

# TEST D'UN ALIMENT CONTENANT DE L'INSECTE SUR DU PREGROSSISSEMENT DE CARPES DANS UNE DEMARCHE DE DEVELOPPEMENT LOCAL

## Insecte Test Alevin CARPe Pays de la Loire-ITACARPe

**TRINTIGNAC P.<sup>1</sup>, METIVIER R.<sup>1</sup>, GARSY P.<sup>2</sup>, LAVILLE F.<sup>3</sup>, LE RESTE G.<sup>4</sup>, LEFEVRE A.<sup>5</sup>, MARCHAND S. <sup>5</sup>**

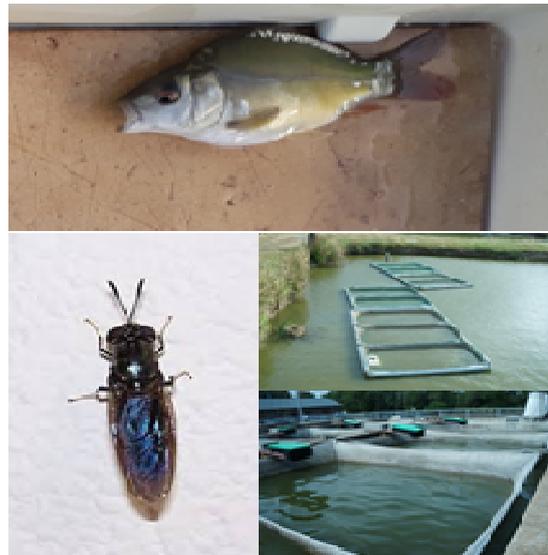
<sup>1</sup> : Syndicat Mixte Aquaculture Pêche Pays de la Loire

<sup>4</sup> : Cycle Farms

<sup>2</sup> : Lycée O. Guichard Guérande

<sup>5</sup> : LMA Haut Anjou C. Gontier

<sup>3</sup> : Halieutica



**AVRIL 2020**



## Table des matières

Résumé .....	4
Remerciements .....	6
Introduction.....	8
I. Rappels et objectifs .....	9
I.A. Evolution de l'aquaculture et de la pêche au niveau mondial.....	9
I.B. Principaux éléments de conclusion de l'étude PERIFF .....	11
I.C. Objectifs d'ITACARPe.....	13
II.C.1. Contexte piscicole ligérien.....	13
II.C.2. Contexte « aliment » .....	14
II.C.3. Objectif de l'étude .....	14
II. Expérimentation .....	15
II.1. Méthodologie .....	15
II.1.A. Sites expérimentaux .....	15
II.1.A.1 Guérande.....	16
II.1.A.2 Château-Gontier .....	16
II.1.A.3 Beaufort en Anjou .....	17
II.1.B. Volet alimentation .....	18
II.1.B.1 Besoins nutritionnels de jeunes carpes .....	18
II.1.B.2 Aliments tests et témoin .....	19
II.1.C. Volet expérimentation .....	21
II.1.C.1 Production des alevins .....	21
II.1.C.2 Suivi expérimental .....	21
II.2. Résultats .....	25
II.2.A. Transfert des alevins .....	25
II.2.B. Température (eau) et oxygène .....	27
II.2.C. Survie .....	28
II.2.C.1 Taux de survie selon les modalités .....	28
II.2.C.2 Taux de survie selon le site .....	28

<i>II.2.C.3 Résultats par site</i> .....	29
II.2.D. Croissance .....	32
<i>II.2.D.1 Poids moyens finaux par modalité</i> .....	32
<i>II.2.D.2 Poids moyens finaux selon le site</i> .....	33
<i>II.2.D.3 Résultats par site</i> .....	33
II.2.E. Indice de Conversion .....	35
<i>II.2.E.1. IC par site</i> .....	35
<i>II.2.E.2. IC selon les modalités</i> .....	36
Conclusion .....	38
Bibliographie .....	39
Sitographie .....	41
Glossaire.....	41
Figures.....	42
<b>Tableaux</b> .....	42
Annexes.....	43



## Résumé

L'étude ITACARPe consiste à tester sur de l'alevin de carpe un aliment contenant 20% de taux d'inclusion de larves de mouches soldat noir (BSF) produit et formulé en région. Les performances de croissances ont été suivies sur deux sites (G et C) différents sur trois lots d'alevins produits localement, le premier nourris avec l'aliment test insecte, un deuxième avec un aliment test identique mais à base de farine de poisson et un troisième avec un aliment témoin commercial ayant des caractéristiques nutritionnelles et énergétiques similaires.

Les résultats globaux ont été perturbés par de fortes mortalités constatées sur les deux sites à partir du 25 août, période correspondant à un pic de canicule sur la région mais aussi par une forte prédation aviaire sur un des sites. Le taux de survie est néanmoins en moyenne de 45% avec une différence marquée entre les deux sites. Il varie aussi selon les modalités avec une meilleure survie pour les animaux nourris avec l'aliment test insecte, soit 50% et ce quel que soit le site.

En termes de croissance, le poids moyen final est de 22,82g avec de fortes disparités selon le site, soit 29,34g sur le site G et 16,15g sur le site C. Les poids moyens selon les modalités tous sites confondus montrent des valeurs significativement plus importantes pour les animaux nourris avec l'aliment témoin avec 24,84g contre 22,19g et 21,43g pour respectivement les modalités tests Tbsf et Tfish. L'aliment commercial reste plus performant pour ce paramètre sur les deux sites même si cette différence n'est pas significative avec la modalité Test insecte sur le site G.

Concernant les indices de conversion globaux par modalité, l'importance des mortalités et de la prédation a impacté les résultats finaux. Les chiffres restent assez proches, autour de 4 avec quand même un meilleur indice pour les animaux nourris avec l'aliment témoin. Cependant, sur le site G, ce sont les animaux nourris avec l'aliment insecte qui présentent le meilleur IC.

L'étude ITACARPe a montré qu'un nourrissage d'alevins de carpe pour la production de 1 été à partir d'un aliment contenant 20% de taux d'inclusion de farine de BSF était faisable avec des performances de croissance globales légèrement inférieures qu'avec un aliment témoin commercial mais avec un meilleur taux de survie. Des conditions expérimentales difficiles et le manque de répétition ne permettent pas de valider ces premiers résultats. Une expérimentation avec plus de réplicats serait nécessaire pour confirmer ces premières tendances.



## Remerciements

Un grand merci à tous les acteurs techniques ayant participé à cette étude, les lycées Olivier Guichard de Guérande et du Haut Anjou de Château-Gontier, Halieutica et CycleFarms. Un remerciement appuyé pour le cofinanceur, la Région des Pays de la Loire.

Une mention particulière pour les techniciens des différents collaborateurs, Guillaume Mercier, Jordan Bellier du Lycée Olivier Guichard de Guérande, Damien Denizot, Yvan Lescure du Lycée des Métiers de l'Agriculture de Château-Gontier et Eugénie Picot, Arnaud Fournier, Adrien Debrix de CycleFarms.



## Introduction

La demande en protéine animale explose avec l'accroissement de la population mondiale et le développement de certains élevages dont l'aquaculture (FAO, 2013b ; FAO, 2014). Les insectes apparaissent comme étant une des nouvelles sources de protéines les plus intéressantes, en particulier pour les élevages d'animaux monogastriques (Al-Qazzaz & Ismail, 2016). Pour la Commission Européenne, l'élevage d'insectes pourrait constituer une solution de substitution durable aux sources traditionnelles de protéines animales destinées à l'alimentation aquacole (Règlement CE 2017/893, 2017).

Depuis le 1er juillet 2017, le règlement européen 2017/893 modifie certaines dispositions relatives aux protéines animales transformées destinées à l'alimentation aquacole avec l'autorisation de protéines issues d'insectes d'élevage avec sept espèces autorisées dont celle concernée par notre étude ; la mouche soldat noire (*Hermetia illucens*).

Ces évolutions sociétales et réglementaires génèrent un certain engouement de la part de plusieurs acteurs qui n'hésitent pas communiquer régulièrement sur la substitution prochaine des farines de poissons, indispensables dans l'alimentation des poissons d'élevage, par de la farine d'insectes. Au niveau régional, plusieurs acteurs piscicoles se posent la question de l'intérêt ou non d'avoir des PAT (Protéines Animales Transformées) d'insectes dans l'alimentation aquacole. Plusieurs études semblent montrer que malgré des perspectives intéressantes, le développement d'une telle filière pour l'alimentation aquacole n'est pas simple, au moins à court terme. Une étude, Pré Etude Régionale Feed for Fish ou PERIFF, a été lancée en 2019 afin d'établir un panorama le plus complet possible sur les connaissances actuelles sur la production et l'emploi d'insectes en alimentation aquacole. Les principales contraintes concernent la production d'insectes en volume, les coûts de production et les process d'élevage assurant un produit de qualité standard nécessaire pour une utilisation à grande échelle pour l'alimentation aquacole (Trintignac P. & Métivier R., 2019).

L'utilisation de farine d'insectes ne peut être intéressante à court terme dans le contexte national et local que pour certains marchés à haute valeur ajoutée et ne nécessitant pas de grands volumes d'aliments comme la production de poissons d'ornement et la production d'alevins. Le développement de systèmes d'élevage « autonomes » en hors sol basés sur des cycles courts (aquaponie par exemple) pourraient constituer aussi un débouché intéressant.

Dans le contexte piscicole ligérien, la pisciculture en étang constitue la première activité piscicole continentale (Ameslon P. *et al.* 2012). L'alimentation humaine est une voie de diversification potentielle pour cette activité, la carpe représentant l'espèce de poisson la plus adaptée d'un point de vue technico économique pour ce marché (Trintignac P. *et al.*, 2016). Une des phases clés de ce cycle, c'est la production de « feuilles », c'est-à-dire de jeunes carpeaux nés en mai juin et qui ont passé 1 été.

L'étude ITACARPe se propose de vérifier sur deux sites expérimentaux si la piste d'une alimentation complémentée en farine d'insectes produite localement pourrait améliorer les performances de croissance durant la phase de pré grossissement qui constitue une étape clé pour la suite du cycle d'élevage en pisciculture en étang. Il n'existe pas à notre connaissance de travaux publiés similaires.

## I. Rappels et objectifs

Le contexte de la problématique insecte dans l'alimentation aquacole ainsi que des éléments de conclusion de la pré-étude PERIFF sont rappelés afin de mieux appréhender les objectifs de cette étude ITACARPe.

### I.A. Evolution de l'aquaculture et de la pêche au niveau mondial

La demande en protéine animale explose avec l'accroissement de la population mondiale et le développement de certains élevages dont l'aquaculture (FAO, 2014). Pour la Commission européenne, l'élevage d'insectes pourrait constituer une solution de substitution durable aux sources traditionnelles de protéines animales destinées à l'alimentation aquacole (Règlement UE 2017/893). Depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2017, le règlement européen 2017/893 modifie certaines dispositions relatives aux protéines animales transformées destinées à l'alimentation aquacole avec l'autorisation de protéines issues d'insectes d'élevage avec sept espèces autorisées dont l'espèce concernée par notre étude ; la mouche soldat noire *Hermetia illucens* (figure 4).

Au cours des trente dernières années, l'aquaculture mondiale n'a cessé de croître pour répondre à la demande croissante de poisson pour la consommation humaine qui ne peut plus être satisfaite par les seules captures de pêche (Burel & Medale, 2014). L'aquaculture mondiale représentait en 2016 plus de 80 millions de tonnes de produits (figure 1).

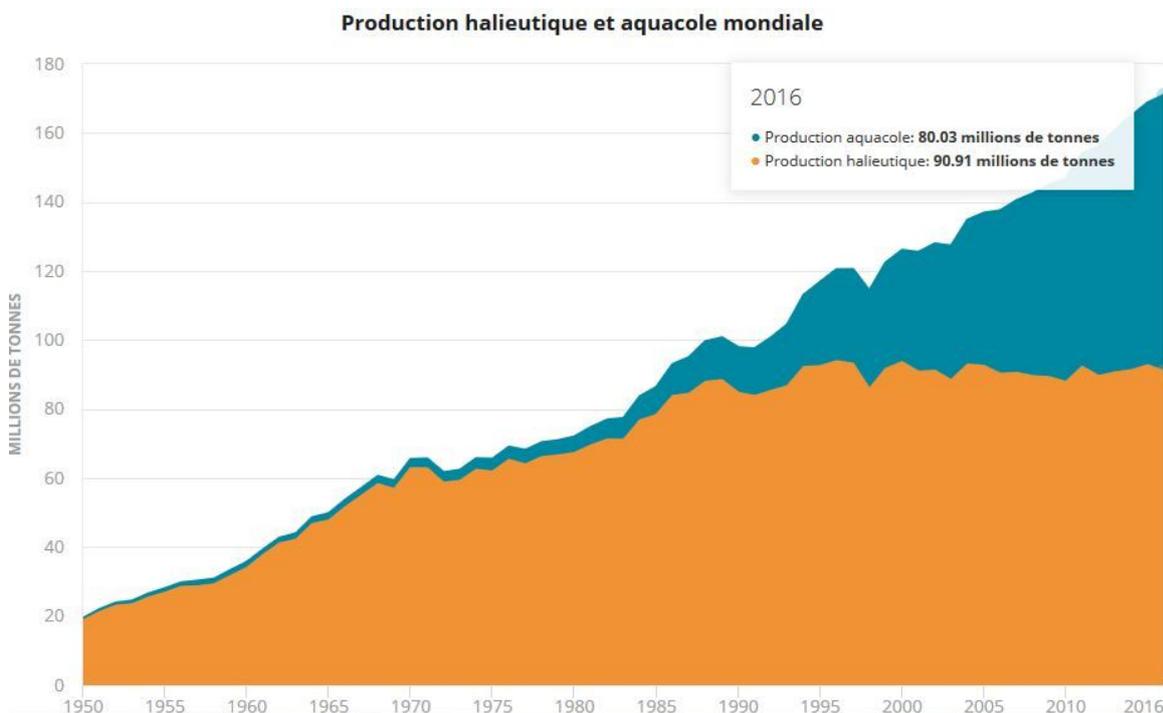
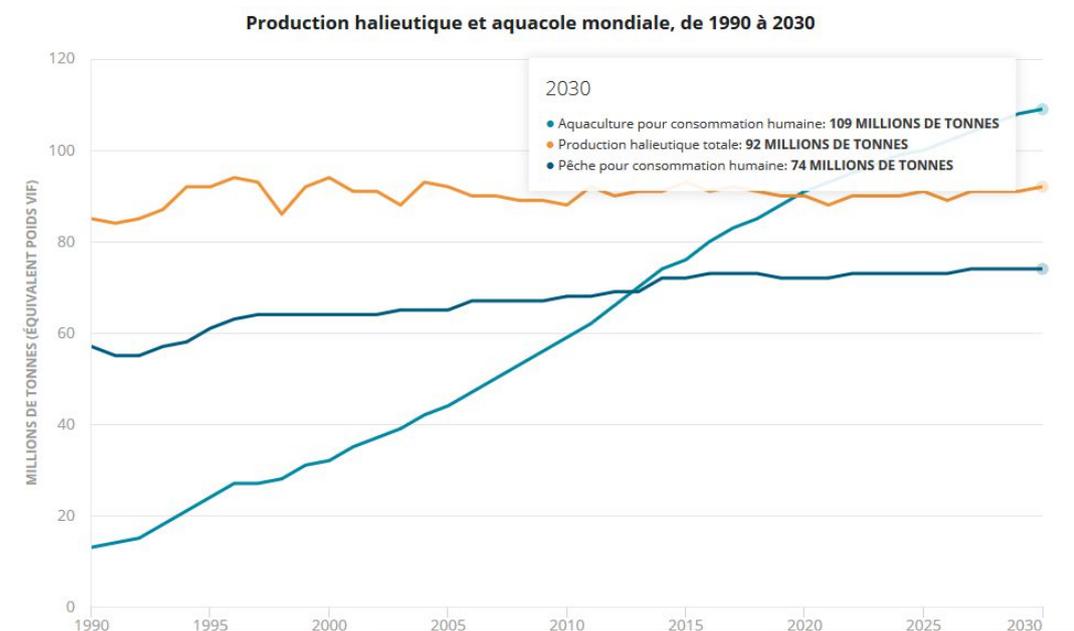


Figure 1 : évolution des captures de pêche et de l'aquaculture dans le monde (FAO, 2018)

La pisciculture représente environ 50 millions de tonnes (FAO, 2018). Dans l'hypothèse d'une hausse de la demande et d'une poursuite des progrès technologiques, la production mondiale totale du secteur de la pêche et de l'aquaculture (hors plantes aquatiques) devrait continuer de croître tout au long de la période de projection pour atteindre 201 millions de tonnes en 2030. La majeure partie de la croissance de la production devrait provenir du secteur de l'aquaculture, lequel devrait atteindre une production de 109 millions de tonnes en 2030, soit une hausse de 37% par rapport à 2016 (figure 2). Plus de la moitié des farines de poissons produites (57%) sont utilisées par l'aquaculture, 22% par les élevages de porcs et 14% par la filière volailles (Henry M. *et al.*, 2015). L'activité de pêche en mer atteint aujourd'hui un niveau élevé d'exploitation de quasi tous les océans (Watson *et al.*, 2013). La diminution de la disponibilité en farines, huiles de poisson et l'augmentation des prix de ces ressources indispensables à la production d'aliments pour l'aquaculture stimulent la recherche d'alternatives durables, d'autant plus que 40 à 60% des coûts de production dans les systèmes aquacoles sont dus au poste alimentation (Kumar P. *et al.*, 2017).



**Figure 2 : production halieutique et aquacole mondiale, de 1990 à 2030 (FAO, 2018)**

La proportion de farine de poisson dans les aliments piscicoles a été réduite d'un tiers. Elle est remplacée par une combinaison de sources protéiques végétales qui fournissent les acides aminés indispensables en quantité suffisante pour répondre aux besoins des poissons. Néanmoins, les études ayant porté sur des taux de substitution très élevés (peu ou pas de farine de poisson) ont mis en évidence des verrous physiologiques bien que les régimes contenaient tous les nutriments nécessaires : une baisse de la consommation alimentaire, de l'efficacité alimentaire et du taux de croissance des poissons, ainsi que des modifications métaboliques (Burel & Medale, 2014 ; Parlement, 2017). Une substitution partielle ou totale à partir de céréales poserait aussi la question des terres arables disponibles.

Les insectes présentent plusieurs avantages par rapport au végétal. Ils font partie du régime alimentaire naturel de plusieurs espèces de poissons. Ils peuvent faire l'objet d'une production industrielle permettant de valoriser des coproduits inexploités d'autre type d'exploitation. Leur production ne nécessite que peu de surface, peu de ressources et pas de terre arables. Ils présentent un taux élevé de protéines. Certains insectes (Diptères) offrent un profil en acides aminés proche de celui des poissons (Vallod & Le Reste, 2017). Plusieurs projets sont lancés en France et en Europe. Néanmoins plusieurs questions restaient sans réponses notamment sur les coûts de production, sur les performances de croissance des poissons, sur les aspects réglementaires etc.

Au niveau régional, plusieurs acteurs piscicoles se posaient la question de l'intérêt ou non d'avoir des PAT d'insectes dans l'alimentation aquacole. Des contacts entre les lycées aquacoles régionaux et des producteurs d'insectes étaient déjà pris, ces derniers souhaitant développer des expérimentations. Face à ces constats et après plusieurs sollicitations d'entomoculteurs régionaux, un petit groupe d'étude régional s'est mis en place début 2018 avec le lancement d'une pré-étude PERIFF.

L'objectif de cette pré-étude était simple : établir un panorama le plus complet possible sur les connaissances actuelles de la production et de l'emploi d'insectes en alimentation aquacole puis d'en faire une analyse adaptée au contexte ligérien avec une possibilité de lancer une future expérimentation selon les conclusions. Ce travail s'est terminé début 2019 avec des éléments de conclusion qui permettent de lancer l'étude ITACARPe.

## **I.B. Principaux éléments de conclusion de l'étude PERIFF**

Depuis le 1er juillet 2017, les PAT (Protéines d'Animaux Terrestres) d'insectes sont autorisées dans l'alimentation des animaux d'aquaculture, tandis qu'elles sont aujourd'hui interdites pour les ruminants, porcs et volailles. Aucune exigence n'est formulée pour la mise à mort des animaux, mais les usines de transformation doivent être dédiées à la production de PAT d'insectes et les usines de production d'aliments composés les utilisant doivent être dédiées à la production d'aliments composés pour animaux d'aquaculture. Néanmoins ce type d'élevage devient plus encadré dans la réglementation française (note de service DGAL/SDSPA/2017-860 du 27/10/2017), et peuvent même relever de la nomenclature installation classée depuis 2018 (Arrêté du 21 novembre 2017 relatif aux prescriptions générales applicables aux ICPE).

A noter aussi qu'en application de l'article 14 du règlement (CE) n°1069/2009, il n'est pas autorisé d'utiliser des sous-produits animaux dans l'alimentation des animaux d'élevage destinés à la consommation humaine sans transformation préalable. L'alimentation directe des animaux d'élevage avec des insectes morts sans transformation préalable n'est donc pas autorisée.

Les insectes destinés à la production de denrées alimentaires ou d'aliments pour animaux ne peuvent pas être alimentés avec des matières premières interdites en alimentation animale telles que : le lisier, les déchets de cuisines et de table et le bois traité.

L'élevage massif d'insectes est d'ores et déjà répandu dans le monde entier, en particulier pour la production de soie, d'appâts et d'aliments pour animaux de compagnie (poissons, oiseaux et reptiles) et pour le contrôle biologique des espèces nuisibles. De petites unités de production de Black Soldier Fly (BSF ou mouche soldat noir), de vers de farine, de criquets et de sauterelles sont en cours de création en Europe et dans le reste du monde. La plus grande unité de production de farine d'asticot et de BSF établie est située en Afrique du Sud (AgriProtein; 3 t d'asticots par jour).

Les travaux ont mis en évidence le potentiel de l'utilisation des insectes en tant que substitut de la farine de poissons dans les régimes alimentaires des poissons, grâce à leur teneur élevée en protéines et à des profils en acides aminés adéquats, avec peu de déficiences. Même si la qualité des insectes va varier selon les conditions d'élevage et la nature des substrats, les taux de protéines dépassent largement les 50% et peuvent même atteindre les 80% avec certaines carences en acides aminés. Les taux de lipides sont compris entre 10 et 30% avec une certaine richesse en Acides Gras Polyinsaturés (AGPi). Dans leur alimentation, les poissons d'eau douce requièrent tout particulièrement des acides gras polyinsaturés, qu'on retrouve préférentiellement dans les insectes terrestres testés actuellement. A contrario, les poissons marins requièrent des acides gras hautement insaturés (AGHi) (Vallod & Le Reste, 2017).

Les vers de farine, les vers à soie, les BSF et les asticots semblent être les insectes les plus efficaces dans les expériences d'alimentation du poisson. Les insectes de l'ordre des Diptères (mouches) semblent avoir le profil en acides aminés le plus proche de celui des poissons. Parmi les farines et huiles d'insectes testés, celles issues de

la BSF donnent de meilleurs résultats sur les performances de croissance de différentes espèces de poissons testés. Sachant qu'au mieux un taux de substitution de farine de poisson de BSF de 50% a donné des résultats de croissance similaires lors de grossissement de truites (Makkar H. *et al.*, 2014). Mais la teneur en lipides des filets a diminué ou a été modifié, ce qui peut poser des problèmes pour la transformation. La qualité du substrat dégradé par les insectes, la composition de ces substrats en acides aminés et acides gras, la méthode de transformation des insectes (température, dégraissage ou non) et les stades de croissance du poisson sont des paramètres clés dans la performance des aliments incorporant les farines d'insecte. Des études complémentaires sont nécessaires et en cours sur les process (projet Région AVENIR), sur les substrats, sur la digestibilité, sur les besoins riches en protéines etc...

**Un remplacement total des farines de poisson avec des farines d'insectes n'est en général pas efficace chez les poissons** probablement en raison d'un déséquilibre alimentaire. Ce constat serait différent avec l'utilisation d'insectes entiers, ce que ne permet pas la réglementation européenne pour le moment. En plus de certaines carences notamment en acides aminés, le rôle de la chitine est mis en avant sur la digestibilité. La question de la digestibilité nécessite également d'autres études, car la teneur en chitine peut ne pas être le seul facteur responsable de ces problèmes.

Le **remplacement partiel (10 à 40%)** de farines de poissons de haute qualité par des farines d'insecte semble possible, **principalement pour les espèces herbivores /omnivores**, mais aussi pour certains poissons carnivores comme la truite (Henry *et al.*, 2015).

Si les insectes offrent une bonne opportunité de remplacer en grande partie les farines de poissons, il en va différemment pour les huiles de poissons, surtout pour l'alimentation des poissons marins et les salmonidés.

Des tests privés sont en cours actuellement en France, principalement sur de la truite.

Même si certains résultats restent encourageants, plusieurs difficultés freinent le développement de cette filière comme le coût de production et le volume potentiel de production. L'augmentation supposée des prix de farine de poisson pourrait rendre les coûts de production en grand volume d'insectes compétitifs. Quand on regarde l'évolution des prix moyens de la tonne de farine de poisson depuis vingt ans, elle a augmenté de plus de 400 % (entre 350 et 1500 €) mais cette hausse concerne surtout les dix premières années. Depuis 5 ans avec des fluctuations, le prix moyen de la tonne évolue peu soit entre 1 100€ et 1 800 € la tonne. Depuis 1 an, il est constant soit entre 1350 et 1550 € la tonne (figure 3). Pour être rentable il faudrait un coût de production d'insecte se rapprochant des 2€ du kilo (objectif affiché par l'entreprise Ynsect). Cependant, actuellement dans le contexte européen et surtout national, ces fameux coûts sont au mieux supérieurs à 5€ du kilo et souvent beaucoup plus (Trintignac & Métivier, 2019).

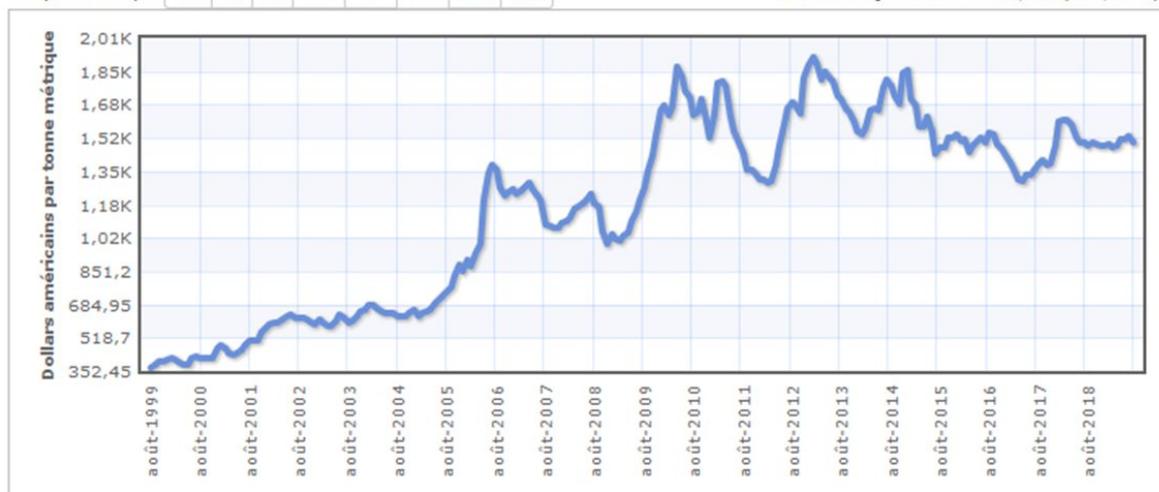
De même un taux de substitution de farine de poisson de 30 % nécessiterait au moins plusieurs milliers de tonnes de farine d'insectes sachant que la consommation d'aliments piscicoles en France est comprise entre 50 000 et 100 000 tonnes par an (Le Reste G., 2018, <http://www.poisson-aquaculture.fr/les-chiffres-cles/CIPA>). Sachant aussi que d'autres filières animales comme l'aviiculture pourraient être prochainement éligibles (en 2020) sans parler du marché du Pet Food ou encore du Food pour l'alimentation humaine rendu possible en Europe dès janvier 2018. Selon le règlement Novel Food (UE) 2015/2283, « les insectes entiers et leurs parties » seront officiellement considérés comme des aliments nouveaux et devront faire l'objet d'une demande d'autorisation préalable avant leur commercialisation, basée sur une évaluation des risques sanitaires.

A noter qu'il reste beaucoup d'effort sur l'empreinte écologique qui reste plutôt défavorable par rapport à la production de farine de poisson ou du tourteau de soja, notamment en raison du maintien d'un environnement tropical pour leurs élevages et des coûts énergétiques liés à leur process (Thevenot A. *et al.*, 2018).

## Farine de poisson Prix Mensuel - Dollars américains par tonne métrique

Laps de temps

août 1999 - juil. 2019: 1 125,120 (303,27 %)



**Description:** La farine de poisson, au Pérou. Farine de poisson / pellets protéine de 65%, CIF, Dollars américains par tonne métrique

Figure 3 : évolution sur 20 ans de la Farine de poisson Prix Mensuel - Euro par Tonne métrique (<https://www.indexmundi.com/fr/matieres-premieres/>)

PERIFF montre que l'utilisation de farine d'insectes dans l'alimentation piscicole pourrait être intéressante dans un contexte français et européen dans deux cas de figure : pour la production de poissons d'ornement et pour la production d'alevins. Ces marchés sont plutôt à haute valeur ajoutée et permettraient d'absorber en partie le surcoût de l'aliment. Ils ne nécessitent pas de grands volumes d'aliments permettant aussi de répondre au problème d'approvisionnement.

## I.C. Objectifs d'ITACARPe

### II.C.1. Contexte piscicole ligérien

Dans le contexte piscicole ligérien, la production de poissons d'ornement est en forte baisse, principalement pour des raisons économiques avec une concurrence importante des produits d'imports. La pisciculture en étang, malgré aussi des difficultés économiques, constitue la première activité piscicole continentale (Ameslon P. *et al.*, 2012) avec des voies de diversification intéressantes, notamment vers l'alimentation humaine. La carpe représentent l'espèce de poisson la plus adaptée d'un point de vue technico économique pour ce marché (Trintignac P. *et al.*, 2016) . Il faut 27 à 40 mois d'élevage pour obtenir une carpe de taille commerciale pour la transformation soit entre 1,5 et 3 kg, une grande partie du cycle d'élevage s'effectuant en extensif en étang. Le pré grossissement ou la production de « feuilles », c'est-à-dire de carpes nées en mai juin et qui ont passé 1 été, est une des phases clés de ce cycle. Cette phase, en condition extensive, permet de produire des poissons d'environ 20-25g en octobre de l'année de leur naissance. La carpe est un poïkilotherme dont le métabolisme est directement dépendant de l'environnement et des propriétés physico-chimiques du milieu aquatique. C'est un poisson qui assure l'essentiel de sa croissance en période estivale (Billard, 1995 ; Schlumberger & Girard, 2013). La croissance de la carpe est l'activité métabolique qui nécessite le plus d'énergie dans les premières années de la vie. Ainsi, une carence en énergie causera irrémédiablement des retards de croissance, des malformations osseuses, des nanismes harmonieux ou non et une mortalité plus élevée (Ranson, 2003). Le projet consisterait à essayer d'améliorer les performances de croissance durant cette phase de pré grossissement en testant un aliment contenant de l'insecte, le tout dans une approche de développement

économique local, de la fabrication de l'aliment à la production et à la transformation des carpes. Une production régulière de feuilles de plus de 50g permettrait de diminuer le cycle d'élevage en étang tout en améliorant la qualité des poissons.

### II.C.2. Contexte « aliment »

L'insecte ciblé qui semble le plus performant pour le nourrissage aquacole d'après la littérature est un diptère ; la mouche soldat noir dénommé BSF (Black Soldier Fly) ou plutôt sa larve (Trintignac & Métivier, 2019). Elles se trouvent en abondance autour des tas de fumier des volailles, porcs et bovins. Elle est présente naturellement dans le sud de la France (figure 4).



Figure 4 : mouche soldat noir et sa larve (*CycleFarms*)

De nombreuses études ont été réalisées et largement décrites (Makkar H. *et al.*, 2014) : aucun niveau d'incorporation de BSF dans l'aliment piscicole n'a conduit à une meilleure performance des poissons que les poissons nourris avec des régimes témoins riches en farine de poisson. Certains niveaux d'incorporation de larves de BSF ont montré des performances de croissance similaires à celles des poissons nourris avec des aliments à base de farine de poissons. Cependant, la plupart des études ont concerné des poissons carnassiers comme la truite, le bar ou la daurade ainsi que certaines espèces continentales d'eaux chaudes comme le tilapia (*Niloticus sp.*) et le catfish (*Ictalurus punctatus*). Il existe peu d'études sur la carpe commune (Henry M. *et al.*, 2015) et aucune sur le stade d'élevage proposée ici. Une étude a montré l'augmentation de l'effet attractant d'un aliment contenant un autre insecte le Bombyx mori sur de la carpe (Li, H. *et al.*, 2013). Une seule étude récente fait référence à des essais sur des jeunes stades de carpes nourries à partir de farines de BSF. Elle n'a pas montré de différences significatives en termes de performance de croissance sur des productions de carpes de 2 étés ou C2 (poids initial 30g) par rapport à un aliment complet à base de farine de poisson (Li, S. *et al.*, 2017). De plus, ces essais concernaient une variété locale (Tian) de carpe *Cyprinus carpio* qui est différente de celle présente en France et dans les Pays de la Loire.

Dans le cadre de la démarche de développement local, un acteur régional, CycleFarms, basé dans le Maine et Loire, a la double compétence d'entomoculteur et de formulateur d'aliment. Il propose déjà une gamme d'aliments utilisée pour le pré grossissement de tilapia au Ghana. Les besoins nutritionnels de cette espèce appartenant à la classe des cichlidés est proche de ceux de la carpe commune, notamment sur le volet protéine.

### II.C.3. Objectif de l'étude

L'étude ITACARPe se propose de vérifier si la piste d'une alimentation complétementée en farine de BSF produite localement pourrait améliorer les performances de croissance durant la phase de pré grossissement de la carpe qui constitue une étape clé pour la suite du cycle d'élevage en pisciculture en étang. Il n'existe pas à notre connaissance de travaux publiés similaires. Seuls, des résultats très significatifs pourraient justifier la poursuite de l'étude compte tenu de la réalité technico économique de ce type de production extensive et du coût de production de l'aliment insecte.

## II. Expérimentation

L'expérimentation consiste à tester un aliment test contenant de la farine d'insectes lors du pré grossissement de carpes sur deux sites régionaux entre le mois de juillet 2019 et le mois d'octobre 2019 inclus.

L'étude comporte deux phases techniques en 2019 ; une phase sur la mise au point de l'aliment test et une phase expérimentale.

La première phase devra permettre de déterminer la formulation de l'aliment test la plus adaptée ainsi que l'aliment témoin de référence.

La deuxième phase correspond au volet expérimental *in situ* avec tests des aliments insectes.

### II.1. Méthodologie

#### II.1.A. Sites expérimentaux

Les suivis expérimentaux se déroulent sur deux sites régionaux, à Guérande en Loire Atlantique à la pisciculture continentale du Lycée Olivier Guichard (site G) et à Gennes sur Glaize en Mayenne à la pisciculture du Lycée du Haut Anjou (site C). La formulation, la production des farines d'insectes et des aliments tests sont réalisées sur le site de CycleFarms à Beaufort en Anjou en Maine et Loire (site I) (figure 5).

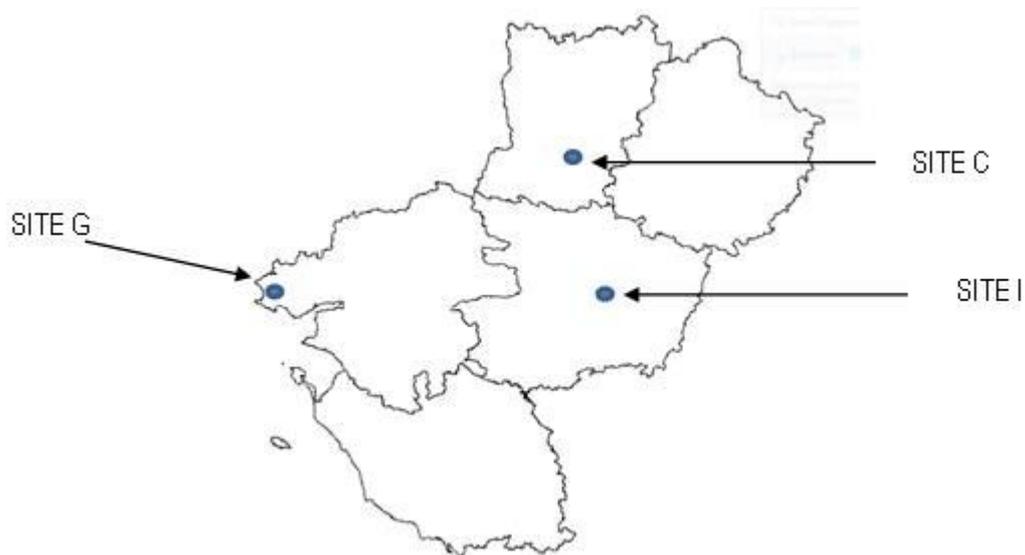


Figure 5 : situation géographique régionale des sites d'expérimentation

### II.1.A.1 Guérande

La pisciculture continentale du Lycée professionnel Olivier Guichard de Guérande est située dans l'enceinte même de l'établissement. Le site est situé sur le bassin versant du Traict de Pen bé-Mesquer à la limite de la Loire Atlantique et du Morbihan (figure 6).



Figure 6 : situation géographique du Lycée de Guérande et photos du site de la pisciculture et des bassins concernés par l'expérimentation (lycée O. Guichard et smidap).

Les installations comprennent cinq étangs, dont un de plus d'1 ha, l'étang de Crémeur, qui sert à alimenter en eau le reste des structures. Le site de la pisciculture continentale se situe au-dessus du niveau de l'étang. L'eau d'approvisionnement et de remplissage des étangs est principalement constituée par les eaux de ruissellements. Un groupe de pompage installé dans l'étang (160 m<sup>3</sup>/h) permet d'assurer l'approvisionnement en eau de la plateforme extérieure de bassins. Ces bassins ont été construits en 1972 et l'hydraulique générale du site a fait l'objet d'une restauration complète en 2015. L'eau pompée peut transiter selon les besoins par une station de filtration dotée d'un filtre à sable et d'une unité de stérilisation (40 watts). Le site comporte notamment plusieurs bassins d'élevage en extérieur en béton.

Un circuit d'eau recyclé est installé dans quatre des huit bassins maçonnés de 20 m<sup>3</sup> (B4 à B7), chacun recevant les systèmes de filtration biologique, de type gravitaire sur lit agité, par anneaux plastique et de mise en circulation de l'eau, de type "airfitt". Les quatre derniers bassins de 20 m<sup>3</sup> (B8 à B11) et les autres bassins maçonnés (B12 à B14) et en résine polyester (B15 à B18) fonctionnent en circuit ouvert à partir de la station de pompage installée dans le bassin B3.

Les essais s'effectueront dans deux des bassins maçonnés fonctionnant en circuit ouvert (figure 6).

### II.1.A.2 Château-Gontier

La pisciculture continentale du Lycée professionnel de Château-Gontier se trouve à quelques kilomètres de l'enceinte du lycée sur la commune de Gennes-sur-Glaize au Lieu-dit les Prieuries sur le bassin versant de la Mayenne. Les installations comprennent en particulier plusieurs petits bassins en terre de 450m<sup>2</sup>, une de 6400 m<sup>2</sup>, et deux de 1400 m<sup>2</sup> soit 1,4 ha en eau. L'expérimentation s'effectuera dans un de ces bassins (figures 7).



Figure 7 : situation géographique du site piscicole du Lycée du Haut Anjou et photos de la pisciculture et d'un petit étang concerné par l'expérimentation (geoportail et smidap).

Pour éviter d'éventuelles chutes d'oxygène dans cet étang clos, des aérateurs se mettent à fonctionner tous les matins à partir de 5h.

Les étangs sont alimentés en eau principalement par le ruissellement, les précipitations et un forage. Ils sont vidangés annuellement. Les essais s'effectueront dans un des petits étangs.

Pour limiter les biais que pourrait générer la productivité naturelle de l'étang, avec notamment le zooplancton, des cyprinidés ont été rajoutés dans le plan d'eau autour des cages afin d'éliminer au maximum l'alimentation naturelle.

### II.1.A.3 Beaufort en Anjou

Dans le cadre de la démarche de développement local, un collaborateur prestataire, CycleFarms, basé dans le Maine et Loire, a la double compétence entomoculteur et formulateur d'aliment. Le site dispose d'un centre de recherche et développement regroupant les unités d'élevage nécessaires mais également des machines pilotes permettant les premières étapes de transformation des insectes (figure 8). Cet établissement est agréé par la DDPP (Direction Départementale de la Protection des Populations) du Maine et Loire pour mener des expérimentations (filiale abattage et traitement sur place + espace quarantaine, incinération).

CycleFarms propose déjà une gamme d'aliments utilisée pour le pré grossissement de tilapia en Afrique. Les besoins nutritionnels de cette espèce appartenant à la classe des cichlidés est proche de ceux de la carpe commune, notamment sur le volet protéine. Par exemple, une des formulations existantes comporte un taux de protéine de 46% et de lipides à 9% tout à fait comparable aux aliments complets témoins déjà commercialisés. La taille des granulés pouvant être produites, soit à partir de 0,2 à 0,3 mm, nous permettra d'alimenter les larves de carpes dès le début du cycle.



Figure 8: photos de Cycle Farms (*Cycle Farms*)

### II.1.B. Volet alimentation

Malgré de nombreux travaux sur le nourrissage piscicole à partir d'aliments contenant des insectes, peu d'études publiées concernent la carpe commune *Cyprinus carpio* (M. Henry *et al.*, 2015 ; Trintignac & Métivier, 2019). Une publication récente chinoise a montré pour le grossissement de carpes de 1 été (34,78 g PM), qu'un **Taux de Supplément de Farine de Poisson (TSFP)** maximum de 50% n'altérerait pas les performances de croissance par rapport à un aliment témoin.

La composition des aliments tests va dépendre de l'espèce, du stade de développement ainsi que certains choix sur le processus de fabrication du granulé.

#### *II.1.B.1 Besoins nutritionnels de jeunes carpes*

La carpe est un poisson omnivore à tendance carnivore. Les nombreuses études ont permis de déterminer les recommandations alimentaires, l'importance relative des divers nutriments ainsi que les étroites relations qu'il existe entre eux. Le catabolisme protéique fournit à la carpe l'essentiel de l'énergie nécessaire à son métabolisme. Le rapport protéines-calories de la ration apparaît comme primordial dans la maîtrise de l'alimentation. Les aliments industriels sont conçus à partir de ces recommandations et couvrent les différents stades physiologiques de la carpe jusqu'à l'obtention d'une taille commerciale convenable. Leur utilisation réduit le risque pathogène au sein de l'exploitation (Ranson, 2003).

Les recommandations alimentaires varient avec l'âge et le stade physiologique de la carpe. Selon certaines études, la densité énergétique recommandée pour un aliment pour carpes communes devrait être comprise entre 2700 et 3100 kcal EM/kg d'aliment (New, 1987). La croissance de la carpe est l'activité métabolique qui nécessite le plus d'énergie dans les premières années de la vie. Ainsi, une carence en énergie causera irrémédiablement des retards de croissance, des malformations osseuses, des nanismes harmonieux ou non et une mortalité plus élevée.

Pour les premiers stades d'élevage, les taux de protéines d'un aliment peuvent atteindre les 45% voire plus (Jauncey, 1981). Les taux de lipides tolérés dans les rations des carpes communes vont de 5% à 20%, l'important étant surtout le rapport protéines/lipides (Ranson, 2003).

### II.1.B.2 Aliments tests et témoin

Le principe est de partir d'un aliment test déjà fabriqué par notre collaborateur pour des alevins de tilapia, les besoins nutritionnels étant assez proches de ceux de la carpe. L'idée initiale est de comparer l'aliment contenant de l'insecte avec un aliment complet commercial. Cependant, la comparaison reste limitée car tous les paramètres liés à la composition de l'aliment commercial ne sont pas connus même si les deux aliments sont iso-protéines et iso-énergétiques. Un deuxième aliment test sera produit en reprenant les caractéristiques de l'aliment insecte et en remplaçant la farine d'insectes par de la farine de poisson. On compare donc trois aliments avec une composition nutritionnelle la plus proche possible notamment sur les taux de protéines 42% et de lipides 9%.

Les deux aliments test sont des aliments pressés. Le premier aliment test contient de la farine de BSF avec un taux d'inclusion de **20%** soit un **TSFP de 37,5%**. Le taux d'inclusion retenu de 20% est un compromis entre un taux de PAT d'insecte suffisamment important pour être significatif et un taux de supplément de farine de poisson ne dépassant pas les 50% car potentiellement problématique sur la digestibilité et sur les performances de croissance selon la littérature (Trintignac & Métivier, 2019).

La farine d'insecte utilisée dans les formulations tests est issue du centre pilote de recherche et développement de CycleFarms.



Figure 9: photo de pellets de l'aliment test (*smidap*)

Les larves, avant d'être transformées, sont nourries exclusivement par des rations composées de coproduits végétaux (fruit / légume / coproduits céréaliers) selon la législation actuellement en vigueur en Europe.

Les larves ont ensuite subi un processus de transformation dit « voie sec » comportant les étapes suivantes :

- Exécution (chaleur)
- Séchage (longue durée basse température)
- Pressage (extraction lipidique partielle)
- Broyage (réduction en farine)

Ainsi, les farines utilisées dans cette expérimentation sont des farines d'insecte que l'on peut considérer comme peu qualitatives car elles contiennent encore les cuticules des larves. Ces cuticules sont connues pour être composées de chitine, élément anti-digestible pour les poissons. Cependant, ce processus voie sec est un processus cohérent avec les volumes considérés dans le marché étudié à l'échelle des Pays de la Loire. La composition de cette farine d'insecte utilisée dans le logiciel de formulation est la suivante :

NUTRITION FACTS			
Protein	51 %	Phosphorus P	1%
Lipids	13%	Calcium Ca	2%
Fiber	13 %	Potassium K	1.7 %
Ash	11 %		

AMINO ACID PROFILE (% protein)	
Lysine totale	5,4
Thréonine totale	3,7
Méthionine totale	1,4
Cystine	0,9
Alanine	8,2
Arginine	4,3
Acide aspartique	7,8
Acide glutamique	11,1
Glycine	5,5
Histidine	2,8
Isoleucine	4,1
Leucine	6,5
Phénylalanine	3,5
Sérine	4,3
Valine	5,8
Proline	5,8
Tryptophane	1,6

Les analyses effectuées sur les aliments tests après leur production confirment par ailleurs que les taux protéiques visés dans les formulations (43% de protéine) sont atteints

Cet aliment test contenant de l'insecte sera dénommé **Tbsf**.

Le deuxième aliment test sera fabriqué avec les mêmes process mais en remplaçant la farine d'insectes par de la farine de poissons. Cet aliment test sera dénommé **Tfish**. Les pellets des aliments tests ont une granulométrie de 2 à 3 mm (figure 9).

L'aliment témoin, dénommé aliment **T**, sera un aliment complet commercial semi coulant extrudés. La granulométrie est de 1 mm. Les principales caractéristiques des aliments sont rappelées dans le tableau 1.

Tableau 1 : caractéristiques des principaux constituants des aliments testés

Type d'aliment / Composition	Tbsf	Tfish	T
Protéine brute	43%	43%	42%
Lipide brute	8%	8%	9%
Cellulose brute	3,5%	1,1%	3,6%
Cendre brute	7,5%	7,4%	7,5%
Calcium	1,4%	1,5%	1,2%
Phosphore total	1,1%	1,2%	1,2%
Sodium	0,27%	0,33%	0,32%

### II.1.C. Volet expérimentation

Dans le cadre d'une démarche de proximité, le principe est de travailler sur des animaux issus d'une reproduction locale. Dès que les alevins atteignent un poids d'au moins 2g, ils sont envoyés sur les deux sites de pré grossissement définis afin de débiter les tests de nourrissage avec un suivi expérimental.

#### *II.1.C.1 Production des alevins*

Les alevins testés sont produits par reproduction artificielle sur le site C du lycée du Haut Anjou. Celle-ci s'est effectuée le vendredi 24 mai 2019, avec la classe de terminale Productions Aquacoles. Le principe est rappelé en annexe 1.

Cinq femelles de 2 à 3 kg sont placées au préalable dans un bac pour effectuer un choc chaud (22°C). Une injection d'extraits d'hypophyse de carpe est réalisée sur les femelles au niveau du péritoine (4 mg/kg de poids vif) la veille afin d'améliorer la maturation des ovocytes et favoriser la ponte. Ces femelles ont subi par la suite un massage abdominal pour récupérer les ovocytes. Ceux-ci sont fécondés par la semence issue de deux mâles.

Après fécondation à l'aide de solution fécondante et décollement des œufs avec du tanin, ces derniers sont placés en incubation en bouteilles de Zoug. Les Vésicules Résorbées ou VR, obtenues quelques jours plus tard, sont mises dans un bassin de 450 m<sup>2</sup>.

Ce bassin est préalablement préparé à l'aide d'un chaulage et par l'introduction de foin et de fumier pour favoriser le développement d'infusoires et des divers maillons de la chaîne alimentaire.

Ces alevins sont poussés jusqu'à l'âge de 6 semaines environ, âge du début de l'expérimentation théoriquement, c'est-à-dire début juillet.

#### *II.1.C.2 Suivi expérimental*

Les alevins sont répartis par lot de 250 individus avec trois modalités (Tbsf, Tfish et T) en triplicat, soit en théorie neuf lots par site. Le nombre de bassins limités sur Guérande ne permet que d'avoir six lots sur ce site.

#### **Site C (Château Gontier)**

3 lots tests insectes (3x 250 indiv.)  
3 lots tests poissons (3x 250 indiv.)  
3 lots témoins (3x 250 indiv.)

#### **Site G (Guérande)**

2 lots tests insectes (2x 250 indiv.)  
2 lots tests poissons (2x 250 indiv.)  
2 lots témoins (2x 250 indiv.)

Le transfert des lots est prévu pour début juillet. Chaque lot de 6 semaines (1 à 2 g) est transféré dans une cage, plus précisément un filet de stockage fond carré de 2,6 m<sup>3</sup> (2,50 x 1,50 x 70cm H) Maille 6mm, soit six cages pour le site G et neuf pour le site C (figure 10).

Sur le site G, les cages sont disposées dans des bassins en béton hors sol en circuit ouvert alors que sur le site C, les neuf cages sont mises dans un petit étang de 450 m<sup>2</sup>. A noter que les bassins bétons du site G sont protégés des oiseaux piscivores par une volière (figure 10).



Figure 10 : cages dans les bassins bétons sur site G (gauche) et dans un étang sur site C (droite) (*Halieutica*)

La ration alimentaire quotidienne est identique pour les témoins et les tests. Elle est définie en fonction notamment des conditions climatiques, du poids moyen et du tableau de rationnement de l'aliment témoin. Des taux de nourrissage journalier de la carpe en fonction du poids et de la température sont connus comme la table de rationnement de Sato (Sato, 1991 ; Cadieu & Suat, 2006). Elle est d'environ 4 à 6% en début d'élevage. Le fractionnement des repas est adapté avec la température d'élevage.

Ce taux de rationnement est réévalué tous les quinze jours selon les poids moyens ou la biomasse. Pour la température, seule une variation d'au moins 5°C engendrerait une réévaluation du taux d'alimentation en accord avec tous les acteurs.

L'alimentation journalière comprend deux repas, le premier le matin en manuel (20% de la ration journalière), le deuxième à l'aide d'un alimentateur. Des études sur la carpe montrent que la prise alimentaire est diminuée pour des intervalles trop courts entre les repas (Charles *et al.*, 1984). En dessous de chaque alimentateur, un bidon de récupération ou « mangeoire » est mis en place afin d'une part, de limiter la perte des aliments et d'autre part, de récupérer quotidiennement les aliments non consommés (figure 11).



Figure 11 : photos de la « mangeoire » vue de dessus à gauche et de côté où viennent se nourrir les carpes (droite)(*smidap*)

La température l'oxygène et les mortalités sont les principaux paramètres suivis au quotidien avec l'aide d'une fiche de suivi (annexe 2). Les morts sont pesés individuellement.

Le comportement du poisson est scruté.

Un poids moyen bi mensuel est réalisé ainsi qu'une biomasse totale chaque mois. Les mortalités sont comptabilisées.

A la fin de l'expérimentation, des mesures de croissances et d'indices de conversion sont réalisée afin d'estimer les performances de croissance. L'ensemble du protocole est synthétisé figure 12.

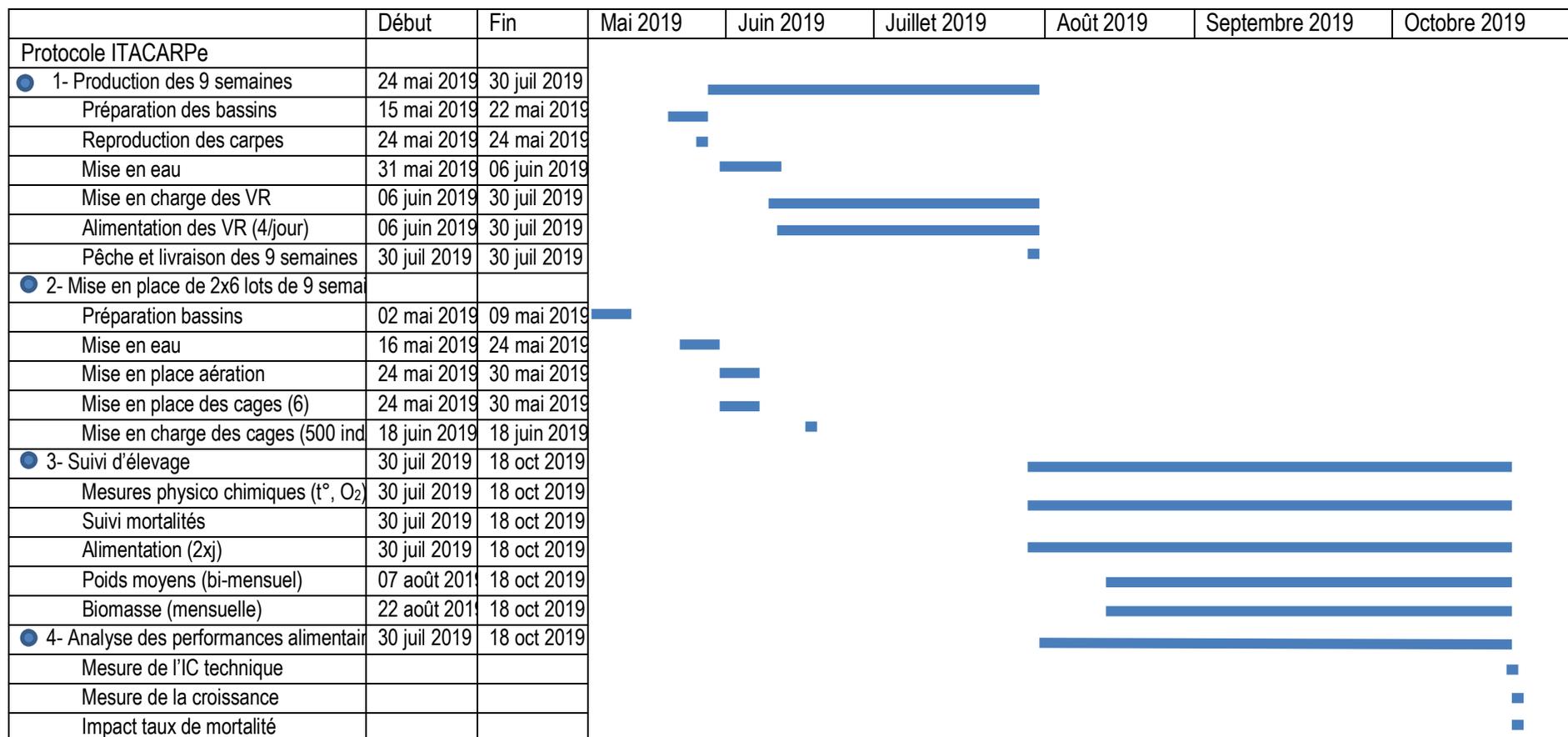


Figure 12 : protocole expérimentale de suivi des lots de carpes

## II.2. Résultats

### II.2.A. Transfert des alevins

Plusieurs paramètres sont venus modifier le calendrier initial du protocole. Le premier concerne les conditions climatiques qui ont été particulières en 2019. Dans un premier temps, les températures ont été plus fraîches que la normale en mai et jusqu'à la mi-juin avec certaines températures journalières (air) ne dépassant pas les 16°C et des températures moyennes minimum de 8,2°C (-0,9°C période 1981/2010) en mai et de 10,2°C (-1,4°C période 1981/2010) durant les 15 premiers jours de juin mesurées à la station météorologique de Laval situé à 30 km du site C (<https://www.infoclimat.fr/climatologie-mensuelle/07134/mai/2019/laval-etronier.html>). Ces faibles températures, principalement nocturnes, ont perturbé la reproduction de plusieurs espèces d'étangs comme les carpes ou les gardons. Les retards de reproduction et de croissance liés aux conditions climatiques exceptionnelles en mai et début juin ont eu pour conséquences un décalage du planning de plus de 15 jours. Les poids moyens mesurés le 05 juillet étaient de 1g, trop justes pour un transfert des animaux à la date prévue, le 11 juillet (figure 12).

La date du transfert des animaux, une première fois repoussée au 25 juillet, a été à nouveau décalée au mardi 30 juillet en raison, d'une part des températures caniculaires du jour, soit 39°C, et d'autre part, de soucis de contamination de l'aliment test insecte. Un nouveau lot aliment insecte a été préparé rapidement.

Le mardi 30 juillet matin à Château-Gontier, lors de la préparation des lots pour le transfert, la trop grande hétérogénéité des animaux constatée a obligé un tri et un comptage des animaux (jumbos et queues de lot retirés). Pour Guérande, six poches gonflées à l'oxygène contenant chacun 250 poissons + une poche de secours avec 72 individus sont préparées pour le transfert (figure 13).



Figure 13 : tri des alevins sur le site C, mise en poche des lots pour le site G (*Smidap* et *Haliectica*)

A noter des conditions climatiques homogènes le 30 juillet sur les deux sites avec une température de l'eau avoisinant les 23°C. Le transport s'est très bien passé. Aucune mortalité n'a été constatée à l'arrivée sur Guérande.

Malgré cette opération, les poids moyens varient de 5,52g à 7,88g selon les lots pour le site G ; Sur le site C, les lots sont plus homogènes entre 6,75g et 8,08. Les poids moyens sont 11% plus faibles sur le site G que sur le site C (tableau 2 et 3).

Quand on compare les poids moyens par modalité selon les sites, les différences sont faibles sur le site C (max 2%). Elles sont un peu plus importantes sur le site G, en particulier entre les lots Témoins et les lots tests (entre 5 et 6%).

Tableau 2 : principaux paramètres zootechniques initiaux sur le site G

Modalité	Aliment Tbsf		Aliment Tfish		Aliment T	
	G	K	A	D	H	B
<b>Cage</b>	G	K	A	D	H	B
<b>Effectif initial</b>	250	250	250	250	250	250
<b>Biomasse initiale (g)</b>	1380	1970	1420	1900	1692	1825
<b>P.M. initial (g)</b>	5,52	7,88	5,68	7,6	6,77	7,3
<b>P.M.initial/modalité</b>	6,7		6,64		7,04	
<b>Densité (kg/m<sup>3</sup>)</b>	0,531	0,758	0,546	0,731	0,651	0,702

Tableau 3: principaux paramètres zootechniques initiaux sur le site C

Modalité	Aliment Tbsf			Aliment Tfish			Aliment T		
	C1	C4	C7	C2	C5	C8	C3	C6	C9
<b>Cage</b>	C1	C4	C7	C2	C5	C8	C3	C6	C9
<b>Effectif initial</b>	250	250	250	250	250	250	250	250	250
<b>Biomasse initiale (g)</b>	2020	1750	1894	1810	1948	1926	1892	1688	1982
<b>P.M. initial (g)</b>	8,08	7	7,58	7,24	7,79	7,7	7,57	6,75	7,93
<b>P.M.initial/modalité</b>	7,55			7,58			7,42		
<b>Densité (kg/m<sup>3</sup>)</b>	0,777	0,673	0,729	0,696	0,749	0,740	0,728	0,649	0,763

L'expérimentation est décalée d'environ trois semaines par rapport à l'agenda initial avec un suivi qui débute le 31 juillet et qui se termine le 18 octobre (figure 12).

## II.2.B. Température (eau) et oxygène

Les mesures sont matinales et toujours comprises entre 08h et 10h. Elles restent indicatives comme elles sont ponctuelles mais peuvent correspondre à des valeurs minimum journalières pour les deux paramètres. Les températures matinales sont en moyenne de 19,95°C sur le site G avec un maximum de 25°C le 25 août et un minimum de 15,3°C le 18 octobre. Pour l'oxygène, les valeurs sont en moyenne de 8,91 ppm avec un maximum de 11,12 ppm le 22 septembre et un minimum de 6,02 ppm le 30 août (figure 14). Pour rappel, les températures optimales pour la croissance de la carpe sont comprises entre 20 et 28°C. Les teneurs en oxygène dissous ne doivent pas être inférieures à 0,5 ppm pour la survie et 5 ppm pour la prise alimentaire (Schlumberger & Girard, 2013). Deux facteurs limitent les performances de croissance chez la carpe : la température et la teneur en oxygène (Billard, 1995). Même si les valeurs ponctuelles ne semblent pas problématiques, l'absence de mesures en continu ne nous permet pas d'exclure de très fortes chutes d'oxygène pendant la période de canicule installée sur le territoire régionale entre 24 et le 27 août (températures air max 30°C-34°C) avec un minimum de 18,5°C le 28 août matin correspondant à nos valeurs max de températures et mini d'oxygène (figure 14).

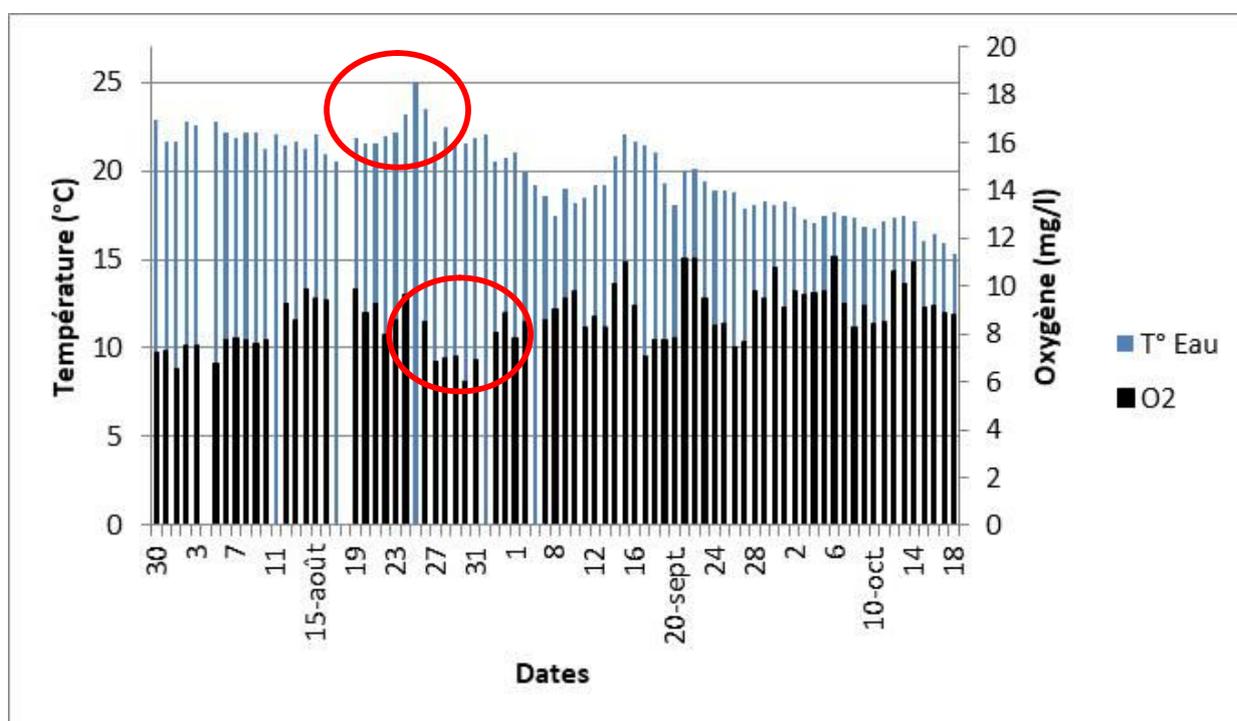


Figure 14 : évolution journalière des mesures matinales de températures et de l'oxygène sur le site G

### II.2.C. Survie

Les mortalités sont relevées quotidiennement. De la prédation est aussi constatée. La distinction entre la mortalité et la prédation est délicate principalement sur le site C qui ne comporte pas de volière. Dans un premier temps, le taux de survie est analysé selon la modalité et le site.

Globalement, le taux de survie est de 45,23%. Ces taux de survie pour des alevins sont semblables à ceux rencontrés dans les petits étangs de pré grossissement soit 40 à 50% (Schlumberger & Girard, 2013).

#### *II.2.C.1 Taux de survie selon les modalités*

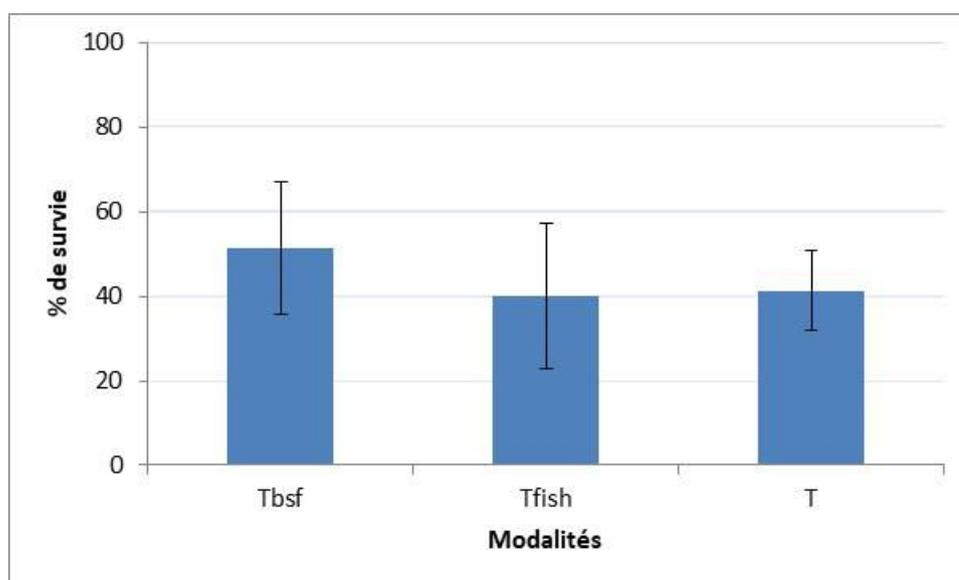


Figure 15 : taux de survie final des carpes par modalité (+-IC95%)

Indépendamment du site, le taux de survie d'environ 50% est plus important chez les animaux nourris avec l'aliment test Tbsf que chez les animaux nourris avec l'aliment test Tfish et l'aliment témoin avec dans les deux cas des valeurs similaires proches de 40% (figure 15 et annexes 3 et 4). Cela reste une tendance car aucune différence significative statistique n'a pu être montrée (T. Test ;  $p > 0,05$ ).

:

#### *II.2.C.2 Taux de survie selon le site*

Indépendamment des modalités, le taux de survie est plus important sur le site G, soit 50%, que sur le site C avec 40% (figure 16). Cette différence non significative pourrait s'expliquer par une prédation plus importante sur ce site C moins protégés des animaux piscivores. Comme nous le verrons par la suite, sur ce dernier site, il a été difficile de différencier les mortalités journalières et la prédation aviaire quotidienne due à la présence importante d'espèces comme le grèbe castagneux (*Tachybaptus ruficollis*) et la mouette rieuse (*Chroicocephalus ridibundus*).

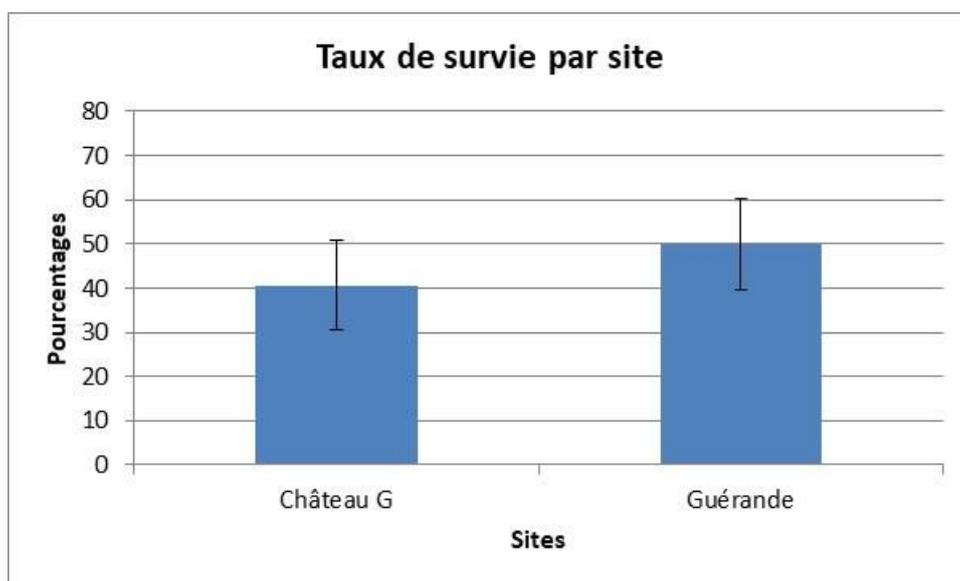


Figure 16 : taux de survie final selon le site expérimental (+-10%)

### II.2.C.3 Résultats par site

Les tendances diffèrent selon le site. Sur le site G, les filets de protection type volière ont permis de limiter la prédation et donc d'estimer plus précisément les mortalités. Toutes les données journalières ont pu être aussi récupérées sur ce site, ce qui n'est pas le cas du site C.

#### Site Guérande

Le principal souci sur ce site concerne le nombre de réplicats, seulement deux, limitant ainsi l'interprétation des résultats.

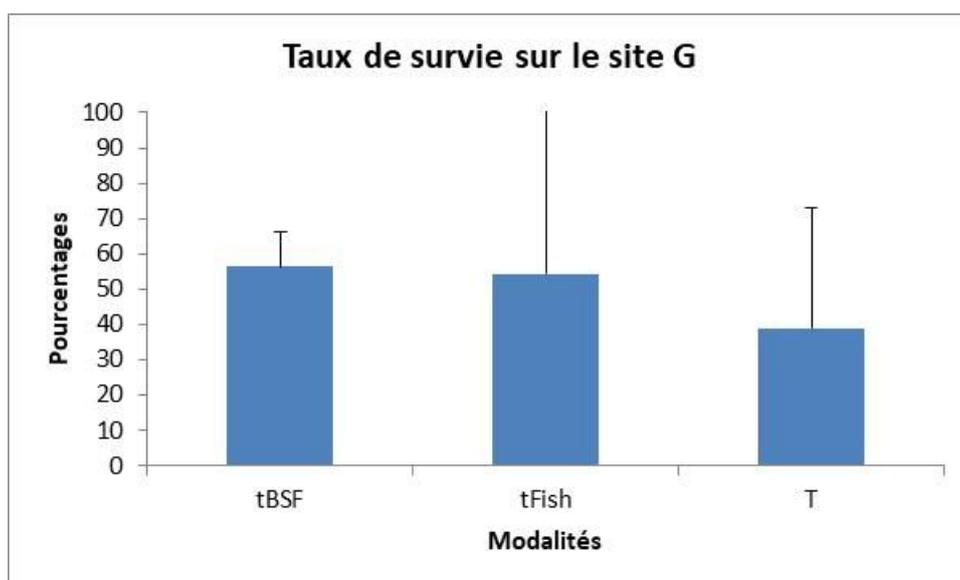


Figure 17 : taux de survie par modalités sur le site G (+-10%)

Les taux de survie sont plus importants pour les animaux nourris avec les aliments tests Tbsf (56,4%) et Tfish (54,4%) que pour les animaux nourris avec l'aliment témoin (39%). Cependant, les différences ne sont pas significatives (figure 17).

En regardant l'évolution des mortalités en fonction du temps sur le site G, une forte augmentation est constatée à partir du 27 août 2019, quels que soient les lots ou les modalités (figure 18). Puis ces mortalités deviennent plus importantes pour les animaux nourris avec l'aliment témoin. Les mortalités se sont stabilisées fin septembre sauf pour les lots nourris avec l'aliment T. Les températures minimales de l'eau sont redescendues en dessous de 20°C à partir de cette période (figure 14).

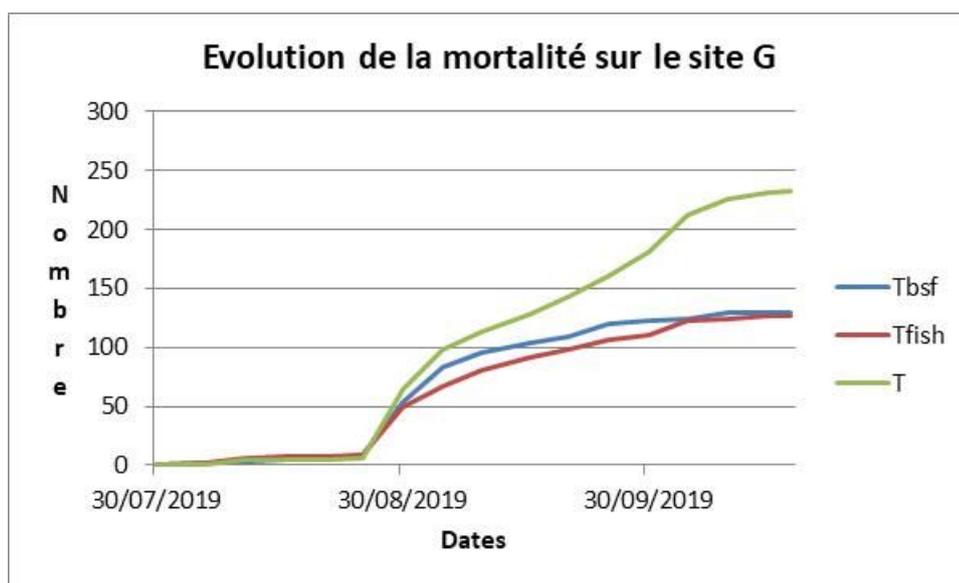


Figure 18 : évolution de la mortalité (nombre) journalière sur le site G

Les mortalités augmentent fortement après une période de fortes chaleurs autour du 25 août suivie d'une baisse du taux d'oxygène (cf. II.2.B). La prolifération des algues filamenteuses et des cyanobactéries nous a obligés à nettoyer les cages le 27 août et à changer une partie du volume d'eau dans les bassins. Les poissons morts ne présentent pas de signes cliniques extérieurs particuliers. Ils semblaient plutôt bien portants (figure 19).



Figure 19 : photo de poissons morts le 27 août sur le site G (smidap)

Les pourcentages de mortalités relevés quotidiennement sont d'environ 25 à 26% pour les deux modalités tests. Ces mortalités semblent beaucoup plus importantes pour les animaux nourris avec l'aliment témoin soit 46,6%. La prédation va accentuer le pourcentage de « pertes » pour la modalité Tfish. Lors du comptage final, et après décompte des mortalités journalières, un pourcentage non négligeable d'animaux a disparu sans doute par prédation, malgré la volière (rats ?). Il est possible qu'une partie de ces animaux « prédatés » étaient déjà morts ou moribonds. Le pourcentage de prédation supposé est d'environ 17,3% sur le site G soit entre 14,4% sur les lots témoins et 20,2% sur les lots Tfish.

Sur le site C, ce sont les animaux nourris par l'aliment test Tfish qui présentent les taux de survie les plus faibles soit respectivement 31%. Les animaux nourris avec l'aliment test Tbsf présentent un taux de survie plus important soit environ 47% comme sur le site G. Les animaux nourris avec l'aliment témoin présentent un taux de survie de 42,8%.

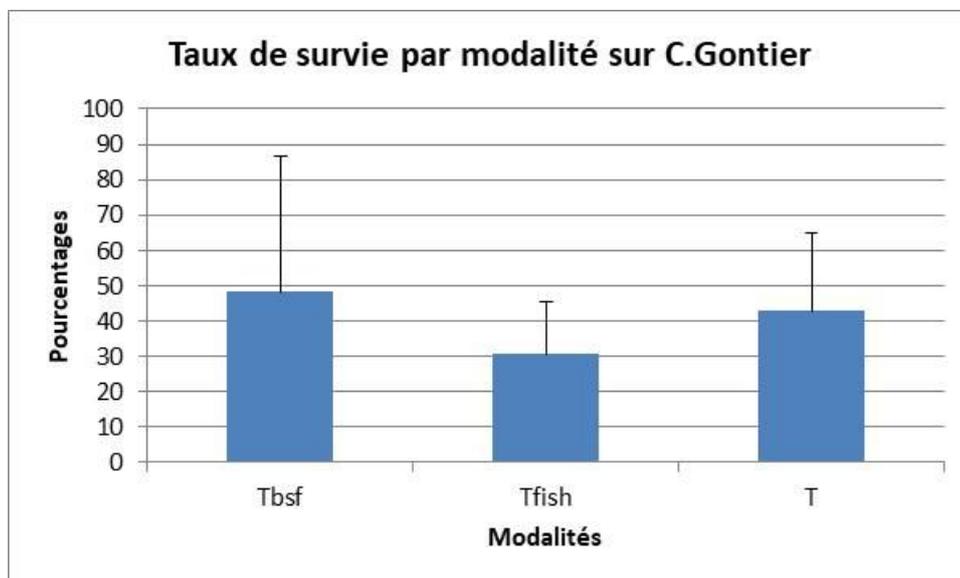


Figure 20 : taux de survie par modalité sur le site C (+-IC95%)

Les différences ne sont néanmoins pas significatives. L'évolution des animaux disparus (mortalités +prédation) estimée sur ce site tous les 15 jours montre une forte tendance haussière à partir du 25-27 août comme sur le site G (figures 18 et 21). Les pertes ont quand même débuté plus tôt que sur le site G, probablement en raison des phénomènes de prédation. Les pertes se sont stabilisées à partir de la mi-septembre.

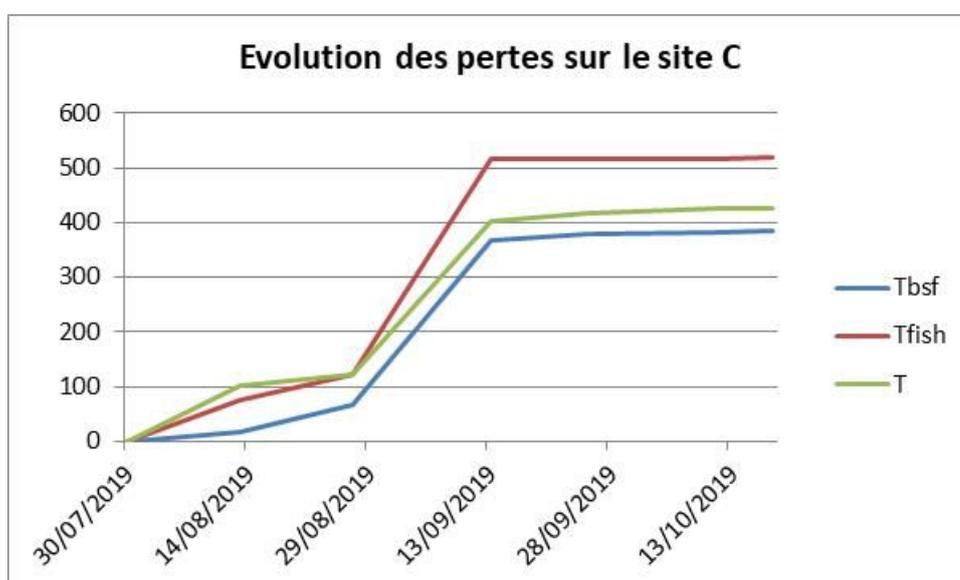


Figure 21 : évolution des pertes (mortalités et prédation) sur le site C

En résumé, les taux de survie ont été globalement de 40 à 50%, pourcentages conformes avec ceux trouvés en étang malgré des conditions d'élevage difficiles (pics de chaleurs, cyanobactéries, fortes prédatations sur un des sites). Les fortes mortalités sont apparues fin août sur les deux sites suite à un pic de canicule marqué. Les tendances, selon les modalités, montrent une meilleure survie pour les lots nourris avec l'aliment Test insecte Tbsf sur les deux sites expérimentaux mais sans différences significatives avec les deux autres modalités.

A noter que certains études montrent que la chitine favoriserait même les défenses immunitaires de l'organisme (Lindsay *et al.*, 1984 ; Alegbeleye *et al.*, 2012).

#### II.2.D. Croissance

Pour le point final du 18 octobre, 50 individus par cage sont pesés soit 100 par modalité sur le site G et 150 sur le site C soit 250 par modalité tous sites confondus.

Le poids moyen total final est de 22,82g, correspondant à des performances rencontrées en pisciculture en étang en extensif dans nos régions (Trintignac *et al.*, 2016). Les croissances auraient dû être plus importantes dans les conditions semi intensives mises en place sur les deux sites. Le décalage des pontes puis des transferts, la prolifération des algues filamenteuses ou de cyanobactéries et les conditions climatiques n'ont pas permis des performances de croissance régulières. Le nourrissage a, par exemple, été arrêté plusieurs jours au moment des fortes mortalités fin août début septembre.

##### *II.2.D.1 Poids moyens finaux par modalité*

Les poids moyens individuels varient de 24,84g pour les animaux nourris avec l'aliment témoin T à 21,43g et 22,19g pour ceux nourris respectivement avec l'aliment test Tfish et l'aliment test Tbsf (figure 22).

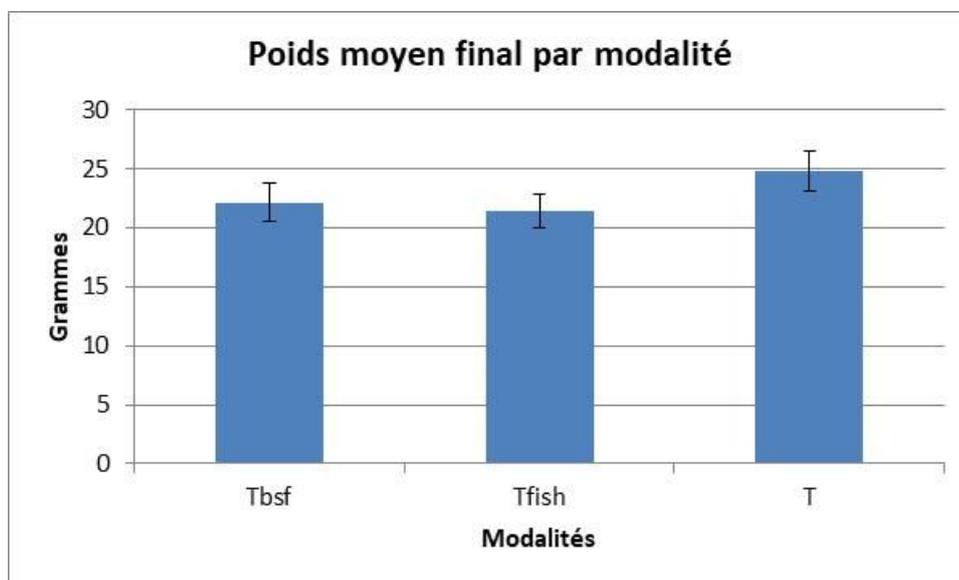


Figure 22 : poids moyen individuel final par modalité (+/-1C95%)

Les animaux nourris avec l'aliment témoin ont un poids moyen significativement plus élevé que pour ceux nourris avec les aliments tests (T. Test ;  $p < 0,033$  pour les deux comparaisons). Par contre il n'y a pas de différences significatives entre les poids moyens des animaux nourris avec les deux aliments tests même si la tendance semble plus favorable pour l'aliment test insecte Tbsf.

### II.2.D.2 Poids moyens finaux selon le site

Le poids moyen final des carpes toutes modalités confondues est de 29,14g sur le site G et de 16,5g sur le site C avec une différence hautement significative (T. Test ;  $p < 0,01$ ). Il faut rappeler que le poids moyen initial sur le site G était inférieur de 11% à celui sur le site C. la tendance s'est donc totalement inversée avec une valeur moyenne finale sur le site G supérieure de 77% à celle mesurée sur le site C (annexes 3 et 4).

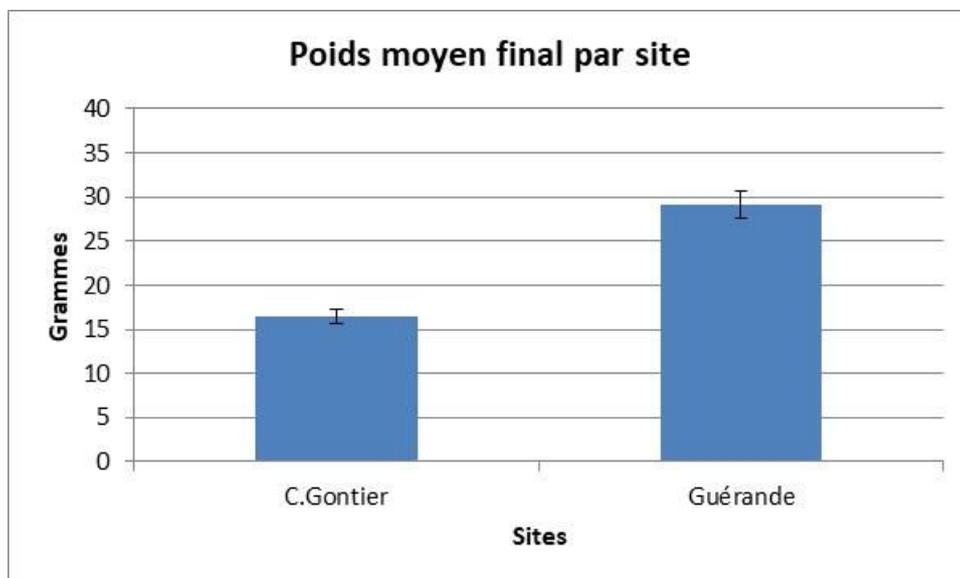


Figure 23 : poids moyen individuel final par site (+-IC95%)

La croissance des carpes est dépendante des caractéristiques du biotope. Deux facteurs limitent les performances de croissance : la température et la teneur en oxygène (Billard, 1995 ; Ranson, 2003). Sur le site G, des aérateurs fonctionnaient en amont des bassins, ce qui n'était pas le cas sur le site C. De plus, la pression de prédation beaucoup plus importante sur ce dernier site engendrant du stress chez les animaux pourrait aussi expliquer ces différences de croissance. Sur le site G, la volière a permis de limiter ce phénomène.

### II.2.D.3 Résultats par site

#### Site Guérande

Sur le site G, c'est le poids moyen des animaux nourris avec l'aliment témoin T qui est le plus élevé avec 31,85g (figure 24 et annexe 3).

La différence est significative avec le poids moyens des animaux nourris avec l'aliment test Tfish de 26,13g (T. Test ;  $p < 0,01$ ). **Par contre elle n'est pas significative avec le poids moyen des animaux nourris avec l'aliment test insecte Tbsf de 29,43g** (T. Test ;  $p = 0,12$ ). Ce résultat est intéressant car cette différence de poids moyens d'environ 8% était de 6% initialement (annexe 3).

Le poids moyen des animaux nourris avec l'aliment test insecte Tbsf est plus élevé que celui des animaux nourris avec l'aliment test Tfish. Cette différence importante n'est pas significative malgré une forte tendance (T. Test ;  $p = 0,058$ ). La différence de poids moyens d'environ 21% n'était que de 6% initialement (annexe 3).

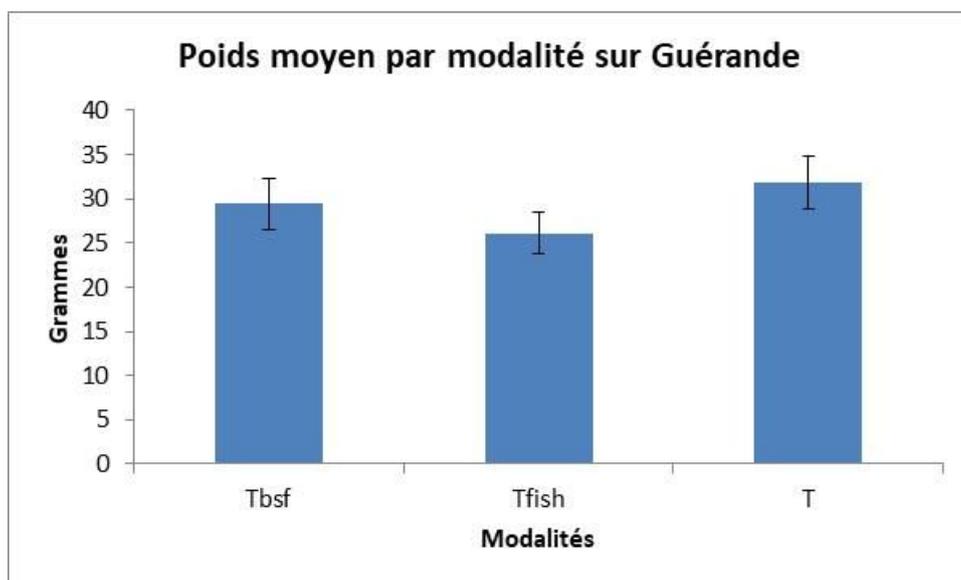


Figure 24 : poids moyens finaux par modalité sur le site G (+-IC95%)

#### Site Château-Gontier

Sur le site C, c'est aussi le poids moyen des animaux nourris avec l'aliment témoin qui est le plus élevé avec 17,83g (figure 25 et annexe 3).

La différence est significative avec les poids moyens des animaux nourris avec les aliments tests Tfish de 16,73g et insecte Tbsf de 14,94g. (T. Test ;  $p < 0,05$ ). Elle est même légèrement significative entre les deux aliments tests en faveur de l'aliment test Tfish à la différence du site G ( $p = 0,036$ ). Les différences de poids moyens initiaux entre modalités étaient inférieures à 2% (annexe 4).

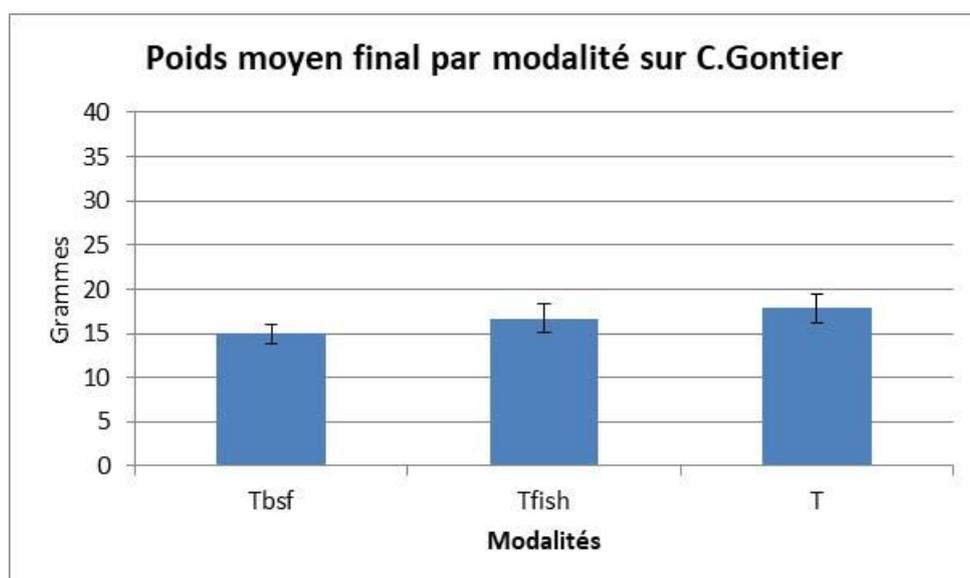


Figure 25: poids moyens finaux par modalité sur le site C (+-IC95%)

Les performances de croissance des carpes pendant cette étude sont assez faibles. En moyenne, elles sont comparables aux standards mesurés en étang en production extensive. Plusieurs facteurs pourraient expliquer ce constat notamment ceux liés aux conditions d'élevage difficiles pour les animaux, la pression de prédation sur un des sites et peut être le lot de carpe lui-même.

En comparant les modalités, les animaux qui sont nourris avec l'aliment témoin présentent une meilleure croissance que ceux nourris avec les aliments tests. Les différences sont toujours significatives sauf sur le site G avec l'aliment test insecte Tbsf. Ces résultats sont prometteurs car les aliments tests avaient une moins bonne tenue dans l'eau que l'aliment témoin. Souvent, ils commençaient à flotter avant de couler puis se déliter assez rapidement, ce qui ne nous a pas permis de récupérer dans les mangeoires les aliments non consommés rendant ainsi plus difficile le calcul des indices de conversion (cf. II.2.E).

Enfin, il faut rappeler que les farines utilisées dans cette expérimentation sont des farines d'insecte que l'on peut considérer comme peu qualitatives car elles contiennent encore les cuticules des larves. Certaines études considèrent la chitine comme un facteur antinutritionnel (Kroeckel *et al.*, 2012 ; Burel *et al.*, 2016). Cependant, d'autres études montrent que la chitine ne pose pas de problème de digestion et favoriserait même les défenses immunitaires de l'organisme (Lindsay *et al.*, 1984 ; Alegbeleye *et al.*, 2012).

### II.2.E. Indice de Conversion

L'indice de conversion (I.C. ou FCR) est un bon indicateur de l'efficacité de la stratégie alimentaire menée dans le cadre d'un élevage. C'est le rapport entre la quantité d'aliment distribué et le gain de masse du poisson.

La formule générale de l'I.C. est :

$$\text{I.C.} = \text{aliment distribué (kg)} / \text{gain de masse corporelle (kg)}.$$

L'I.C. est un chiffre sans unité. Plus il est bas, plus le gain de masse que permet l'aliment est important.

Dans le cas de notre étude, l'importance des mortalités a perturbé les résultats. L'impossibilité de récupérer les aliments test non consommés limite les interprétations. La prédation importante, notamment sur le site C, biaise les résultats finaux en valeur absolue (figure 26). Les indices de conversion sont analysés à partir des survivants mais aussi en tenant compte des animaux morts quand ils ont été pesés. Ils tiennent compte des performances de croissance des animaux disparus qui ont profité des aliments pendant au moins un mois. Les quantités d'aliments consommés ont varié de 31,2 kg pour la modalité Tfish à 33,1 kg pour Tbsf et 35,2 kg pour T (annexes 3 et 4).

#### *II.2.E.1. IC par site*

L'indice de conversion moyen est de 2,71 sur le site G et de 4,86 sur le site C (figure 26). La différence est significative entre les deux sites (T. Test ;  $p < 0,01$ ). Des croissances plus faibles et des prédatations plus importantes expliquent ces résultats sur le site C.

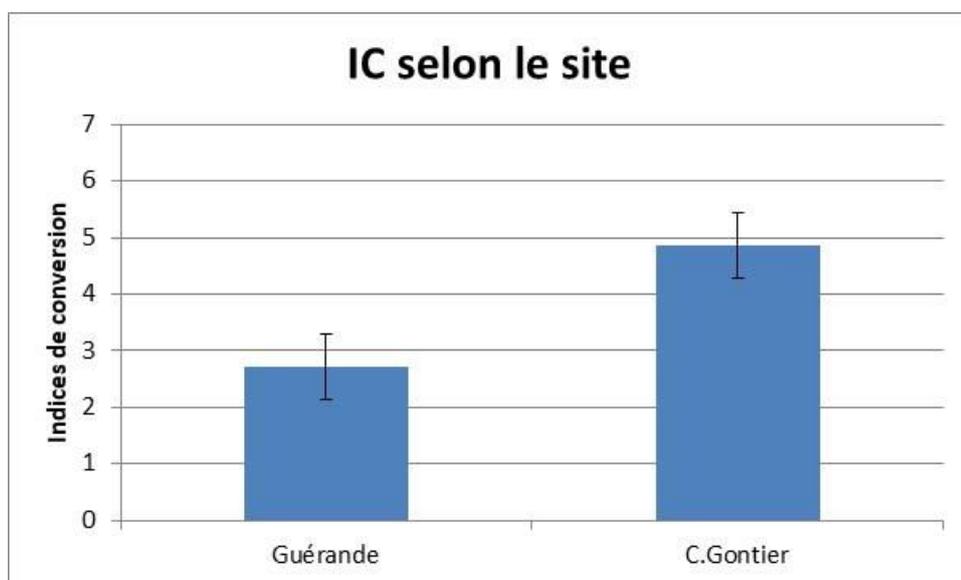


Figure 26 : indices de conversion selon le site (+-IC95%)

#### II.2.E.2. IC selon les modalités

Les moyennes d'indices de conversion tous sites confondus varient peu entre modalités. Cependant, la moyenne des IC reste meilleure avec les animaux nourris avec l'aliment témoin. Elle est de 3,79 par rapport aux modalités tests avec respectivement 4 et 4,2 pour Tfish et Tbsf et sans différences significatives.

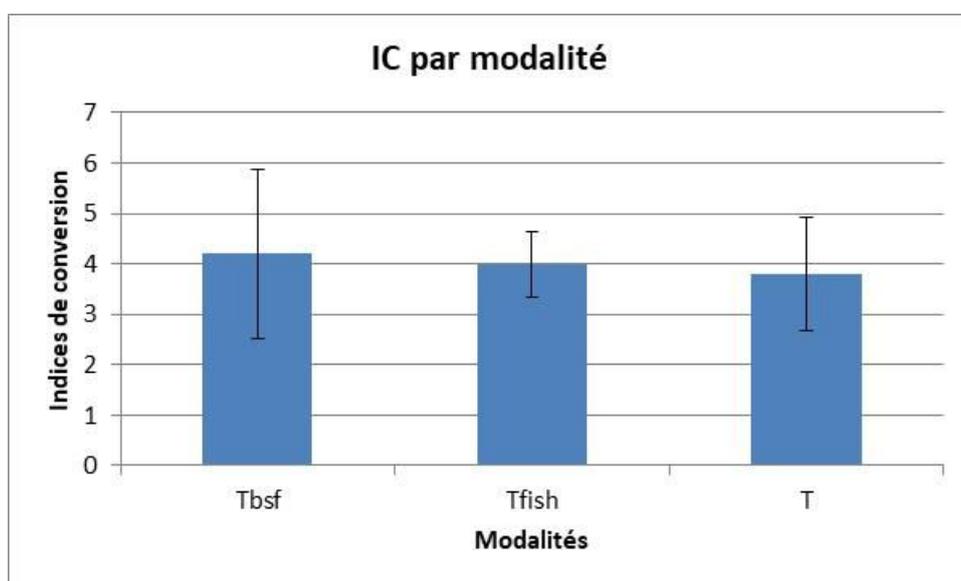


Figure 27 : Indices de conversion par modalité (+-IC95%)

Cette tendance générale diffère par contre selon le site expérimental (figure 28). L'indice moyen le plus performant sur le site G concerne les animaux nourris avec l'aliment insecte Tbsf (2,2) avec une différence significative avec l'aliment Tfish (T. Test ;  $p < 0,01$ ) mais pas avec l'aliment témoin T ( $p = 0,19$ ).

Sur le site C, ce sont les animaux nourris avec l'aliment Test Tfish et l'aliment Témoin qui présentent les meilleures performances (4,5 et 4,6) mais sans différences significatives entre les modalités.

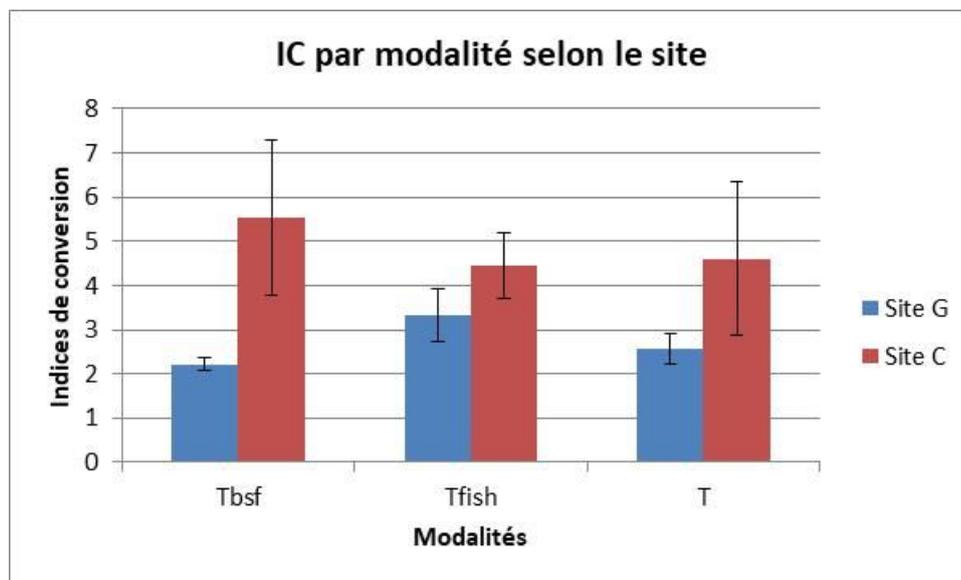


Figure 28 : Indices de conversion par modalité sur les sites G et C (+/-100%)

En résumé, les animaux nourris avec l'aliment témoin présentent les meilleurs indices de conversion sans que les différences avec les deux autres modalités ne soient différentes statistiquement. Ce constat diffère selon le site. Sur le site G, ce sont les animaux nourris avec l'aliment test insecte Tbsf qui présentent les meilleures performances. Sur le site C, ce sont les deux autres modalités qui ont les meilleurs résultats. Cependant, sur ce dernier site, la prédation importante a plus impacté les résultats d'IC que sur le site G.

## Conclusion

L'étude ITACARPe fait suite à une pré étude régionale (PERIFF) qui avait indiqué que l'alimentation aquacole à base d'insectes ne pouvait avoir un intérêt en Europe et en France que pour la production de poissons d'ornement et la production d'alevins principalement en raison des coûts et des volumes de production de farine d'insectes.

Le projet a consisté à tester sur de l'alevin de carpe un aliment contenant 20% de taux d'inclusion de larves de BSF produit et formulé en région. Les performances de croissances ont été suivies sur 2 sites différents sur 3 lots d'alevins produits localement, le premier nourris avec l'aliment test insecte, un deuxième avec un aliment test identique mais sans farine d'insecte (poisson) et un troisième avec un aliment témoin commercial ayant des caractéristiques nutritionnelles et énergétiques similaires.

Les résultats globaux ont été perturbés par de fortes mortalités constatées sur les deux sites à partir du 25 août, période correspondant à un pic de canicule sur la région. Les poissons ne présentaient pas de symptômes apparents. Malgré des mortalités conséquentes, le taux de survie final de 45,23% est similaire à celui trouvé en étangs en production extensive. La prédation a aussi perturbé l'interprétation des résultats, surtout sur le sites C qui n'était pas muni de volière. Le taux de survie est de 40% sur ce site et de 50% sur l'autre site. Il varie aussi selon les modalités avec une meilleure survie pour les animaux nourris avec l'aliment test insecte avec 50% alors que ce taux est plus faible pour les deux autres modalités avec 40% et ce quel que soit le site.

En termes de croissance, le poids moyen final est de 22,82g avec de fortes disparités selon le site. Ce poids moyen est de 29,34g sur le site G et de 16,15g sur le site C avec une différence hautement significative. Les poids moyens selon les modalités tous sites confondus montrent des performances de croissance significativement plus importantes pour les animaux nourris avec l'aliment témoin avec une valeur de 24,84g contre 22,19g et 21,43 g pour respectivement les modalités tests Tbsf et Tfish. L'aliment commercial reste plus performant pour ce paramètre sur les deux sites même si cette différence n'est pas significative avec la modalité Test insecte sur le site G. Néanmoins, les performances de croissances restent faibles, même avec l'aliment commercial. Les conditions expérimentales difficiles sont en partie responsables de ces faibles résultats.

Concernant les indices de conversion globaux par modalité, l'importance des mortalités et de la prédation a impacté les résultats finaux. Les chiffres restent assez proches, autour de 4 avec quand même un meilleur indice pour les animaux nourris avec l'aliment témoin.

L'étude ITACARPe a montré qu'un nourrissage d'alevins de carpe pour la production de 1 été à partir d'un aliment contenant 20% de taux d'inclusion de farine de BSF non décorticulée était faisable avec des performances globales légèrement inférieures qu'avec un aliment témoin commercial mais avec un meilleur taux de survie. Seule une étude chinoise en 2017 sur la production de 2 étés avait montré des performances de croissance similaires entre un aliment complet classique et un aliment à base d'insecte. Des conditions expérimentales difficiles et le manque de répétition ne permettent pas de valider ces premiers résultats. Une expérimentation avec plus de réplicats serait nécessaire pour confirmer ces premières tendances sachant que des améliorations sont possibles sur la texturation de l'aliment test et sur sa tenue dans l'eau.

Le coût de production plus élevé de l'aliment insecte testé lors de cette étude ne permettrait pas son emploi à court terme en pisciculture en étang, surtout avec les performances de croissance mesurées. Cependant, une validation des résultats obtenue voire leur amélioration lors d'une expérimentation plus importante pourrait présenter un intérêt technico économique pour la phase de pré grossissement de carpe, en particulier si le taux de survie venait à être amélioré.

## Bibliographie

- 2017/893, R. (UE). (2017). REGLEMENT (UE) 2017/893 de la Commission du 24 mai 2017 modifiant les annexes I et IV du règlement (CE) n° 999/2001 du Parlement européen et du Conseil et les annexes X, XIV et XV du règlement (UE) n° 142/2011 de la Commission concernant les dispositions . *Journal Officiel de La CE*.
- Al-Qazzaz, M., & Ismail, D. (2016). Insect Meal as a Source of Protein in Animal Diet. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 16, 527–547.
- Alegbeleye, W., Obasa, S., Olude, O., & Jimoh, W. (2012). Preliminary evaluation of the nutritive value of the variegated grasshopper (*Zonocerus variegatus* L.) for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell. 1822) fingerlings. *Aquaculture Research*, 43, 412–420.
- Ameslon, P., Le Bihan, V., Lesage, C., & Trintignac, P. (2012). *Evaluation des potentialités sur le marché de l'alimentation humaine pour des produits piscicoles régionaux d'étangs*.
- Billard, R. (1995). *Les carpes: biologie et élevage*. (I. Ed., Ed.).
- Burel, C., & Medale, F. (2014). Quid de l'utilisation des protéines d'origine végétale en aquaculture. *Oilseeds and Fats Crops and Lipids*, 21.
- Burel, C., Surget, A., Aguirre, P., & Pégourrié, G. (2016). Valeur nutritionnelle de farines de ténébrion (*Tenebrio molitor*) et d'herméti (Hermetia illucens) partiellement dégraissées pour la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*). In *JRFP 2016 Paris*.
- Cadieu, G., & Suat, J. (2006). *Aquaculture continentale. Etangs : mode d'emploi* (Educagri E).
- Charles, P., Sébastian, S., Raj, M., & Marian, M. (1984). Effect of feeding frequency on growth and food conversion of *Cyprinus carpio* fry. *Aquaculture*, 40, 292–300.
- FAO. (2013). *La contribution des insectes à la sécurité alimentaire, aux moyens de subsistance et à l'environnement*.
- FAO. (2014). *Insectes comestibles: Perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale*.
- FAO. (2018). *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture*.
- Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountoulaki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish : past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203, 1–22.
- Jauncey, K. (1981). The effect of dietary composition in the river carp (*Cyprinus carpio*) maintained in thermal effluents and laboratory recycling system. *Proc. World Symp. Aquacult. Heated Effluents Recirc. Syst.*, 2, 247–261.
- Kroeckel, S., Harjes, A. G. E., Roth, I., & Katz, H. (2012). When a turbot catches a fly: evaluation of a prepupae meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute – growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 362, 345–352.
- Kumar, P., Munilkumar, S., & Sudhagar, S. (2017). Alternate feeding strategies for optimum nutrient utilization and reducing feed cost for semi-intensive practices in aquaculture system-A review. . . *Agricultural Reviews*, 38, 145–151.

- Li, H., Zhang, J., Luang, J., Cheng, X., & Liu, C. (2013). Effect of replacement of dietary fishmeal with silkworm pupae meal on growth performance, body composition, intestinal protease activity and health status in juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Aquac. Res.*, 1–13.
- Li, S., Ji, H., Zhang, B., Zhou, J., & Yu, H. (2017). Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in diets for juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian): Growth performance, antioxidant enzyme activities, digestive enzyme activities, intestine and hepatopancreas histological structure. *Aquaculture*, 51.
- Lindsay, G., Walton, M., Adron, J., Fletcher, T., Cho, C., & Cowey, C. (1984). The growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) given diets containing chitin and its relationship to chitinolytic enzymes and chitin digestibility. *Aquaculture*, 38, 315–334.
- Makkar, H., Tran, G., Heuze, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 197, 1–33.
- New, M. (1987). *Feed and feeding of shrimp and fish*. (UNEP-FAO,).
- Parlement, E. (2017). *L'aquaculture. Une vue d'ensemble pour l'Union Européenne*.
- Ranson, S. (2003). *L'alimentation de la carpe (Cyprinus carpio) Dans son biotope et en élevage*. Thèse vétérinaire, Faculté de médecine de Créteil.
- Satoh, S. (1991). Common carp, *Cyprinus carpio*. *Handbook of Nutrient Requirement of Finfish*, 55–67.
- Schlumberger, O., & Girard, P. (2013). *Mémento de pisciculture d'étang* (5ème édit). Quae.
- Thevenot, A., Rivera, J., Wilfart, A., Maillard, F., Hassouna, M., Senga-Kiesse, T., ... Aubin, J. (2018). Mealworm meal for animal feed: Environmental assessment and sensitivity analysis to guide future prospects, 170, 1260–1267.
- Trintignac, P., Le Bihan, V., & Lesage, C. (2016). *PETRA Etude technico-économique d'une production régionale de poissons en étangs pour le marché de l'alimentation humaine*.
- Trintignac, P., & Métivier, R. (2019). *Pré étude régionale sur l'utilisation d'insectes dans l'alimentation des poissons d'élevage*.
- Vallod, D., & Le Reste, G. (2017). Insectes et aliment pour l'aquaculture. Présentation Journées techniques sur les résidus organiques et la production d'insectes pour la chaîne alimentaire 29 juin 2017.
- Watson, R., Cheung, W., Anticamara, J., Sumaila, R., Zeller, D., & Pauly, D. (2013). Global marine yield halved as fishing intensity redoubles. *Fish and Fisheries*, 14, 493–503.

## Sitographie

CIPA, 2018 Les chiffres clés ; <http://www.poisson-aquaculture.fr/les-chiffres-cles/>

Inalve : <https://inalve.com/>

Site météo : <https://www.infoclimat.fr/climatologie-mensuelle/07134/mai/2019/laval-etronier.html>

Insectinov2 : <https://www.adebiotech.org/ins2/index.php?target=downloads>

Index mundi : <https://www.indexmundi.com/fr/matieres-premieres/>

## Glossaire

CIPA : Comité InterProfessionnel de l'Aquaculture

FEAMP : Fonds Européen pour les Affaires Maritimes et la Pêche

PAT : Protéines d'Animaux Terrestres

PERIFF : Pré Etude Régional Insectes Feed for Fish

TSFP : Taux de Supplément de Farine de Poisson

## Figures

Figure 1 : évolution des captures de pêche et de l'aquaculture dans le monde (FAO, 2018).....	9
Figure 2 : production halieutique et aquacole mondiale, de 1990 à 2030 (FAO, 2018).....	10
Figure 3 : Evolution sur 20 ans de la Farine de poisson Prix Mensuel - Euro por Tonne métrique ( <a href="https://www.indexmundi.com/fr/matieres-premieres/">https://www.indexmundi.com/fr/matieres-premieres/</a> ).....	13
Figure 4 : mouche soldat noir et sa larve .....	14
Figure 5 : situation géographique régionale des sites d'expérimentation et du site de production de l'aliment .....	15
Figure 6 : situation géographique du Lycée de Guérande et photos du site de la pisciculture et des bassins concernés par l'expérimentation. ....	16
Figure 7 : situation géographique du site piscicole du Lycée du Haut Anjou et photos de la pisciculture et d'un petit étang concerné par l'expérimentation. ....	17
Figure 8: photos de Cycle Farms ( <i>Cycle Farms</i> ).....	18
Figure 9: Photos de pellets de l'aliment test.....	19
Figure 10 : cages dans les bassins bétons sur site G (gauche) et dans un étang sur site C (droite) ( <i>Halieutica</i> )	22
Figure 11 : photos du « mangeoire » vue de dessus (à gauche) et de côté où viennent se nourrir les carpes (droite).....	22
Figure 12 : protocole expérimentale de suivi des lots de carpes.....	24
Figure 13 : tri des alevins sur le site C, mise en poche des lots pour le site G (Smidap et Halieutica) .....	25
Figure 14 : évolution journalière des mesures matinales de températures et de l'oxygène sur le site G .....	27
Figure 15 : taux de survie final des carpes par modalités (+-IC95%) .....	28
Figure 16 : taux de survie final selon le site expérimental (+-IC95%).....	29
Figure 17 : taux de survie par modalités sur le site G (+-IC95%).....	29
Figure 18 : évolution de la mortalité (nombre) journalière sur le site G .....	30
Figure 19 : photos de poissons morts le 27 août sur le site C (smidap) .....	30
Figure 20 : taux de survie par modalité sur le site C (+-IC95%).....	31
Figure 21 : évolution des pertes (mortalités et prédation) sur le site C .....	31
Figure 22 : poids moyen individuel final par modalité (+-IC95%).....	32
Figure 23 : poids moyen individuel final par site (+-IC95%) .....	33
Figure 24 : poids moyens finaux par modalité sur le site G (+-IC95%).....	34
Figure 25: poids moyens finaux par modalité sur le site C (+-IC95%).....	34
Figure 26 : indices de conversion selon le site (+-IC95%).....	36
Figure 27 : Indices de conversion par modalité sur le site G(+/-IC95%).....	36
Figure 28 : Indices de conversion par modalité sur le site C (+-IC95%).....	37

## Tableaux

Tableau 1 : caractéristiques des principaux constituants des aliments testés .....	20
Tableau 2 : principaux paramètres zootechniques initiaux sur le site G .....	26
Tableau 3: principaux paramètres zootechniques initiaux sur le site C .....	26

# Annexes

# ANNEXE 1 : premières phases d'élevage de carpes issues d'une reproduction artificielle

## PREMIERES PHASES D'ELEVAGE DE CARPES et D'AMOURS BLANCS ISSUES D'UNE REPRODUCTION ARTIFICIELLE

(D'après [www.fao.org/fishery/culturedspecies/Cyprinus\\_carpio/fr](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Cyprinus_carpio/fr) et SCLHUMBERGER, 1998)

Phase de maturation des géniteurs (Eau à 18-20°C)



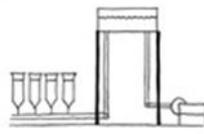
Transfert en écloserie

Phases d'ovulation et de fécondation



Phases embryonnaire

Cœufs puis dans cuves cylindro-coniques



Phase pré larvaire : Résorption (65°C/j)



Larves en suspension ne se nourrissant pas en cuves cylindro-coniques



Stade vésicule résorbée ou VR

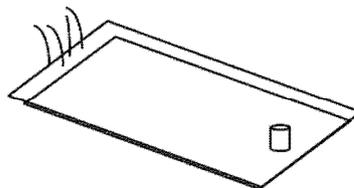


Commercialisation des VR

Phase larvaire : (4 à 6 semaines)

Début de mobilité et alimentation

Transfert des VR en étangs ou bassins de nurserie



Phase Post larvaire : (4 à 6 semaine – 1 été)

En bassin en terre ou en étang

## ANNEXE 2 : exemple de fiche de suivi quotidien

		Aliment témoin			Fiche de suivi poisson						
Structure/ salle d'élevage B10								20% Main			
N° bassin:	H	Date de mise en eau:			30/07/2019			80% Distributeur			
Esèce:	Carpe										
Effectif de départ:		250			ALIMENTATION						
DATE	EFFECTIF	POIDS MOYEN	BIOMASSE	MORTALITÉ	PESEE MORT	T°C EAU	O2	TAUX nourris.	QTÉ a ditribuer	QTÉ distribuée	OBSERVATIONS
30/07/2019	250	6,77	1692			23	7,17	5,4	91		AS
31/07/2019						21,7	7,17				
01/08/2019						21,4	6,65				
02/08/2019						22,8	7,55				
03/08/2019						21,6	7,78				
04/08/2019											
05/08/2019						22,7	6,83				
06/08/2019						22,2	7,77				
07/08/2019						21,9	7,75				
08/08/2019						22,3	7,6				
09/08/2019						22,3	7,48				
10/08/2019						21,2	7,59				
11/08/2019						22					
12/08/2019						21,4	9,1				
13/08/2019						21,6	8,5				
14/08/2019						21,2	10,2				
15/08/2019						22,2	9,6				
16/08/2019						20,9	9,31				
17/08/2019						20,5					
18/08/2019											
19/08/2019						21,7	9,6				
20/08/2019						21,5	8,72				
21/08/2019						21,5	9,29				
22/08/2019						21,9	8,24				
23/08/2019						22,2	8,16				
24/08/2019						21,2	10,1				

### ANNEXE 3 : synthèse des principales données finales sur le site G

Modalité	Aliment Tbsf		Aliment Tfish		Aliment T	
	G	K	A	D	H	B
<b>Cage</b>						
<b>Quantité d'aliments(g)</b>	7221	7878	6018	9032	8247	8686
<b>Mortalité cumulée %</b>	42,8	44,4	54,8	36,4	64,8	67,2
<b>Mortalité /modalité</b>	43,6		45,6		66	
<b>Biomasse finale (g)</b>	4258,54	4071,2	2637,42	4598	2633	3614,46
<b>P.M. final (g)</b>	29,78	29,08	23,34	28,92	29,92	33,78
<b>P.M.final/modalité</b>	29,43		26,13		31,85	
<b>IC</b>	2,1	2,32	2,9	3,76	2,82	2,33

### ANNEXE 4 : synthèse des principales données finales sur le site C

Modalité	Aliment Tbsf			Aliment Tfish			Aliment T		
	C1	C4	C7	C2	C5	C8	C3	C6	C9
<b>Cage</b>									
<b>Quantité d'aliments(g)</b>	7170	5139	5696	5954	5945	4323	6685	6532	5034
<b>Mortalité cumulée %</b>	32,4	70,4	52,4	62,8	68,4	77,2	59,6	45,2	66,8
<b>Mortalité /modalité</b>	51,73			69,5			57,2		
<b>Biomasse finale (g)</b>	2331	1067	1606	1377	1321	966	1575	2176	1237
<b>P.M. final (g)</b>	14,78	15,84	14,2	16,04	16,92	17,22	18,44	17,92	17,14
<b>P.M.final/modalité</b>	14,94			16,73			17,83		
<b>IC</b>	6,24	4,58	5,79	4,87	4,34	4,15	4,4	3,86	5,54

## ANNEXE 5 : données brutes du site C

Mise en cage le mardi 30-juil		Première alimentation le mercredi 31-juil											
Cages	Morts	Bm (g)	Ni	Pm	TAJ (%)	Temp. (°C)	Ration/jour	Nb j alim	Q alim (g)	Gain B	Morts/Préd	B morte	IC/pér
C1 avec BSF	0	2020	250	8,08	4,6	20	93	11	1022				
C2 Sans BSF	0	1810	250	7,24	4,6	20	83	11	916				
C3 T etang coul1	0	1892	250	7,57	4,6	20	87	11	957				
C4 avec BSF	0	1750	250	7,00	4,6	20	81	11	886				
C5 sans BSF	0	1948	250	7,79	4,6	20	90	11	986				
C6 T etang coul 1	0	1688	250	6,75	4,6	20	78	11	854				
C7 avec BSF	0	1894	250	7,58	4,6	20	87	11	958				
C8 sans BSF	0	1926	250	7,70	4,6	20	89	11	975				
C9 T etang coul 1	0	1982	250	7,93	4,6	20	91	11	1003				
C1 avec BSF	0	2150	250	8,60	4,6	20	99	14	1385	130	0	0,00	7,86
C2 Sans BSF	0	2310	239	9,67	4,6	20	106	14	1488	500	11	92,98	1,54
C3 T etang coul1	0	2370	250	9,48	4,6	20	109	14	1526	478	0	0,00	2,00
C4 avec BSF	0	2131	245	8,70	4,6	20	98	14	1372	381	5	39,24	2,11
C5 sans BSF	0	2314	250	9,26	4,6	20	106	14	1490	366	0	0,00	2,69
C6 T etang coul 1	0	2030	225	9,02	4,6	20	93	14	1307	342	25	197,18	1,58
C7 avec BSF	0	2030	232	8,75	4,6	20	93	14	1307	136	18	146,93	3,39
C8 sans BSF	0	1832	186	9,85	4,6	20	84	14	1180	-94	64	561,71	2,08
C9 T etang coul 1	0	1582	174	9,09	4,6	20	73	14	1019	-400	76	646,76	4,06
C1 avec BSF	3	2480	250	9,92	4,6	20	114	16	1825	330	0	0,00	4,20
C2 Sans BSF	8	2375	233	10,19	4,6	20	109	16	1748	65	6	59,58	11,94
C3 T etang coul1	11	2645	237	11,16	4,6	20	122	16	1947	275	13	134,16	3,73
C4 avec BSF	7	2200	229	9,61	4,6	20	101	16	1619	69	16	146,44	6,37
C5 sans BSF	1	2608	243	10,73	4,6	20	120	16	1919	294	7	69,96	4,09
C6 T etang coul 1	4	2380	225	10,58	4,6	20	109	16	1752	350	0	0,00	3,74
C7 avec BSF	14	2000	203	9,85	4,6	20	92	16	1472	-30	29	269,73	5,45
C8 sans BSF	16	1624	153	10,61	4,6	20	75	16	1195	-208	33	337,65	9,10
C9 T etang coul 1	1	1651	165	10,01	4,6	20	76	16	1215	69	9	85,94	6,58
C1 avec BSF	0	1855	176	10,54	5,4	23	100	12	1202	-625	74	757,01	13,83
C2 Sans BSF	3	1074	94	11,43	5,4	23	58	12	696	-1301	139	1502,50	8,68
C3 T etang coul1	2	1444	105	13,75	5,4	23	78	12	936	-1201	132	1644,24	4,39
C4 avec BSF	2	847	75	11,29	5,4	23	46	12	549	-1353	154	1609,32	6,32
C5 sans BSF	4	1016	80	12,70	5,4	23	55	12	658	-1592	163	1909,75	6,04
C6 T etang coul 1	3	1796	147	12,22	5,4	23	97	12	1164	-584	78	889,02	5,74
C7 avec BSF	1	1298	128	10,14	5,4	23	70	12	841	-702	75	749,73	30,84
C8 sans BSF	1	779	62	12,56	5,4	23	42	12	505	-845	91	1054,64	5,70
C9 T etang coul 1	2	1116	94	11,87	5,4	23	60	12	723	-535	71	776,68	5,03
C1 avec BSF	0	1769	172	10,28	4,1	17,5	73	16	1160	-86	4	41,65	-27,10
C2 Sans BSF	0	1155	94	12,29	4,1	17,5	47	16	758	81	0	0,00	8,59
C3 T etang coul1	0	1385	101	13,71	4,1	17,5	57	16	909	-59	4	54,93	-229,93
C4 avec BSF	0	684	74	9,24	4,1	17,5	28	16	449	-163	1	10,27	-3,59
C5 sans BSF	0	857	80	10,71	4,1	17,5	35	16	562	-159	0	0,00	-4,14
C6 T etang coul 1	1	1406	142	9,90	4,1	17,5	58	16	922	-390	5	55,30	-3,48
C7 avec BSF	0	1466	122	12,02	4,1	17,5	60	16	962	168	6	66,47	3,59
C8 sans BSF	0	359	57	6,30	4,1	17,5	15	16	236	-420	5	47,16	-1,35
C9 T etang coul 1	0	1163	87	13,37	4,1	17,5	48	16	763	47	7	88,34	5,34
C1 avec BSF	0	2285	171	13,36	3,6	15,6	82	7	576	516	1	11,82	2,20
C2 Sans BSF	0	1380	94	14,68	3,6	15,6	50	7	348	225	0	0,00	3,37
C3 T etang coul1	0	1628	101	16,12	3,6	15,6	59	7	410	243	0	0,00	3,74
C4 avec BSF	0	1047	74	14,15	3,6	15,6	38	7	264	363	0	0,00	1,24
C5 sans BSF	0	1311	80	16,39	3,6	15,6	47	7	330	454	0	0,00	1,24
C6 T etang coul 1	3	2117	137	15,45	3,6	15,6	76	7	533	711	5	63,38	1,19
C7 avec BSF	0	1622	120	13,52	3,6	15,6	58	7	409	156	2	25,53	5,30
C8 sans BSF	0	922	57	16,18	3,6	15,6	33	7	232	563	0	0,00	0,42
C9 T etang coul 1	0	1235	83	14,88	3,6	15,6	44	7	311	72	4	56,49	5,94
C1 avec BSF	0	2331	169	13,79						46	2	27,16	7,87
C2 Sans BSF	0	1377	93	14,81						-3	1	14,74	29,61
C3 T etang coul1	0	1575	101	15,59						-53	0	0,00	-7,74
C4 avec BSF	0	1067	74	14,42						20	0	0,00	13,19
C5 sans BSF	0	1321	79	16,72						10	1	16,55	12,44
C6 T etang coul 1	0	2176	137	15,88						59	0	0,00	9,04
C7 avec BSF	0	1606	119	13,50						-16	1	13,51	-163,91
C8 sans BSF	0	966	57	16,95						44	0	0,00	5,28
C9 T etang coul 1	0	1237	83	14,90						2	0	0,00	155,61

## ANNEXE 6 : données brutes du site G

biomasse individuelles						
alt avec BSF Cage G	alt sans BSF Cage A	alt LG Cage H		alt avec BSF Cage K	alt sans BSF Cage D	alt LG Cage B
51	26	42		8	44	23
53	16	44		27	22	27
12	46	15		32	50	19
8	24	25		14	7	51
63	9	21		6	25	22
19	29	45		29	57	25
20	17	28		56	14	70
55	15	53		9	53	49
32	30	42		36	28	41
10	32	31		53	32	34
55	14	34		8	21	62
15	37	41		12	20	46
48	18	18		29	35	9
43	39	51		49	17	21
46	42	27		16	19	48
21	30	21		21	55	20
36	12	9		33	10	46
22	16	38		26	24	19
21	50	69		17	32	61
9	32	19		26	16	65
29	33	55		38	20	70
10	25	15		35	32	50
38	16	39		43	45	67
17	37	27		55	37	15
27	20	43		69	28	20
12	30	31		14	13	14
25	13	14		56	11	17
28	38	15		17	47	43
14	27	22		18	22	47
35	13	40		57	26	19
29	16	27		12	37	31
30	11	33		32	37	42
49	25	20		20	19	20
52	24	38		48	30	24
23	28	30		36	22	38
36	24	34		12	35	14
14	23	30		26	22	14
38	24	25		21	33	37
16	13	18		29	34	56
32	21	24		29	16	20
7	36	33		39	18	43
32	13	33		23	44	16
36	17	16		28	31	35
24	18	26		38	22	50
17	16	20		31	15	25
42	12	22		20	15	20
36	14	33		33	55	12
31	16	21		24	16	28
39	11	22		33	48	34
32	19	17		11	35	10
1489	1167	1496		1454	1446	1689
50	50	50	effectif	50	50	50
1098	600	740	BIOMASSE +	1880	2016	1360
93	63	38	NBR RESTANT	90	109	57

