ne semblent pas devoir impacter le saumon dans la Gartempe avec, sur l'ensemble des stations, une concentration en NO₂⁻ maximale de 0,19 mg/L, toujours inférieure au seuil critique.

5.2. Capacité d'accueil de la Gartempe et limites de son exploitation par le saumon

5.2.1. Capacité de production de la Gartempe

On distingue 3 zones de production différentes dans la Gartempe. Il est naturel, comme toute autre rivière, qu'elle possède des zones plus ou moins productives le long de son axe, ne serait-ce qu'en raison de l'évolution de sa pente, qui diminue globalement d'amont en aval (d'où le sens de la zonation écologique). Cependant, les données utilisées sont celles de stations alevinées. Il peut exister de ce fait un biais dans les résultats des Indices d'Abondance (acclimatation des juvéniles, densités réelles variables au déversement...).

En comparaison avec la rivière Allier, la Gartempe présente un indice d'abondance (IA) moyen de 9 tacons/5 Mn de 1999 à 2011, tous secteurs confondus, contre une moyenne de 42 tacons/5 Mn de 2005 à 2011 dans l'Allier (LOGRAMI, 2012). L'Allier est donc actuellement 4 fois plus productif que la Gartempe en moyenne. Cependant, il faut relativiser ces résultats car les poissons de déversements de la Gartempe et l'Allier sont qualitativement différents. Les alevins déversés dans l'Allier sont des alevins de premières générations alors que ceux de la Gartempe sont des alevins de deuxième génération (issus de géniteurs enfermés et non sauvages). De plus, il faudrait rattacher ces chiffres aux taux d'implantation des juvéniles qui est fonction du nombre d'alevins déversés et de la surface productive disponible. Enfin, la dispersion des juvéniles est un paramètre qui est difficilement quantifiable mais qui a une influence sur les données d'Indices d'Abondance. En effet, lors de débits importants, les alevins déversés vont avoir tendance à dévaler à l'aval de la zone et leur implantation sera donc moindre sur le site initialement déversé et évalué par pêche.

La bibliographie effectuée sur le saumon (**Annexe 1**) a montré que cette espèce présente un comportement de « homing » et diverses études génétiques récentes mettent en évidence des différenciations par sous-bassins attribuables à ce comportement (VAUCLIN, Comm. Pers.). Ainsi, on peut penser que les saumons du bassin de la Loire présentaient, avant d'être réduits au "noyau ultime" du Haut-Allier du fait des extinctions causées dans tous les autres cours d'eau par des barrages hydroélectriques, des sous-populations écologiquement adaptées à chaque sous-bassin hydrographique, y compris dans la Gartempe. La réintroduction du saumon dans la Gartempe est actuellement effectuée à partir de géniteurs " issus de captures effectuées dans l'Allier. Ce cours d'eau est géographiquement assez proche de celui de la Gartempe, car ils appartiennent tous deux au bassin de la Loire. Cependant, les conditions biotiques et abiotiques y diffèrent. La distance à la mer de l'Allier est d'environ 800 km contre 400 km pour la Gartempe, l'altitude de son haut bassin est supérieure, le régime thermique également, tout comme le substrat géologique. Il n'est donc pas certain que le profil adaptatif des juvéniles issus de la population de l'Allier soit génétiquement et écologiquement adapté à la Gartempe (VAUCLIN, Comm. Pers.). Cependant, il a été montré que certains géniteurs issus d'autres rivières (l'Allier par exemple) empruntaient l'axe Vienne/Creuse/Gartempe. En effet, des géniteurs sans adipeuses issus de retour des individus déversés au stade smolt sur l'Allier ont déjà été comptabilisés à Descartes (1,6 % de 2007 à 2009). De même, des géniteurs radio-pistés sur l'Alagnon se sont également reproduits sur l'Allier, n'hésitant pas à changer d'axe migratoire au cours d'une même saison. Il est donc également probable que le bassin de la Loire abritait autrefois, une seule et même population. Ainsi, confirmant les études sur les populations normandes, le homing n'est pas stricte, la divagation d'un petit nombre de géniteurs sur d'autres bassins pourrait favoriser la dispersion et l'homogénéisation génétique de la population. Le bassin Vienne/Creuse/Gartempe et l'axe Loire ont, de plus, le même estuaire, la divagation est donc intra bassin.

Le haut bassin de la Gartempe a subi des modifications importantes : divers acteurs, dont les agents des services territoriaux de l'ONEMA, mentionnent une augmentation de l'ensablement dans les dernières décennies, ce qui est défavorable aux juvéniles de salmonidés. Cet ensablement pourrait être à l'origine d'une perte de production par recouvrement de la granulométrie grossière favorable aux tacons 0+, notamment les cailloux. L'ensablement est également défavorable à la diversité de la macrofaune benthique, du fait de faibles espaces interstitiels (GAYRAUD, HEROUIN, & PHILIPPE, 2002).

Enfin, de nombreux étangs ont été créés sur les affluents de la Gartempe durant les 30 dernières années, avec pour conséquence une augmentation des températures et une diminution des débits de ces affluents également très néfastes pour les populations de truites (VAUCLIN, Comm. Pers.). Ces évolutions défavorables des habitats de la Gartempe pourraient expliquer, entre autres, les différences d'Indices d'Abondance, et donc de productivité en tacons et en smolts, entre le bassin de l'Allier et celui de la Gartempe.

5.2.2. Potentiel actuel

L'évaluation des surfaces productives sur le terrain sont fonction de la précision du GPS ainsi que du télémètre optique. Ainsi, les imprécisions liées au GPS du cartopocket ont été plus marquées dans les parties amont de la Gartempe, où les habitats étaient de petite taille. De plus, l'appréciation de la granulométrie, de l'ensablement et de la végétation aquatique a parfois été difficile à cause de la teinte naturellement foncée de l'eau de la Gartempe. De plus, l'appréciation s'est faite par estimation visuelle, compte tenu de l'importance de la zone à cartographier, ce qui ne permet donc pas de décrire très précisément les caractéristiques de l'habitat cartographié.

Finalement, la surface productive a été estimée à 48 ha sur la zone d'étude. Si on ne retient que les zones productives ensablées à moins de 50 %, l'estimation de la surface productive est alors de 40 ha et de 19,8 ha si on considère que l'ensablement maximum acceptable est de 25 %. La cartographie des habitats de croissance des juvéniles effectuée par Chapon en 1991 permettait d'estimer la surface productive à 33 ha, soit, 31 % de moins que la surface productive maximale actuelle. Cela peut s'expliquer notamment par l'arasement partiel de certains seuils durant les 20 dernières années, qui ont permis de récupérer des surfaces productives par suppression de l'ennoisement. De plus, la méthode anciennement utilisée était probablement moins précise dans la mesure des surfaces.

Les faciès d'écoulement hydrauliques favorables aux juvéniles sont répartis de manière très hétérogène le long de la Gartempe limousine. La surface de production la plus importante est située dans la partie la plus aval. En effet, les tronçons 3 à 12 (62 km) totalisent 71 % de la surface productive totale mais seulement 44 % de la production en tacons 0+ contre 37 % pour les seuls tronçons 24 et 25 (avec 11 % de la SP totale sur 25 km). Cette observation avait également été faite par LUQUET et al. (1987), lors de suivis de déversements de juvéniles, où ils avaient constaté que les tacons se maintenaient particulièrement bien à l'amont de Grand-Bourg en Creuse (S3 de l'étude actuelle). Les tronçons 24 et 25 sont donc de grande importance, car les plus productifs de la Gartempe et les moins soumis à des températures estivales élevées, éventuellement limitantes.

Le problème d'ensablement de la Gartempe est un fait réel et constaté, même si l'estimation reste approximative car faite de manière visuelle. Elle donne néanmoins une information importante. L'ensablement peut être préjudiciable au saumon car il colmate les frayères (mauvaise oxygénation du substrat) et il recouvre la granulométrie intermédiaire de type cailloux et graviers, très largement appréciée par les juvéniles et les tacons 0+, ainsi que par les invertébrés benthiques (**Annexe 1**). Si l'on considère que les zones deviennent improductives à partir de 25 % d'ensablement, la Gartempe perd presque 60 % de son potentiel productif maximal, tel qu'évalué à partir des seuls faciès d'écoulement. Si la production en tacons est fortement impactée par l'ensablement, cela pourrait expliquer en partie les faibles indices d'abondances de la Gartempe. Les causes de l'ensablement sont mal connues, mais les activités humaines du bassin versant en sont probablement à l'origine. Il est peut être, entre autres, lié à la forte activité agricole du bassin de la Gartempe (élevage), qui serait en augmentation sur la dernière décennie, avec la présence de nombreux abreuvoirs à

bovins directement dans le cours d'eau (nombreuses observations directes de terrain), favorisant aussi le départ de fines...

D'après les agents de l'ONEMA, cet ensablement pourrait également être lié à l'exploitation forestière du bassin (coupe à blanc, routes forestières...) ou encore à la rectification des affluents de la Gartempe et aux changements des pratiques agricoles (chargement en UGB/ha en augmentation, arrachage des haies...). Quelles qu'en soient les causes, l'apport massif d'éléments fins est aggravé par la présence de nombreux seuils permettant leur dépôt dans les retenues créées et bloquant ainsi la continuité sédimentaire et l'exportation de ce « surplus » vers l'aval.

Hormis l'ensablement, on observe que les habitats de croissance préférentiellement choisis par les tacons 0+, à savoir les radiers et plats courants à granulométrie intermédiaire, sont sous représentés par rapport à la surface productive totale (40 %). L'habitat préférentiel des tacons 0+ semble donc être un facteur limitant en termes de production de smolts dans la Gartempe. Ces zones de radiers et plats courants sont donc à prioriser. Les géniteurs doivent y avoir accès, car ce sont des zones de frayères mais également de croissance des premiers stades de développement des juvéniles. La campagne de terrain a également permis d'apprécier l'utilisation du sol sur les parcelles riveraines, à proximité du lit de la Gartempe, et d'avoir une vision globale du cours d'eau en Haute-Vienne et en Creuse. Les zones où sont majoritairement situés les sites de croissance des tacons 0+ sont très souvent soumises à une activité agricole (prairies pâturées) et à des modifications hydrauliques (microcentrales, seuils, drainages...) notables, alors que les secteurs de croissance des tacons 1+ sont très souvent des zones encaissées et sans activité économique proche directement préjudiciable. Les zones de croissance des tacons 0+ sont, de fait, exposées à une plus forte pression anthropique immédiate, d'où l'importance de les protéger.

L'estimation théorique du nombre de saumons (1HM et 2HM) de retour au barrage de Descartes, premier obstacle rencontré par les saumons depuis la mer, est basée sur la production moyenne en smolts du Massif armoricain (PREVOST & PORCHER, 1996). Cette estimation fournit une hypothèse basse et haute en fonction des taux de retour appliqués.

Si on applique des taux de retours de smolts d'élevage, le nombre de géniteurs à Descartes est estimé entre 12 et 78 (avec 3 smolts/100m² d'ERR). Cependant, ces taux de retour sont ceux de smolts élevés en captivité jusqu'à leur lâcher, et non de smolts "ensauvagés" après avoir vécu plusieurs mois en rivière, comme dans la Gartempe. Or les smolts d'élevage ont presque toujours des taux de retour inférieurs aux poissons sauvages et a fortiori, demi-sauvages. En faisant l'hypothèse que les retours à Descartes sont uniquement composés de saumons issus de la Gartempe, cela pourrait expliquer pourquoi les effectifs qui y sont comptabilisés depuis 2011 (plus de 100 adultes) sont supérieurs aux effectifs calculés. De plus, il est probable qu'un petit nombre de géniteurs issus du bassin de l'Allier s'engage sur l'axe Vienne/Creuse/Gartempe comme présenté précédemment.

Enfin, en appliquant des taux de retour de smolts sauvages, le nombre de géniteurs est estimé entre 43 et 240 (avec des références de pays européens) ou entre 93 et 213 (références françaises). Ces estimations sont effectuées par rapport à des taux de retour de rivières ateliers, beaucoup plus courtes et dont les points de contrôle sont proches de l'estuaire. Il y aura donc, dans le cas de la Gartempe, des mortalités supplémentaires entre Descartes et les premières zones de reproduction (150 km). Par comparaison, les saumons des rivières bretonnes ont rapidement accès à ces zones, situées à quelques dizaines de kilomètres de la mer. Mais ces calculs donnent un ordre de grandeur du nombre de géniteurs pouvant être attendus.

Si l'on considère la Gartempe comme altérée par les activités humaines sur son cours et son bassin versant, une piste d'amélioration des retours à Descartes est l'amélioration de sa qualité écologique, et en particulier, hydromorphologique.

5.2.3. Potentiel perdu faute d'accès des saumons adultes

Les surfaces accessibles cumulées disponibles à l'amont de ces seuils problématiques croissent, sans palier marqué, le long de l'axe. On peut tout de même distinguer 7 paliers où l'amélioration notable de la franchissabilité d'un seuil aura un impact plus ou moins bénéfique

pour la population de saumons, en termes de gain de surface productive située à l'amont immédiat du seuil rendu accessible (>5 % de la surface productive totale sans critère d'ensablement). Compte tenu de la situation actuelle de la population de saumons, aucune surface productive n'est négligeable, mais les surfaces se trouvant à l'amont de la Gartempe (S3) sont indispensables. Tous les seuils classés en 2 ou en 3 sont donc à traiter dans leur globalité. En effet, la Gartempe est une rivière qui est très anthropisée : avec près de 1,5 seuils/km de cours d'eau, l'effet cumulé est tel que tous les obstacles (classe 2 et 3) sont dommageables et leur franchissement doit être résolu rapidement.

Le nombre de seuils présents dans la Gartempe est important et ils n'ont pas seulement un impact sur la montaison des saumons mais ils modifient également les caractéristiques hydromorphologiques du cours d'eau (réchauffement de l'eau dans les retenues, blocage de la continuité sédimentaire, modification du régime hydraulique et ennoiment de zones courantes, voir § 5.2.4.). De ce fait, la solution la plus adaptée pour résoudre ces différents impacts serait l'arasement (total ou partiel : ouverture des vannages...) et non leur équipement en passes à poissons, sauf en cas d'usage économique ou d'intérêt avéré. Ce type de mesures permettrait en plus la reconquête durable de surfaces productives sans contrainte d'entretien.

5.2.4. Potentiel perdu par effet « retenue »

L'arasement de certains seuils permettrait la récupération d'habitats favorables aux juvéniles pouvant aller de 29 à 35 ha. L'équipement ou l'arasement des seuils situés à l'aval de la Gartempe (aval du PK 117) n'apporteraient pas de gain réel direct en termes d'accès des géniteurs à des surfaces productives supplémentaires. Cependant, les seuils les plus impactants en terme de perte de surface productive liée à la formation de retenues se situent dans cette même zone. Le secteur S1 représente 71 à 74 % de la surface perdue ; 26 à 25 % pour le S2 et seulement 2 % pour le secteur S3. L'arasement d'un seuil dans le secteur S1 ou S2 aurait un bénéfice direct sur la restauration de l'habitat. Cela montre que l'arasement serait le choix le plus bénéfique et en particulier pour les seuils générant une perte en surface productive importante.

D'après BACHELIER (1964), il existait autrefois, 80 ha de surface productive pour le saumon atlantique dans la Gartempe. L'estimation de BACHELIER a été effectuée à partir de données d'archives, dans lesquelles les surfaces productives avaient été estimées depuis la limite de colonisation du saumon (enquête des ponts et chaussées de 1888) et jusqu'à ce que la pente moyenne du cours d'eau soit inférieure à 2‰. Si l'on se réfère au 4.2.1.1 et à la Figure 18, on remarque que la pente n'est pas strictement inférieure à 2‰ à partir d'un PK défini, mais varie entre 0,06 et 3,3‰ jusqu'au PK 113 (4 km en aval de la Roche Etrangleloup). Pourtant, les surfaces annoncées en aval du barrage précédemment cité sont de 40 ha selon BACHELIER. La limite doit donc se situer plus en aval. Pour la comparaison, nous prendrons la partie limousine de la Gartempe, limite qui semble la plus pertinente en terme d'habitat des tacons. La surface effectivement cartographiée actuellement (48 ha) et celle perdue par « effet retenue » (29 à 35 ha) permettraient d'arriver à une surface de 77 à 83 ha, proche de l'estimation de BACHELIER (1964).

5.2.5. Risques liés à la dévalaison des smolts

Compte tenu d'un taux d'échappement des smolts à la totalité des microcentrales quasi nul, le problème de dévalaison des smolts dans la Gartempe ne fait pas de doute. Même si le taux de survie dans les turbines n'a pas pu être calculé, la production de smolts totale sera fortement impactée car il y aura forcément une mortalité non négligeable dans les turbines (très variable en fonction des caractéristiques), et ce à plus forte raison que 11 % des surfaces productives (37 % de la production) se situent en amont de toutes les microcentrales sur les tronçons 24 et 25.

Cette estimation des passages est une valeur pouvant varier d'une année à l'autre en fonction du débit de la rivière et de la période de dévalaison des smolts (même si l'estimation repose sur le Q50 et Q75 de chaque période de dévalaison). De plus, CHANSEAU et TRAVADE (2002) ainsi que CROZE (2001) (in VOEGTLE & LARINIER, 2008) ont montré, suite à des suivis de dévalaison de smolts, que le taux de déversement au barrage est nul lorsque la hauteur d'eau est insuffisante. Ainsi, par certains débits, et suivant la longueur de la crête du barrage, l'impact

sur la population de smolts peut être sous-estimé dans nos calculs. De plus, CROZE et LARINIER (2001), lors d'une étude effectuée sur la Garonne, ont montré que les smolts pouvaient stationner des temps conséquents (valeur médiane supérieure à 1 jour) en amont immédiat de l'usine malgré un espacement de 5 cm entre les barreaux de la prise d'eau. L'impact des microcentrales est donc aggravé par le risque de prédation des smolts stationnant devant la prise d'eau. De plus, cela entraîne des retards de dévalaison, avec un risque de ne pas atteindre la mer avant la fin de la fenêtre physiologique d'adaptation au milieu salé (fonctionnement des enzymes branchiales osmorégulatrices) (BOEUF, 1994).

5.3. Un programme de réintroduction au profit de la Directive Cadre sur l'Eau

Un programme de réintroduction du saumon dans la Gartempe a débuté dans un premier temps en 1951 puis a été arrêté en 1968, sur un constat d'échec. Il s'est ensuite réamorcé avec le plan saumon de 1981 et poursuivi jusqu'à aujourd'hui. Il n'est cependant pas encore un succès, dans le sens où une population autosuffisante de saumons n'est pas présente dans la Gartempe à l'heure actuelle.

En 1987, 6 ans après le début de l'opération Gartempe, LUQUET & al. (1987) écrit que *« l'opération Gartempe, après quatre années de croissance est parvenue à un point de non retour. L'ampleur des travaux de génie civil et des déversements effectués (...) font que l'opération est condamnée au succès »*. Cette affirmation souligne le fait qu'auparavant, les déversements de tacons étaient considérés comme une solution efficace et sûre de réimplantation du saumon. Cependant, à l'heure actuelle, aucun programme de réintroduction⁶ de cette espèce n'a encore abouti dans le monde (VION, 2005 ; VAUCLIN, Comm. Pers.). Seuls les plans de restauration⁷ de certaines populations ont porté leurs fruits. LUQUET & al. (1987) ajoute *« d'ores et déjà, d'autres espèces profitent des réalisations effectuées et la rivière elle-même en bénéficie en priorité, avec tout ce qu'elle peut offrir au tourisme local »*. Il soulève ici un point important. En effet, le programme de réintroduction n'est pas un succès jusqu'ici, mais on note des retours assez importants et croissants à Descartes depuis 2007. De plus, cette espèce dite « parapluie » permet l'accomplissement d'opérations pouvant bénéficier à d'autres espèces, notamment d'intérêt communautaire (moule perlière, chabot...), et synergiques de l'atteinte du bon état écologique requis par la DCE.

La cartographie actuelle des potentialités de la Gartempe pour le saumon atlantique est effectuée sur un cours d'eau dont les potentialités sont vraisemblablement amoindries par les usages anthropiques qui y sont liés (seuils, hydro-électricité, agriculture, exploitation minière d'uranium...). Les solutions de gestion pourraient commencer par la restauration de la continuité pisciaire et sédimentaire (arasements, brèches, ...), l'identification de la ou des cause(s) et la limitation du phénomène d'ensablement et enfin par une limitation des pertes liées à la dévalaison des smolts dans les turbines.

⁶ la réintroduction est la re-création d'une nouvelle population, la précédente ayant entièrement disparue

⁷ La restauration consistant    remonter    un niveau antérieur l'effectif amoindri d'une population existant encore    l'état naturel

6. CONCLUSION

Trente ans après le début du programme de réintroduction du saumon dans la Gartempe, cette étude fait le point sur les conditions d'accueil actuelles de cette rivière pour le saumon atlantique.

La Gartempe limousine possède un potentiel productif de 48 ha, représentant 18 % des surfaces d'accueil du saumon du bassin Loire. L'arasement des seuils permettrait de plus d'y reconquérir 29 à 35 ha, ainsi que de restaurer une dynamique sédimentaire de ce cours d'eau. Si on y ajoute les zones cartographiées sur la Gartempe aval (département de la Vienne) (DER MICKAELIAN, 1999), le total des zones productives pour le saumon sur la Gartempe s'élève à 62 ha.

Nous constatons des retours de saumon au niveau de la station de contrôle de Descartes (basse Creuse) et de la Roche Etrangleloup (moyenne Gartempe), qu'on peut par hypothèse attribuer aux tacons déversés dans le haut du bassin ou d'individus de divagation issus d'autres bassins. En effet, la reproduction naturelle a pu être attestée qu'épisodiquement. L'axe constitue donc aujourd'hui un enjeu de recolonisation de l'espèce et de sa restauration.

Les pêches à l'électricité automnales sur les zones de déversement, montrent une certaine implantation des juvéniles, qui accomplissent donc une partie de leur cycle en rivière. Cependant, il faut souligner qu'en l'état actuel, la Gartempe subit un grand nombre de pressions anthropiques réduisant les chances de réussites d'un tel programme sans efforts conséquents et continus : problèmes d'accès des géniteurs aux frayères ; hydro-morphologie impactée par les seuils ; problèmes probables de dévalaison des smolts au niveau des microcentrales. Des évolutions défavorables des pratiques de gestion hydraulique et agricole dans le haut bassin sont susceptibles d'avoir aussi des effets négatifs. La réussite du projet nécessite la restauration totale de la transparence migratoire jusqu'aux zones amont, à 25 km de la source.

Un travail important reste à accomplir dans la Gartempe. L'amélioration de la connaissance en termes d'habitats et de continuité pourrait permettre le retour à une population autosuffisante de saumon si l'on agit sur les facteurs limitants mis en évidence dans cette étude (seuils, mortalité à la dévalaison...). En effet, les paramètres étudiés ont mis en évidence leur compatibilité écologique avec la vie du saumon dans la Gartempe. S'il en est besoin, les retours de géniteurs en augmentation ces dernières années sont la preuve de la volonté de l'espèce de reconquérir cet axe.

7. BIBLIOGRAPHIE

BACH J.M., BAISEZ A., LEON C., PAROUTY T., 2011. Suivi de la dévalaison 2011 des saumoneaux au droit du barrage de Poutès. LOGRAMI, 55 p.

BACH J.M., PAROUTY T., LEON C., SENEAL A., PORTAFAIX P., JOUIN-TREMEUR E., MEYER R., BAISEZ A., 2011. Recueil de données biologiques sur les poissons migrateurs du bassin de la Loire 2010. LOGRAMI, 288 p.

BACH J.M., PAROUTY T., LEON C., SENEAL A., PORTAFAIX P., FARGEIX S., BAISEZ A., 2012. Recueil de données biologiques sur les poissons migrateurs du bassin de la Loire 2011. LOGRAMI, 313 p.

BACHELIER, B. (1964). L'histoire du saumon en Loire.

BAGLINIERE, J., & CHAMPIGNEULLE, A. (1986). Population estimates of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*, as indices of smolt production in R. Scorff, Brittany. *J. Fish Biol.* , 467-482.

BARDONNET, A., & BAGLINIERE, J. (2000). Freshwater habitat of atlantique salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. Vol. 57, 497-504.

BOEUF, G. (1994). La phase de préadaptation à la vie en mer : la smoltification. Dans J. GUEGUEN, & P. PROUZET, *La saumon atlantique* (pp. 47-63). Plouzané: IFREMER.

BOEUF, G. (1993). La phase de préadaptation à la vie en mer: la smoltification. Dans C. GUEGUEN, & P. PROUZET, *Le saumon atlantique* (pp. 47-85). Plouzané: IFREMER.

BRUSLE, J., & QUIGNARD, J. (2001). *Biologie des poissons d'eau douce européens*. Paris: TEC & DOC.

CHAPON, J. (1991). Détermination des potentialités naturelles de la Gartempe pour le saumon atlantique (*Salmo salar* L.). Rennes: Laboratoire d'écologie hydrobiologique - INRA.

CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT. (2010). *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux: protection de la vie aquatique*.

CROZE, L., & LARINIER, M. (1999). Etude du comportement des smolts de saumon atlantique (*Salmo salar* L.) au niveau de la prise d'eau de l'usine hydroélectrique de Pointis sur la Garonne et estimation de la dévalaison au niveau du barrage de Rodère. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* , 353/354:141.

CROZE, O., & LARINIER, M. (2001). *Guide technique 4 : Libre circulation des poissons migrateurs et seuils en rivière*. Meylan: GRAPHIES.

CROZE, O., CHANSEAU, M., & LARINIER, M. (1999). Efficacité d'un exutoire de dévalaison pour smolts de saumon atlantique (*Salmo salar* L.) et comportement des poissons au niveau de l'aménagement hydroélectrique de Camon sur la Garonne. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* , 353/354:121.

DER MIKAELIAN, S. (1999). *Evaluation des habitats potentiellement favorables au saumon atlantique (Salmo salar) sur la Gartempe aval*. Poitiers : Conseil Supérieur de la Pêche.

DIRECTION REGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT DE L'AMENAGEMENT ET DU LOGEMENT CENTRE. (2012). *Dossier de Presse: Plan saumon Loire-Allier 2009-2013*. Plan saumon Loire-Allier 2009-2013 (p. 15). Orléans: Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement Centre.

DREAL CENTRE. (2012, Février 13). Plan saumon de Loire-Allier. Consulté le Juin 21, 2012, sur DREAL Centre: <http://www.centre.developpement-durable.gouv.fr/plan-saumon-de-loire-allier-a972.html>

GAYRAUD, S., HEROUIN, E., & PHILIPPE, M. (2002). Le colmatage minéral du lit des cours d'eau : revue bibliographique des mécanismes et des conséquences sur les habitats et les peuplements de macroinvertébrés. Bull. Fr. Pêche Piscic. 365/366 , 339-355.

GORONFLOT, T., LEGRAND, M., & BAISEZ, A. (non publié). Etude de la qualité physico-chimiques de certains cours d'eau du bassin versant de la Loire et comparaison avec les seuils de tolérance du saumon atlantique (*Salmo salar*). non publié.

HEGGENES, J., BAGLINIERE, J., & CUNJAK, R. (1999). Spatial niche variability for young Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*S. trutta*) in heterogeneous streams. Ecology of Freshwater Fish , 1-21.

HELAND, M., & DUMAS, J. (1993). Ecologie et comportement des juvéniles. Dans C. GUEGUEN, & P. PROUZET, Le saumon atlantique (pp. 29-46). Plouzané: IFREMER.

HILAIRE, M. (1979). Le saumon dans la Gartempe. Poitiers: Conseil Supérieur de la Pêche DR4. ICES. (2010). Report of the Working Group on North Atlantic. Copenhagen, Denmark: CIEM.

KEITH, P., PERSAT, H., FEUNTEUN, E., & ALLARDI, J. (2011). Les poissons d'eau douce de France. Mèze: Biotope.

KIRCHEIS, D., & LIEBICH, T. (2007). Habitat requirements and management considerations for Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the Gulf of Maine Distinct Population Segment (GOM DPS). Inconnue: DRAFT.

LARINIER, M. (1994). Facteurs biologiques à prendre en compte dans la conception des ouvrages de franchissement, notion d'obstacle à la migration. Dans M. LARINIER, J. PORCHER, F. TRAVADE, & C. GOSSET, Passes à poissons: expertise et conception des ouvrages de franchissement (pp. 48-63). Paris: Conseil Supérieur de la Pêche.

LOGRAMI. (2009, Juillet 9). Le PLAGEPOMI Loire. Consulté le Juin 26, 2012, sur Migrateurs Loire: <http://www.migrateurs-loire.fr/?042-le-plagepomi-loire>

LOGRAMI;CSP DR4. (2000). Bassin de la Gartempe : bilan des actions menées, de 1981 à 1999, pour la restauration du saumon atlantique. St Pourcain sur Sioule et Poitiers: LOGRAMI-CSP DR4.

LUQUET, J., GLOUMEAU, J., LAFOSSE, B., & LANNEA, J. (1987). Opération de réintroduction du saumon atlantique dans la Gartempe. Dans R. B. M. Thibault, La restauration des rivières à saumons (pp. 335-344). Jouy-en-Josas: INRA.

MALAVOI, J., & SALGUES, D. (2011). Arasement et dérasement de seuils: aide à la définition de cahiers des charges pour les études de franchissabilité-compartiment hydromorphologique et hydroécologique. Inconnue: ONEMA.

MALAVOI, J., & SOUCHON, Y. (2001). Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière: clé de détermination qualitative et mesures physiques. Bull. Fr. Pêche Piscic 365/366 , 357-372.

MINISTERE DE L'ECOLOGIE DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ENERGIE. (2011, janvier 11). Construction, urbanisme, aménagement et ressources naturelles. Consulté le juin 21, 2012, sur Ministère de l'écologie du développement durable et de l'énergie: <http://www.developpement-durable.gouv.fr/L-esturgeon-europeen-Acipenser.html>

NASCO. (2012, Inconnu Inconnu). Atlantic Salmon River Database. Consulté le Juin 26, 2012, sur North Atlantic Salmon Conservation Organization: <http://www.nasco.int/RiversDatabase.aspx>

PLAN LOIRE GRANDEUR NATURE. (2007, Décembre 18). Historique 1994-2006. Consulté le Juin 21, 2012, sur Plan Loire grandeur Nature: <http://www.plan-loire.fr/fr/le-plan-loire/presentation/historique-1994-2006/index.html>

PREVOST, E., & BAGLINIERE, J. (1995). Présentation et premiers éléments de mise au point d'une méthode simple d'évaluation du recrutement en juvéniles de saumon atlantique (*Salmo salar*) en eau courante.

PREVOST, E., & NIHOARN, A. (1999). Relation entre indicateur d'abondance de type CPUE et estimation de densité par enlèvements successifs pour les juvéniles de saumon atlantique (*Salmo salar* L.) de l'année. Bull. Fr. Pêche. Piscic 352 , 19-29.

PREVOST, E., & PORCHER, J. (1996). Méthodologie de Totaux Autorisés de Captures (TAC) pour la pêche du Saumon atlantique (*Salmo salar* L.) dans le Massif Armoricaire, Propositions et recommandations scientifiques GRISAM.

RICHARD, A. (1999). Gestion piscicole : intervention sur les populations de poissons-repeuplement des cours d'eau salmonicoles. Paris: ONEMA.

SYMONS, P., & HELAND, M. (1978). Stream habitats and behavioral interactions of underyearling and yearling Atlantic salmon (*Salmo salar*). J. Fish. Res. Bd Canada 35 , 175-183.
THIBAULT, M. (1992). Détermination des potentialités naturelles de la Gartempe pour le saumon atlantique (*Salmo salar* L.). Rennes: INRA.

THIBAULT, M. (Date inconnue). Ecohistoire du saumon dans les bassins Loire Allier. Orléans: Agence de l'Eau Loire Bretagne.

VAUCLIN, V. (1994). Réintroduction du saumon sur la gartempe, bilan de 12 années, espoirs pour le futur. Non publié.

VECCHIO, Y., & VALADOU, B. (2009). Protection, restauration et amélioration de l'habitat du saumon. Vincennes: ONEMA.

VION, F. (2005). Analyse des projets d'introduction, d'extension, de réintroduction et de restauration du saumon atlantique (*Salmo salar* L.) dans le monde. Marly: Conseil Supérieur de la Pêche.

VOEGTLE, B., & LARINIER, M. (2008). Simulation des mortalités induites par les aménagements hydroélectrique lors de la migration de dévalaison des smolts de saumon atlantique-Cours d'eau du Gave de Pau. Toulouse: GHAAPPE RA08.01.

8. LISTE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1 : bilan de la période et des températures optimales et létales en fonction des stades de développement du saumon (référence <i>in</i> GORONFLOT, LEGRAND, & BAISEZ, non publié) ..	13
Tableau 2 : période de mesure aux différentes stations de la Gartempe.....	14
Tableau 3 : débits d'étude en comparaison des débits d'étiage pour chaque journée de terrain réalisée.....	18
Tableau 4 : Périodes de dévalaison retenues et % de smolts dévalants retenus pour l'étude de la répartition des smolts en dévalaison sur la Gartempe au niveau des usines hydroélectriques	22
Tableau 5 : résultats des tests de comparaison de Kruskal-Wallis (kruskalmc avec p-value = 0,05) appliqués aux QJM pour chaque mois entre les décennies à Montmorillon (TRUE = différence significative ; FALSE = différence non significative)	24
Tableau 6 : résultats des tests de comparaison de Kruskal-Wallis (kruskalmc avec p-value = 0,05) appliqués aux QJM pour chaque mois entre les décennies à la station de Folles (TRUE = différence significative ; FALSE = différence non significative)	24
Tableau 7 : taux de saturation en O ₂ aux stations de mesures de la Gartempe, ordonnées d'amont en aval, de mai 2009 à février 2012 (prélèvements mensuels) et comparaison à l'optimum pour le saumon (données : OSUR).	31
Tableau 8 : concentration en nitrites aux stations de mesures de la Gartempe (prélèvements mensuels) de mai 2009 à Février 2012 et comparaison à un seuil critique pour le saumon (données : OSUR).	33
Tableau 9 : concentration en [NH ₃] aux stations de mesure de la Gartempe (prélèvements mensuels) et comparaison à deux CL ₅₀ (96h) pour des températures de 1,8 et 12,5°C (données : OSUR).	34
Tableau 10 : Production potentielle de la Gartempe en tacons 0+ en fonction des hypothèses de productivité calculées à partir des Indices d'Abondance et par secteur de cours d'eau.....	39
Tableau 11 : nombre théorique de géniteurs remontant à Descartes, sur la base des données de PREVOST et PORCHER (1996 ; 3 smolts/100 m ² d'ERR). L'estimation est basée sur des taux de retour de saumon de 1HM et 2HM dans le cas de smolts réintroduits et de smolts sauvages de différents pays publiés dans le WGNAS (ICES, 2010).	40
Tableau 12 : taux de survie pris pour l'estimation du nombre de géniteurs théorique de retour à Descartes.....	40
Tableau 13 : Seuils constituant des palliers en termes de récupération de surface productive liée à leur transparence et gain en % et en surface productive (m ²), sans critère d'ensablement..	41
Tableau 14 : taux d'échappement d'un smolt produit en amont de chaque microcentrale.	47
Figure 1 : cycle biologique du saumon atlantique pour le bassin de la Loire (A. Sénécal-LOGRAMI).	6
Figure 2 : bilan des déversements effectués sur la Gartempe entre 1982 et 2011 (Données : LOGRAMI/CNSS)	10
Figure 3 : nombre de saumons probables comptabilisés à la Roche Etrangleloup de 2000 à 2008. Le compteur à résistivité était en panne en 2009 et 2010, d'où l'absence de données...	10
Figure 4 : Localisation des stations de mesures hydrologiques, de qualité d'eau et de température utilisées pour l'étude des paramètres environnementaux sur la Gartempe.....	12
Figure 5 : Différents types de faciès d'écoulement, de gauche à droite et de haut en bas : (a) : radier, (b) : rapide, (c) : plat courant accessoire rapides, (d) : plat courant, (e) : radier.....	15
Figure 6 : Photos de l'outil Carto Pocket ® (à gauche), du canoë utilisé lors de la campagne de terrain et d'une prise de mesure à l'aide du télémètre optique (photos : LOGRAMI)	16
Figure 7 : Cartographies des habitats et études des potentialités pour le saumon atlantique sur le sous-bassin de la Gartempe et linéaire étudié du cours principal en 2012	17
Figure 8 : Pourcentage de smolts dévalant au barrage en fonction de Qt/Qriv pour différentes valeurs de coefficients α et β (α , β) (CROZE & LARINIER, 1999 ; CROZE, CHANSEAU & LARINIER, 1999).....	22
Figure 9 : pourcentage de mois d'une décennie donnée dont les QJM diffèrent significativement, ou non, de 1962 à 2011, à Folles. Test de Kruskal-Wallis (kruskalmc avec p-value = 0,05). ..	25

Figure 10 : pourcentage de mois d'une décennie donnée dont les QJM diffèrent significativement, ou non, de 1962 à 2011, à Montmorillon. Test de Kruskal-Wallis (kruskalmc avec p-value = 0,05)	26
Figure 11 : pourcentage de données par mois ayant des débits significativement différents lors des tests de comparaison (kruskalmc avec p-value=0,05) des QJM de 1962 à 2011 à Montmorillon et à Folles.	26
Figure 12 : répartition des températures aux 4 stations thermiques de la Gartempe pour la période de fraie (la zone mauve correspond aux températures optimales selon la bibliographie ; les rectangles sont délimités par les percentiles 25 % et 75 %)	27
Figure 13 : répartition des températures aux 4 stations thermiques de la Gartempe pour la période d'incubation (la zone mauve correspond aux températures optimales selon la bibliographie ; les rectangles sont délimités par les percentiles 25 % et 75 %)	28
Figure 14 : répartition des températures au niveau des 4 stations thermiques de la Gartempe pour la période de croissance printanière (la zone mauve correspond aux températures optimales selon la bibliographie et la limite en rouge au seuil léthal ; les rectangles sont délimités par les percentiles 25 % et 75 %)	28
Figure 15 : répartition des températures aux 4 stations thermiques de la Gartempe durant la période de croissance estivale et automnale (la zone mauve correspond aux températures optimales selon la bibliographie et la limite en rouge au seuil léthal ; les rectangles sont délimités par les percentiles 25 % et 75 %.)	29
Figure 16 : pH aux stations de mesures de la Gartempe de mai 2009 à février 2012 (prélèvements mensuels) et comparaison à la gamme optimale pour le saumon selon la bibliographie (zone mauve). Les rectangles sont délimités par les percentiles 25 % et 75 % (données : OSUR)	30
Figure 17 : taux de saturation en O ₂ aux stations de mesure de la Gartempe ordonnées de l'aval vers l'amont (prélèvements mensuels de mai 2009 à février 2012) et comparaison à l'optimum pour le saumon selon la bibliographie (zone mauve). Les rectangles sont délimités par les percentiles 25 % et 75 % (données : OSUR).	32
Figure 18 : pente moyenne et longueur des tronçons homogènes de la Gartempe, ordonnés d'aval en amont (données : Institut Géographique National).....	35
Figure 19 : indices d'abondance (IA) de 1999 à 2011 des stations de pêche soumises à déversements préalables d'alevins, réparties d'aval en amont.....	36
Figure 20 : indices d'abondance en 5 minutes selon les secteurs de production distingués (S1 à S3) à la Figure 15, répartis d'aval en amont.	36
Figure 21 : surfaces de PC (Plats Courants), RAD (Radiers), RAD/RAP (Radiers/Rapides), RAP (Rapides) et SP totale (Surface Productive) de la Gartempe limousine, globalement ou en tenant compte de 2 niveaux d'ensablement.	37
Figure 22 : répartition des zones favorables aux tacons 0+ et 1+ et SP totale de la Gartempe limousine en fonction des tronçons, d'aval en amont. On a fait figurer les secteurs S1 à S3 définis au § 4.2.1.2.	38
Figure 23 : estimation de la production en tacons 0+ après conversion des IA en densité/100 m ² de SP (préférentielle des tacons 0+ et totale).	39
Figure 24 : Cartographie des seuils de la Gartempe considérés comme impactants pour le saumon atlantique à la montaison (classes 2 et 3) – Source : ONEMA/LOGRAMI	41
Figure 25 : Surfaces de production en juvéniles de saumon cumulées (ERR m ²) en fonction des tronçons inter seuils d'aval en amont sur la Gartempe selon différents critères de taux d'ensablement et Pourcentage de géniteurs franchissant d'aval en amont selon l'application des taux de franchissabilité pour chaque seuil étudié.....	42
Figure 26 : Estimation de la perte en surface productive liée à la présence de surfaces ennoyées en amont de chaque seuil de la Gartempe, depuis l'aval vers l'amont.	44
Figure 27 : Pourcentage estimé de smolts dévalants par la (les) turbine(s) de chaque microcentrale installée sur la Gartempe, d'amont en aval, numérotées de 1 à 20.	45
Figure 28 : Cartographie des usines hydroélectriques de l'axe Gartempe en fonction du pourcentage minimum estimé de passage des smolts vers les turbines lors de leur dévalaison	46
Figure 29 : taux d'échappement cumulé d'un smolt aux turbines des microcentrales (numérotées de 1 à 20) représenté d'amont en aval (ex : le taux d'échappement d'un smolt au niveau du seuil 13 correspond au taux d'échappement d'un smolt produit entre les seuils 12 et 13 jusqu'à atteindre la confluence).	46

Figure 30 : coloration de la robe du saumon en fonction de son stade de développement (Source : NASCO)	62
Figure 31 : photos de saumons atlantique adultes, <i>Salmo salar</i> (à gauche) (©Leeson) et de jeune saumon en rivière, appelé « tacon » (à droite) (©Jimdo).....	63
Figure 32 : cycle de reproduction du saumon atlantique pour le bassin de la Loire (A. Sénécal-LOGRAMI).	63
Figure 33 : répartition du saumon atlantique dans le monde (source : NASCO).....	66
Figure 34 : statut des populations de saumon atlantique en France (source : NASCO)	67

9. ANNEXES

Annexe 1 : biologie du saumon atlantique en France	62
Annexe 2 : répartition et statut de conservation du saumon atlantique	66
Annexe 3 : réglementation et outils de gestion en faveur du saumon atlantique.....	68
Annexe 4 : clé de détermination des faciès d'écoulement (CHAPON, 1991).....	70
Annexe 5 : classes granulométrique et autres classes utilisées pour caractériser les faciès d'écoulement.....	71
Annexe 6 : exemple d'une table terrain remplie à l'aide du SIG nomade (Cartopocket®) pour caractériser l'habitat.....	72
Annexe 7 : classes de franchissement des obstacles et critères d'évaluation, selon la norme ICE 3.....	73
Annexe 8 : résultats de l'analyse des températures de 4 stations situées dans la Gartempe en fonction du cycle biologique du saumon	74
Annexe 9 : recommandations pour la qualité des eaux visant la protection de la vie aquatique établies pour l'ammoniac total (mg·L ⁻¹ NH ₃) (CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT, 2010).	75
Annexe 10 : comparaisons deux à deux des données de chaque tronçon. Les tronçons dont le résultat est dit « non comparable » signifie que les tronçons ont une seule et même pente (données : Institut Géographique National).	76
Annexe 11 : noms des stations de pêche électrique par la méthode des indices d'abondance en 5 minutes et situation sur le bassin	77
Annexe 12 : répartition des surfaces productives par tronçon et par habitats favorables	78

Annexe 1 : biologie du saumon atlantique en France

1. Description générale

Le saumon atlantique, *Salmo salar*, appartient à l'ordre des clupéiformes et à la famille des salmonidés et plus précisément au genre *Salmo*. Comme tous les salmonidés, on le distingue des autres familles de poissons par sa nageoire adipeuse, située entre les nageoires dorsale et caudale (KEITH & al., 2011).

Le saumon atlantique est un poisson amphihalin (vivant alternativement en eau douce et en eau de mer), anadrome (vivant habituellement en mer et se reproduisant en eau douce). Il effectue des mouvements de plusieurs milliers de kilomètres entre les aires d'engraissement marines et les zones amont des cours d'eau, où se situent ses zones de frayère.

Il possède un corps fusiforme recouvert d'écailles de type cycloïde, qui lui confère des capacités de nage (jusqu'à 6,5 m/s à 18°C pour un saumon de 80 cm) et de saut conséquentes (pouvant atteindre au mieux 2,5 m à 20°C, pour un saumon de 80 cm) selon LARINIER (1994). La coloration de sa robe est variable suivant son stade de développement (**Figure 30**).



Figure 30 : coloration de la robe du saumon en fonction de son stade de développement (Source : NASCO)

Pour les stades les plus jeunes, il ressemble à la truite commune. Cette ressemblance est à l'origine de campagnes d'affichage pour informer les pêcheurs dans certains lieux, dont le bassin de la moyenne et haute Gartempe. Le saumon adulte peut mesurer de 45 cm à plus de 1 m de long pour des poids allant de 2 à plus de 10 kg (KEITH & al., 2011). Sa taille dépend principalement de son temps de séjour en milieu marin (KEITH & al., 2011). L'âge du saumon peut être déterminé de manière précise par scalimétrie (étude des stries d'accroissement sur les écailles).

2. Cycle biologique

Durant sa vie, le saumon atlantique passe par deux phases principales. La première concerne les juvéniles et se situe en eau douce (Figure 31). La deuxième se déroule en mer et concerne les subadultes (Figure 31). Le cycle biologique est résumé par la Figure 32.



Figure 31 : photos de saumons atlantique adultes, *Salmo salar* (à gauche) (@Leeson) et de jeune saumon en rivière, appelé « tacon » (à droite) (@Jimdo)

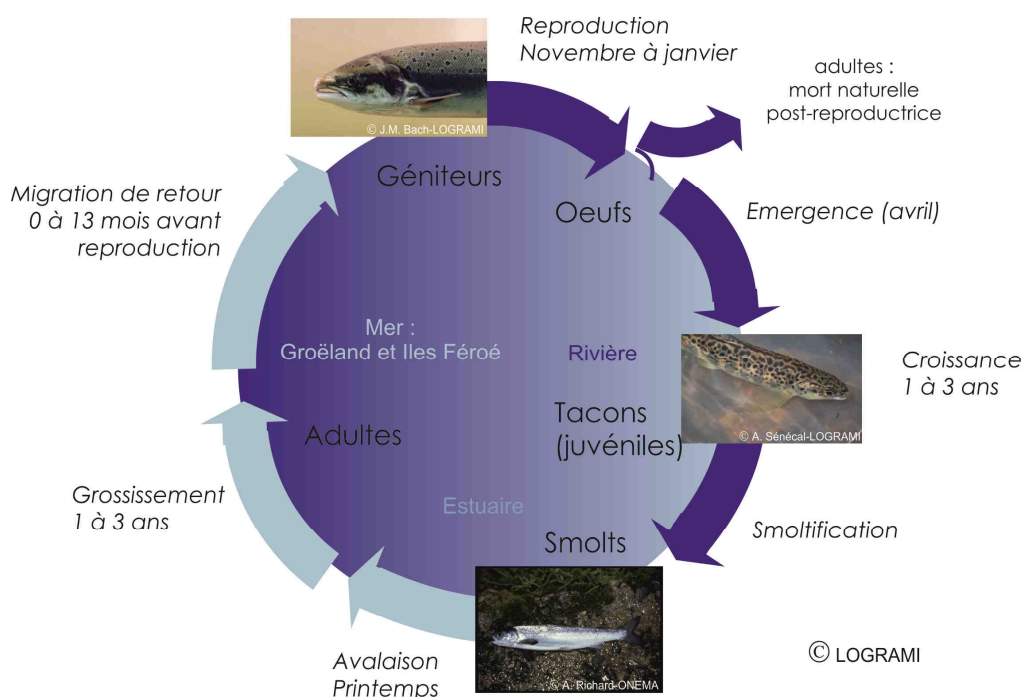


Figure 32 : cycle de reproduction du saumon atlantique pour le bassin de la Loire (A. Sénécal-LOGRAMI).

La reproduction des adultes a lieu en rivière de novembre à janvier. Les géniteurs post-ponte sont souvent victimes de mycoses à *Saprolegnia* et le taux de survie est de l'ordre de 1,4% en France selon PREVOST (in BRUSLE & QUIGNARD, 2001). Les survivants sont appelés « charognards » ou « ravalés » et peuvent, sous réserve de survie ultérieure, participer à une nouvelle migration. L'incubation des œufs dure 440 degrés/jour (KEITH & al., 2011). En France, l'éclosion a donc lieu autour du mois d'avril. Par la suite, les jeunes saumons séjournent le plus souvent 1 à 2 ans en rivière, rarement 3 (en France). Avant la migration de dévalaison, les juvéniles deviennent peu à peu des « saumoneaux » ou « smolts » (KEITH & al., 2011). Cette étape dénommée « smoltification » correspond à un ensemble de modifications morphologiques qui préadaptent le saumon à la vie océanique (BRUSLE & QUIGNARD, 2001). Suite à cela, le saumoneau peut entreprendre sa migration de dévalaison vers l'estuaire et gagner le milieu marin pour rejoindre les zones d'engraissement situées au Groënland, en Islande ou en mer du Labrador pour la majorité des saumons français (BRUSLE & QUIGNARD, 2001). Après 1 à 3 ans passés en mer, le saumon entame une migration de montaison en direction des sites de reproduction situés en amont des cours d'eau. Suivant le temps de séjour du saumon en mer, son appellation est différente (KEITH & al., 2011) :

- castillon ou madeleineau (grilse) : 1 hiver en mer (45 à 75 cm pour 1,5 à 4 kg)
- petit saumon de printemps : 2 hivers en mer (70 à 90 cm, 3 à 7 kg)

- grand saumon de printemps : 3 hivers en mer (plus de 85 cm, 5 à 12 kg).

Le saumon de 1, 2 ou 3 ans retrouve grâce à sa mémoire olfactive le cours d'eau où il est né. Ce phénomène connu sous le nom de « homing » (littéralement : retour à la maison, soit ici, à la rivière natale) a pour conséquence l'existence d'une population propre à chaque entité hydrographique, bassin, fleuve ou rivière. Ainsi, chacune de ces entités correspond à une population relativement autonome et isolée (VION, 2005). Cependant, on observe un taux de divagation non négligeable entre des rivières proches géographiquement, ce qui a entre autres pour conséquences de maintenir une fraction des adultes la population principale si celle-ci venait à subir une mortalité accidentelle et massive dans sa rivière, ainsi que de permettre la recolonisation d'une rivière voisine où un accident aurait fait disparaître la population locale (PREVOST, Comm. Pers.).

Lors de son retour en eau douce, le saumon cesse de s'alimenter pendant une période qui peut couvrir plusieurs mois (KEITH & al., 2011), jusqu'à une année pour le saumon de la Loire. Ainsi, le cycle de la vie se poursuit avec les futurs saumons qui vont naître et effectuer le même processus de migration anadrome.

Chaque écophase du cycle biologique du saumon est caractérisée par la présence d'un habitat particulier dont les caractéristiques chimiques, physiques et biologiques permettent le développement de l'espèce. Ainsi, les exigences écologiques de l'espèce dépendent essentiellement de son stade de développement.

3. Reproduction

La reproduction a lieu de novembre à janvier. Les frayères sont choisies par les femelles. Elles sont caractérisées par des accélérations de courant (tête de radier) à substrat grossier non colmaté. La taille du substrat permet d'assurer à la fois le maintien contre les crues et la bonne circulation de l'eau à l'intérieur de la frayère (RICHARD, 1999). La vitesse du courant est de l'ordre de 50 à 80 cm/s pour une faible lame d'eau de 25 à 50 cm (RICHARD, 1999). La ponte hivernale est conditionnée par les baisses de températures (7 à 12°C) ainsi que par les débits (BRUSLE & QUIGNARD, 2001). Grâce à sa nageoire caudale, la femelle creuse un trou dans le substrat appelé « nid » où les œufs vont être déposés (KIRCHEIS & LIEBICH, 2007). La taille du nid est dépendante de la taille de la femelle. Les mâles sont attirés sur les frayères par les femelles à l'aide de phéromones. Lors de la fraie, les ovocytes, après dépose dans le nid, sont immédiatement fécondés par le mâle. En comparaison avec la plupart des cyprinidés, qui libèrent une grande quantité de petits œufs, les salmonidés libèrent une petite quantité de gros œufs. Par conséquent, chaque œuf de saumon (1600-1800/kg de la femelle, en moyenne) possède une part relativement élevée de l'énergie investie dans la reproduction. (BARDONNET & BAGLINIERE, 2000). Les œufs fécondés sont ensuite recouverts par la femelle avec un substrat grossier de cailloux et pierres fines (2 à 15 cm) (BRUSLE & QUIGNARD, 2001) préalablement nettoyé afin d'assurer une bonne oxygénation des œufs à l'intérieur de la frayère, paramètre primordial pour le succès du développement embryonnaire (RICHARD, 1999).

4. Comportement et habitats des juvéniles

Dans les populations naturelles en équilibre, les jeunes salmonidés n'utilisent pas tous les habitats disponibles de la rivière, mais plus spécifiquement ceux qui correspondent le mieux à leurs aptitudes comportementales vis-à-vis des facteurs abiotiques : température, photopériode, qualité de l'eau, caractéristiques morphodynamiques... ; et des facteurs biotiques : présence de congénères ou d'autres espèces (HELAND & DUMAS, 1993). La niche utilisée par le saumon atlantique, c'est-à-dire l'espace effectivement exploité par l'espèce, est dépendant de la taille des juvéniles. Ceux dont la taille est supérieure à 7 cm ont une niche plus large et tolèrent des variations plus importantes des conditions d'habitat. De plus, la nourriture est la principale variable influençant la répartition spatiale des juvéniles (HEGGENES J., 1999). En effet, la sélection de l'habitat est un « compromis » (ou « trade-off » en anglais) entre l'accessibilité de la nourriture et le risque de prédation. De manière générale, le jeune saumon est attaché aux zones très courantes. Les faciès de type « radier » et « rapide » assurent plus de 80 % du recrutement en juvéniles. Cependant, l'aptitude des jeunes saumons à occuper des postes en plein courant s'accroît au cours de leur croissance et à partir d'une taille de 7 cm, ils quittent la nurserie pour gagner des zones plus profondes caractérisées par la présence de

blocs (RICHARD, 1999). Enfin, l'utilisation des microhabitats par les alevins de l'année et les juvéniles plus âgés ne diffèrent pas par rapport à la vitesse du courant mais il diffère au niveau de la profondeur d'eau et de la qualité du substrat. Les juvéniles préférant les faibles profondeurs et les substrats granuleux (SYMONS & HELAND, 1978).

Du fait de son cycle biologique particulier, le saumon atlantique possède une aire de répartition très large dans le monde allant des régions tempérées jusqu'à l'hémisphère nord (VION, 2005). Une première échelle de gestion de l'espèce se situe donc au niveau mondial. Par ailleurs, la différenciation en populations relativement autonomes du fait du « homing » implique une seconde échelle de gestion, au niveau du bassin fluvial, voire au niveau des sous-bassins, car diverses études génétiques depuis 10 ans démontrent l'existence de sous-populations dans les affluents des grands systèmes fluviaux (VAUCLIN, Comm. Pers.). De ce fait, le groupe de travail sur le saumon atlantique du CIEM (Conseil international pour l'exploration de la mer) recommande depuis vingt ans d'éviter toute pêche sous stocks mélangés (« mixed-stock fisheries »), de crainte d'effectuer une surexploitation d'une population raréfiée, mélangée à d'autres qui ont un niveau permettant un certain niveau de prélèvement (VAUCLIN, Comm. Pers.).

Annexe 2 : répartition et statut de conservation du saumon atlantique

1. Au niveau mondial

– Répartition :

Les concentrations de saumons les plus importantes en mer ont été observées à l'ouest du Groenland, en mer du Labrador, au voisinage des Iles Féroé et en mer de Norvège. Le saumon existe aussi en mer Baltique, mais il s'agit de populations à part, issues uniquement des rivières bordant cette mer. Son aire de répartition originelle comprend quasiment tous les pays baignés par l'océan Atlantique situés entre les rivières Hudson (USA) et Minho (Portugal) et se prolonge jusqu'à la péninsule de Kola (Russie) (VION, 2005).

Aujourd'hui dans l'Atlantique nord-est (Europe, Scandinavie et Russie), les cours d'eau encore fréquentés par le saumon ont une longueur inférieure à 200 km et seul l'axe Loire-Allier est encore fréquenté par le saumon sur une grande distance, puisque 940 km séparent sa source de l'estuaire. La prise en glace des eaux douces (dans les bassins très nordiques), la température, l'oxygène dissous et les lits de galets nécessaires pour la fraie sont considérés comme des causes déterminantes dans la distribution de l'espèce (VION, 2005).

La préservation des zones fréquentées par le saumon en domaine océanique est un enjeu essentiel pour la conservation de l'espèce. De plus, une exploitation raisonnée des stocks, l'amélioration de la continuité écologique et l'atteinte du bon état des systèmes fluviaux sont également nécessaires à sa pérennité (VION, 2005).

– Statut de conservation

Le saumon atlantique est classé Least Concern (préoccupation mineure) sur la liste rouge mondiale, puisqu'on n'entrevoit pas de risque de disparition totale dans son aire de répartition. Cependant, l'industrialisation du 18ème siècle a considérablement contribué à la disparition ou à l'affaiblissement de plusieurs populations de saumons d'un grand nombre de rivières où il était naturellement présent. Le saumon est encore présent au Canada, en France, en Finlande, en Irlande, en Espagne, en Norvège, en Ecosse... (Figure 33). Il est recensé dans environ 2500 rivières ; parmi celles dont le statut est apprécié ; 1077 possèdent une population « en bonne santé », 320 « menacée », 208 « disparue », 42 « restaurée » et 29 « maintenue » (NASCO, 2012).



Figure 33 : répartition du saumon atlantique dans le monde (source : NASCO)

2. En France et sur les bassins de la Loire et de la Vienne

Autrefois très abondant sur l'ensemble des cours d'eau de la façade Atlantique, de la Manche et de la Mer du Nord, le saumon a connu une forte régression de son aire de répartition. A cette époque, les zones de frayère fréquentées par le saumon étaient estimées à 2200 hectares sur le bassin de la Loire (BACHELIER, 1964).

Au début des années 1900, 75% des aires de reproduction de France étaient devenues inaccessibles en raison de l'édification de nombreux seuils et barrages. Ainsi, les bassins de la Garonne-Dordogne, de la Somme, du Cher et de la Seine et de la Meuse n'étaient plus fréquentés par le saumon à la fin du 19ème siècle. Il a disparu au début des années 1960 du Rhin. Des remontées naturelles significatives demeurent dans la quasi-totalité des cours d'eaux des côtes picardes et normandes (Canche, Authie, Yères, Risle, Orne, Vire...) et dans une vingtaine de rivières bretonnes et bas-normandes de petite taille, dans l'Allier, le gave d'Oloron, la Nive et la Nivelle (VECCHIO & VALADOU, 2009).

Deux cours d'eau au moins, l'Allier et la Nivelle, ont vu nettement diminuer leurs populations, entraînant des inquiétudes quant à leur maintien dans le milieu naturel à court ou moyen terme.

– Statut de conservation (Figure 34)

Le saumon atlantique est classé VU (VULnérable) sur la liste rouge Française. Il est également inscrit à l'Annexe III de la convention de Berne, les annexes II et V de la Directive Habitats et sur la liste des poissons protégés sur l'ensemble du territoire national (Arrêté du 8 décembre 1988). Dans les cours d'eau de Bretagne et de Normandie, des limites de conservation par bassin ont été définies et servent de base à la fixation d'un niveau maximal d'exploitation par la pêche. Par ailleurs, la pêche au saumon en Loire est interdite depuis 1994 en raison du très faible niveau du stock et a conduit à un programme de restauration toujours en cours (plan « saumon » du plan de gestion des poissons migrateurs). Des programmes de réintroduction sont en cours dans des bassins desquels l'espèce a totalement disparu au cours du 20ème siècle (Rhin, Dordogne, Garonne, Seine) (KEITH & al., 2011).

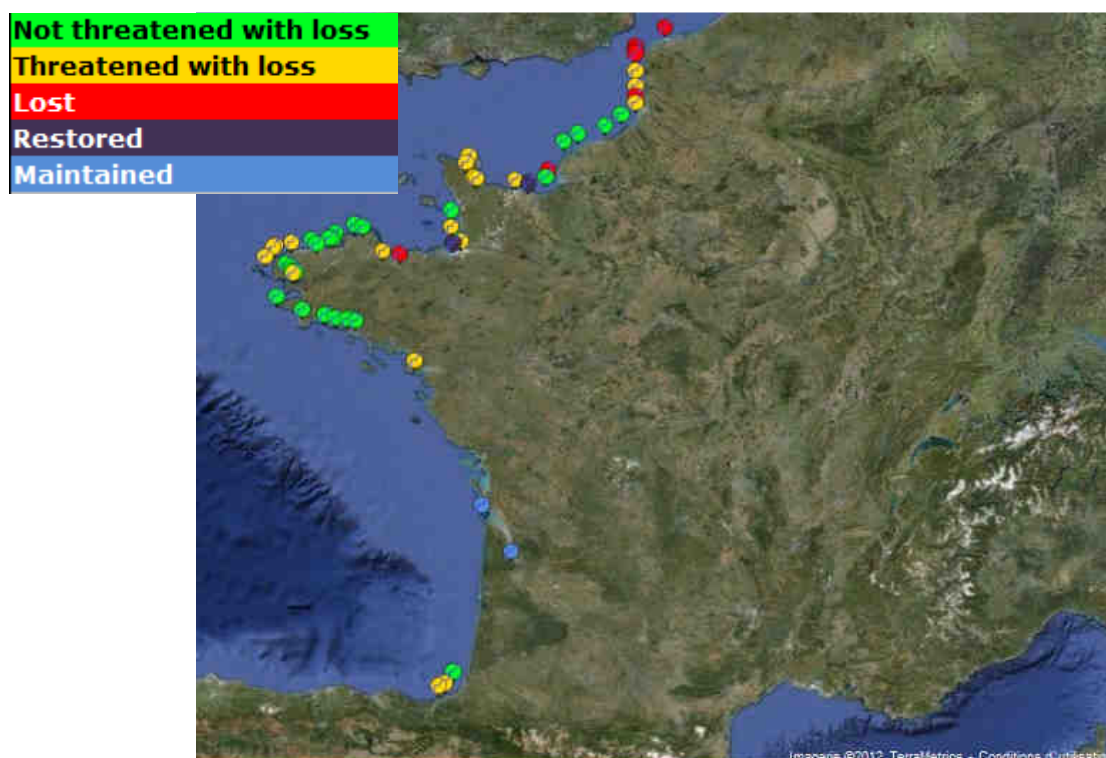


Figure 34 : statut des populations de saumon atlantique en France (source : NASCO)

Annexe 3 : réglementation et outils de gestion en faveur du saumon atlantique

1. Echelle nationale

– Le plan saumon : 1975

Le 20 juillet 1975, le Comité Interministériel d'Action pour la Nature et l'Environnement (CIANE) approuve le plan d'action pour le saumon sur une période de 5 ans : Le Plan saumon. C'est un plan national qui portait sur un certain nombre de rivières jugées pertinentes pour mener cette action.

– La loi sur l'Eau et les milieux aquatiques : 1992 puis 2006

C'est la Loi sur l'eau de 1992 qui modifiera profondément les principes de gestion de l'eau en franchissant une étape supplémentaire pour la prise en compte des milieux aquatiques. Elle prend en compte la gestion des espèces migratrices, dont le saumon. Elle est ensuite modifiée suite à la DCE (2000), par la sortie de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) de 2006.

– 2010 : Mise en place de la STRANAPOMI

Une mobilisation internationale au titre des espèces menacées a été enclenchée. La Direction de l'eau et de la biodiversité du ministère en charge de l'environnement a mis en place une démarche participative, avec les parties prenantes de la gestion des poissons migrateurs (EPTB, APN, Associations de migrants, hydroélectriciens, « acteurs » locaux, services de l'état) pour élaborer une stratégie nationale de gestion des poissons migrateurs (STRANAPOMI) (MEDDE, 2011). Cette stratégie a été élaborée en 2010. Ses 4 axes fixent les grandes orientations à mettre en œuvre dans les bassins pour assurer l'avenir des populations de poissons migrateurs dans nos cours d'eau (MEDDE, 2011) : préserver et restaurer les populations et leurs habitats ; rénover la gouvernance de la politique de gestion des poissons migrateurs ; renforcer l'acquisition des connaissances, le suivi et l'évaluation et développer le partage d'expériences et la formation autour des problématiques migrateurs.

La gestion des poissons migrateurs se situe à la croisée d'engagements communautaires (Directive Cadre sur l'Eau, Directive Habitat Faune Flore) et nationaux (Trame Verte et Bleue et plan de restauration de la continuité écologique issus du « Grenelle » de l'environnement).

2. Echelle du bassin de la Loire

– Opération Gartempe : 1981

Dans le cadre du plan saumon, il existe un fort intérêt sur le bassin de la Loire. Il est encore fréquenté par des saumons sauvages du Haut-Allier et il est apparu judicieux, afin de réduire les risques de disparition totale de cette souche, d'examiner la possibilité de sa réintroduction des cours d'eau complémentaires de l'Allier, à savoir la Gartempe et l'Arroux (affluent de la Loire, 71). L'axe Vienne-Creuse-Gartempe, le dernier d'où le saumon a disparu, semblait le plus opportun dans un premier temps (CHAPON, 1991). En 1981, l'opération « Gartempe » est lancée et comporte un programme de réintroduction, l'aménagement d'obstacles aux migrations et des opérations dites de « restauration » du cours d'eau, sous la forme d'entretien (nécessaire) de la végétation rivulaire.

– 1994 : Le plan Loire Grandeur Nature

Suite à la LEMA de 1992, le plan Loire grandeur Nature est arrêté lors du Comité Interministériel de l'aménagement et du développement du territoire (CIADT) du 4 janvier 1994 pour une durée initiale de 10 ans. Il visait à la mise en œuvre « d'un plan global d'aménagement de la Loire afin de concilier la sécurité des personnes, la protection de l'environnement et le développement économique » (PLAN LOIRE GRANDEUR NATURE, 2007). Ainsi, la sauvegarde du saumon atlantique, espèce emblématique du bassin, est inscrite au sein du Plan Loire grandeur Nature.

– 1994 : instauration des COGEPOMI :

o Présentation des COGEPOMI

D'une manière générale, depuis 1994, la politique de gestion des poissons migrateurs est organisée par grands bassins fluviaux : huit au total sur toute la France. Cette gestion est définie par le décret du 16 février 1994 qui institue les COMités de GEstion des POissons MIGrateurs (COGEPOMI). Ces comités ont compétence pour proposer les mesures relatives à l'exploitation des poissons migrateurs, là où elle existe. Ils doivent aussi établir des plans de gestion quinquennaux (=PLAGEPOMI) qui traitent à la fois de l'exploitation mais aussi de la gestion et de la protection des espèces migratrices, à travers des mesures portant sur les habitats (MEDDE, 2011).

o Présentation du PLAGEPOMI « Bassin de la Loire, des côtiers vendéens et de la Sèvre Niortaise »

Le PLAGEPOMI actuel portant sur le bassin de la Loire, les côtiers vendéens et la Sèvre Niortaise a été approuvé le 31 décembre 2008 pour la période 2009-2013. Deux PLAGEPOMI antérieurs ont existé auparavant (LOGRAMI, 2009), pour les périodes 1996-2002 et 2003-2007. Le PLAGEPOMI détermine, pour une période de cinq ans et pour les espèces concernées, par bassin, par cours d'eau ou par groupe de cours d'eau (LOGRAMI, 2009):

- les mesures utiles à la reproduction/conservation/circulation des poissons migrateurs,
- les modalités d'estimation des stocks et de prélèvements par la pêche,
- les plans d'alevinage et les programmes de soutien des effectifs,
- les conditions dans lesquelles sont fixées les périodes d'ouverture de la pêche, les modalités de sa limitation et les conditions de délivrance et tenus des carnets de pêche.

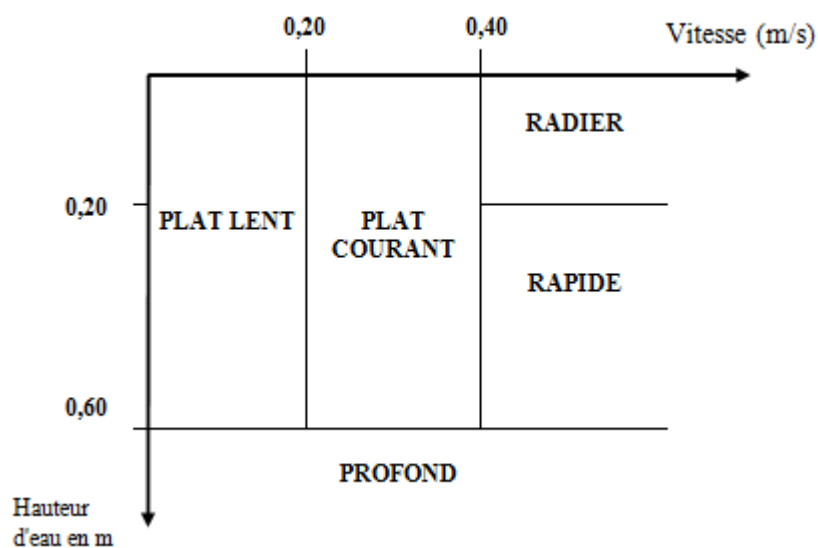
Les PLAGEPOMI évoluent en fonction des nouvelles réglementations, notamment la Directive Cadre sur l'Eau et sa déclinaison en France dans la LEMA de 2006. Les PLAGEPOMI sont également conformes aux SDAGE de chacun des 6 grandes unités administratives française en matière d'eaux (correspondant à autant d'agences de l'eau).

– 2009 : élaboration du Plan saumon Loire-Allier

Le saumon atlantique de Loire est le dernier saumon d'Europe à effectuer des distances de migration en rivière qui dépassent 800 km pour atteindre les frayères situées dans le Haut-Allier. Ses capacités migratrices permettent d'élever le saumon de Loire-Allier au rang d'indicateur de l'accessibilité des cours d'eau, mettant en évidence l'impact de nombreux barrages et autres obstacles qui retardent ou bloquent sa migration. Le caractère patrimonial emblématique du saumon de souche Loire-Allier favorise l'élaboration d'un plan de gestion spécifique, conjointement au PLAGEPOMI : le plan saumon Loire Allier (DREAL Centre, 2012). En effet, le ministère en charge de l'Environnement a confié en 2007 à la DREAL de bassin Loire-Bretagne l'élaboration et le pilotage du plan de gestion du saumon de Loire-Allier 2009-2013. Celui-ci vise à faciliter les migrations, à rendre la qualité des eaux cohérente avec les besoins biologiques et à appréhender l'impact du changement climatique (DREAL Centre, 2012), tout en prévoyant un important volet de production en captivité et de déversement en rivière d'œufs et de juvéniles de saumon directement ou indirectement issus de parents « sauvages » (Le CIEM (1997) définit un saumon sauvage par un poisson né en rivière de parents eux-mêmes nés en rivière. N'ayant pas de certitude quand à l'origine précise des géniteurs pris dans l'Allier pour alimenter la salmoniculture de Chanteuges, et compte tenu de déversements non négligeables à importants depuis les années 1970, on encadre donc par des guillemets de terme de « sauvage ») capturés dans l'Allier.

Annexe 4 : clé de détermination des faciès d'écoulement (CHAPON, 1991)

Les différents habitats en fonction du couple profondeur/vitesse de courant (Chapon P.M., 1991)



Le tableau suivant synthétise les caractéristiques visuelles des cinq types d'habitats :

Types d'habitats	Caractéristiques visuelles	Valeurs relatives des vitesses de courant	Granulométrie dominante
PROFOND	Courant lent uniforme, surface lisse	+	Variable souvent fine
PLAT LENT	Zone plus ou moins élargie, veine de courant centrale ou latérale peu visible	+ / ++	Variable avec Sable
PLAT COURANT	Surface lisse à ridée, courant bien visible	++	Graviers - Galets - Pierres
RADIER	Surface bouillonnante	++ / +++	Graviers - Galets - Pierres
RAPIDE	Ecoulement très turbulent, micro cascades	++++	Pierres - BLocs

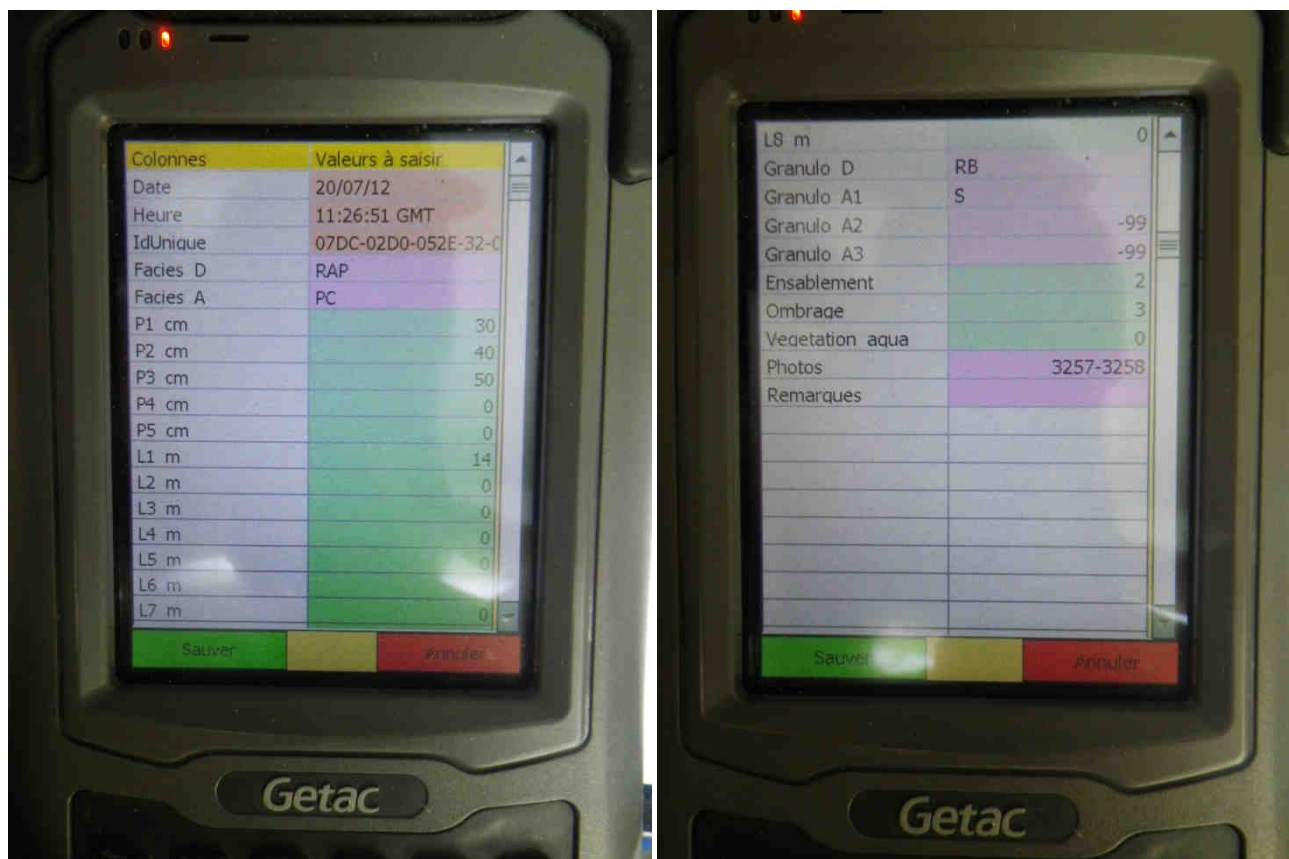
Annexe 5 : classes granulométrique et autres classes utilisées pour caractériser les faciès d'écoulement (MALAVOI & SOUCHON, 2001)

Nom de la classe granulométrique	Classes de taille <i>Diamètre perpendiculaire au plus grand axe (mm)</i>	Classes de taille adaptées au terrain <i>Diamètre perpendiculaire au plus grand axe (mm)</i>	Code
Rochers	> 1024	> 1025	R
Blocs	256-1024	256-1025	B
Pierres grossières	128-256	64-256	P
Pierres fines	64-128		
Cailloux grossiers	32-64	16-64	C
Cailloux fins	16-32		
Graviers grossiers	8-16	2-16	G
Graviers fins	2-8		
Sables grossiers	0,5-2	0,0625-2	S
Sables fins	0,0625-0,5		
Limons	0,0039-0,0625	<0,0625	L
Argiles	< 0,0039		

En ce qui concerne l'ensoleillement, le taux d'ensablement et la présence de végétation aquatique, cinq classes sont identifiées :

Code	Classe
0	- de 5 %
1	5-25 %
2	25-50 %
3	50-75 %
4	>75 %

Annexe 6 : exemple d'une table terrain remplie à l'aide du SIG nomade (Cartopocket®) pour caractériser l'habitat



Annexe 7 : classes de franchissement des obstacles et critères d'évaluation, selon la norme ICE 3

Classe de franchissement 5 = absolument infranchissable

Classe de franchissement 4 = barrière totale

Obstacle infranchissable pour l'espèce. Il constitue un obstacle total à la migration. Il est toutefois possible que, dans des conditions exceptionnellement favorable, le caractère infranchissable de l'obstacle soit momentanément levé pour une fraction de la population.

Classe de franchissement 3 = barrière partielle à impact majeur

Obstacle majeur pour l'espèce. Il est infranchissable pour la majeure partie de la population et la plus grande partie du temps. Le franchissement n'est possible qu'une partie limitée de la période de migration et pour une fraction limitée de la population.

Classe de franchissement 2 = barrière partielle à impact significatif

Obstacle significatif pour l'espèce. Il est franchissable pour la majeure partie de la population et la plus grande partie du temps. Il reste néanmoins infranchissable une partie de la période de migration et pour une fraction limitée de la population.

Classe de franchissement 1 = barrière franchissable à impact limité

Obstacle non significatif pour l'espèce. Il est franchissable sans difficulté notable pour la majeure partie de la population et la plus grande partie du temps. Il est toutefois possible que, dans des conditions exceptionnellement défavorables, le caractère franchissable de l'obstacle soit momentanément suspendu pour une fraction de la population.

Classe de franchissement 0 = absence d'obstacle

Annexe 8 : résultats de l'analyse des températures de 4 stations situées dans la Gartempe en fonction du cycle biologique du saumon

	Fraie				Incubation				Croissance printanière				Croissance estivale et automnale			
	Yzeures	St-Bonnet	Nazat	Sebrot	Yzeures	St-Bonnet	Nazat	Sebrot	Yzeures	St-Bonnet	Nazat	Sebrot	Yzeures	St-Bonnet	Nazat	Sebrot
Min	2,4	0,3	0,6	-0,3	0,2	-0,1	0,0	-0,3	9,3	11,6	10,6	6,9	9,0	7,0	6,2	5,2
Q1 (25 %)	5,0	5,0	5,0	4,9	4,4	3,4	3,6	4,0	14,3	16,0	15,0	11,9	15,7	15,5	14,3	13,9
Med	7,9	8,8	8,0	7,3	5,9	5,9	5,8	5,7	17,1	17,7	16,4	14,4	19,2	18,7	17,1	16,5
Q3 (75 %)	10,3	10,0	9,6	8,6	7,8	7,9	7,7	7,6	19,2	19,3	18,0	16,9	21,3	20,7	19,3	18,9
Max	13,6	13,6	13,7	13,6	13,1	12,3	11,9	12,7	24,7	27,5	25,7	24,8	25,7	26,7	26,2	25,7
Nombre de données	4392	2928	2928	649	8712	5388	5386	1134	5982	2184	2208	973	8856	5414	7760	1353
T optimale (°C)	7,5 à 12,5				<10				16 à 20				16 à 20			
Seuil léthal (°C)	> 27,5				> 16				> 25				> 25			

	Fraie				Incubation				Croissance printanière				Croissance estivale et automnale			
	Yzeures	St-Bonnet	Nazat	Sebrot	Yzeures	St-Bonnet	Nazat	Sebrot	Yzeures	St-Bonnet	Nazat	Sebrot	Yzeures	St-Bonnet	Nazat	Sebrot
Supérieure à l'optimal	4%	6%	4%	1%	12%	5%	3%	5%	16%	16%	7%	8%	43%	34%	17%	16%
Inférieure à l'optimal	49%	39%	42%	53%	0%	0%	0%	0%	40%	25%	42%	67%	26%	28%	38%	45%
Optimale	47%	55%	55%	47%	88%	95%	97%	95%	44%	58%	51%	25%	30%	37%	45%	38%
Supérieure au seuil léthal	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1,1%	0,4%	0%	0,4%	1,0%	0,3%	0,9%
Nombre de données	4392	2928	2928	649	8712	5388	5386	1134	5982	2184	2208	973	8856	5414	7760	1353
T optimale (°C)	7,5 à 12,5				<10				16 à 20				16 à 20			
Seuil léthal (°C)	> 27,5				> 16				> 25				> 25			

Annexe 9 : recommandations pour la qualité des eaux visant la protection de la vie aquatique établies pour l'ammoniac total ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1} \text{NH}_3$) (CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT, 2010).

Temp. (°C)	pH								
	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10
0	0,008	0,026	0,082	0,261	0,820	2,55	7,64	20,7	45,3
5	0,012	0,039	0,125	0,394	1,23	3,80	11,1	28,3	55,6
10	0,018	0,058	0,186	0,586	1,83	5,56	15,7	37,1	65,1
15	0,027	0,086	0,273	0,859	2,67	7,97	21,5	46,4	73,3
20	0,039	0,125	0,396	1,24	3,82	11,2	28,4	55,7	79,9
25	0,056	0,180	0,566	1,77	5,38	15,3	36,3	64,3	85,1
30	0,080	0,254	0,799	2,48	7,46	20,3	44,6	71,8	89,0

Annexe 10 : comparaisons deux à deux des données de chaque tronçon. Les tronçons dont le résultat est dit « non comparable » signifie que les tronçons ont une seule et même pente (données : Institut Géographique National).

Tronçons	Shapiro-wilk p-value	Comparaison à	Test de Student p-value	Test de Welch p-value	Différence significative*
Tronçon 1	0,9424	Tronçon 2	1,6560E-05		*
Tronçon 2	0,3525	Tronçon 3	3,3570E-02		*
Tronçon 3	0,1797	Tronçon 4		6,3580E-03	*
Tronçon 4	0,4577	Tronçon 5	6,2270E-04		*
Tronçon 5	0,7564	Tronçon 6	2,7450E-05		*
Tronçon 6	1 pente	Tronçon 7	1,1090E-04		*
Tronçon 7	0,7023	Tronçon 8	3,6770E-04		*
Tronçon 8	1 pente	Tronçon 9	3,4630E-07		*
Tronçon 9	0,5902	Tronçon 10	8,7280E-06		*
Tronçon 10	0,1782	Tronçon 11		8,6330E-06	*
Tronçon 11	0,6979	Tronçon 12		2,3230E-03	*
Tronçon 12	0,6447	Tronçon 13	1,3120E-02		*
Tronçon 13	1 pente	Tronçon 14	non comparable	non comparable	*
Tronçon 14	1 pente	Tronçon 15	non comparable	non comparable	*
Tronçon 15	1 pente	Tronçon 16	non comparable	non comparable	*
Tronçon 16	1 pente	Tronçon 17	non comparable	non comparable	*
Tronçon 17	1 pente	Tronçon 18	1,3100E-04		*
Tronçon 18	0,708	Tronçon 19		2,7240E-03	*
Tronçon 19	0,5733	Tronçon 20	6,6000E-04		*
Tronçon 20	1 pente	Tronçon 21	non comparable	non comparable	*
Tronçon 21	1 pente	Tronçon 22	non comparable	non comparable	*
Tronçon 22	1 pente	Tronçon 23	2,3220E-05		*
Tronçon 23	0,1659	Tronçon 24	4,5870E-01		
Tronçon 24	0,5563	Tronçon 25	2,9840E-03		*
Tronçon 25	0,6071				

—

Annexe 11 : noms des stations de pêche électrique par la méthode des indices d'abondance en 5 minutes et situation sur le bassin

Numéro	Nom de la station	PK à la Creuse (km)
1	La Gilardiére	8
2	Douce	11
3	Gué du Chêne	23
4	Mlin Roche	38
5	Les Fosses Blanches	49
6	Mlin de Saulgé	55
7	Brissonnières	62
8	Mlin Guénant	72
9	Mlin Pochaud	73
10	Mlin Ponty	75
11	Bas Tour	83
12	Mlin Lieutenant	84
13	Rau de Planteloup	85
14	Les Prades	89
15	Mlin d'Ardent	108

Numéro	Nom de la station	PK à la Creuse (km)
16	Papeterie Laprade	114
17	Mlin d'Auzillac	116
18	Pont Ventenat	118
19	Mlin de Fraisse	128
20	Mlin Coulerolles	134
21	Aval Pt Gaucharaud	138
22	Anc. Papeterie	145
23	Route Pallet	148
24	Usine Côte	152
25	Mlin du Pont	160
26	Mlin Ribbes	187
27	Pont de Gartempe	177
28	Pont St Sylvain	178
29	Pont de Roubeau	184

Annexe 12 : répartition des surfaces productives par tronçon et par habitats favorables aux tacons 0+ et aux tacons 1+

PK amont la Creuse	N_tronçon	SP préférentielles des tacons 0+ (sans RB et S en dominant)					SP préférentielles des tacons 1+ (RB dominant)				
		PC	RAD	RAD/RAP	RAP	ERR total	PC	RAD	RAD/RAP	RAP	ERR total
77,1	Troncon 3	1 685	14 261	0	0	15 947	1810	0	3237	6961	12 008
83,7	Troncon 4	3 401	11 043	3 147	16 894	34 484	1637	0	2764	44543	48 944
113,7	Troncon 5-6-7-8-9	10 203	32 207	2 884	6 510	51 804	1886	0	3074	19596	24 557
119,9	Troncon10	912	1 716	2 538	1 528	6 694	2499	705	4594	50269	58 067
128,2	Troncon11	1 290	4 012	7 834	336	13 472	2352	0	9913	17514	29 779
132,1	Troncon12	216	391	0	0	607	1989	0	1081	26022	29 092
134,0	Troncon13-14	77	0	1 945	805	2 828	558	0	0	1220	1 778
135,3	Troncon15	0	0	0	0	0	719	0	0	18028	18 747
139,0	Troncon16	809	4 551	0	139	5 499	0	206	620	1270	2 096
141,2	Troncon17	818	1 162	0	0	1 980	224	940	1113	0	2 277
142,1	Troncon18	0	0	0	0	0	52	0	0	5852	5 904
147,5	Troncon19	1 497	2 046	4 171	221	7 935	341	0	753	5886	6 979
152,3	Troncon20-21-22	438	110	1 263	138	1 949	569	0	2407	10245	13 221
161,7	Troncon23	2 434	3 105	1 891	1 217	8 647	410	0	0	1626	2 036
181,1	Troncon24	5 094	11 045	3 859	530	20 528	345	225	1120	341	2 031
187,5	Troncon25	396	3 215	3 059	870	7 540	232	369	3502	14077	18 181
195,6	Troncon26	109	1 197	382	79	1 767	46	120	415	783	1 363
TOTAL		29 379	90 061	32 973	29 269	181 681	15 670	2 565	34 593	224 232	277 060