

RAPPORT N° 1 SUR LE MODULE DE TRAVAIL 1 DU
PROJET SAMARCH

--

MIGRATION DES SMOLTS DE TRUITE DE MER ET DE
SAUMON ATLANTIQUE DANS LES EAUX DE TRANSITION ET
LES EAUX COTIERES

**CELINE ARTERO, WILLIAM A. BEAUMONT, QUENTIN JOSSET, NICOLAS
JEANNOT, ALAN COLE, ELODIE REVEILLAC ET RASMUS LAURIDSEN**



TABLE DES MATIERES

CONTEXTE	5
REMERCIEMENTS	7
INTRODUCTION	9
ÉQUIPEMENT ET METHODES	11
1. SITES D'ETUDE ET REGLES DE PECHE	11
2. ENQUETE DE TELEMETRIE ACOUSTIQUE	13
2.1. MATERIEL D'ETIQUETAGE ET PARAMETRES	13
2.2. RESEAUX DE RECEPTEURS ACOUSTIQUES	14
2.3. ENREGISTREURS DE DONNEES	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
3. CAPTURE DES SMOLTS	15
3.1. CALENDRIER	16
3.2. STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE	16
3.3. SYSTEMES DE PIEGEAGE	17
3.4. METHODOLOGIE DE PIEGEAGE	17
4. ANALYSE DES ECHANTILLONS D'ECAILLES	18
4.1. ANALYSE DE L'AGE	18
4.2. DETERMINATION DU SEXE	19
5. ANALYSE DE DETECTION ACOUSTIQUE	19
5.1. TAUX DE REUSSITE DE LA MIGRATION	19
5.2. POURCENTAGE DE PERTE DE DETECTION PAR KILOMETRE	20
5.3. DUREE AUTOUR DES RECEPTEURS INDIVIDUELS	20
5.4. DUREE DE LA MIGRATION DANS LES ESTUAIRES ET EN ZONE COTIERE	21
5.5. VITESSE DE MIGRATION	21
5.6. COMPORTEMENT MIGRATOIRE	21
6. ANALYSE STATISTIQUE	21
RESULTATS	23
1. NOMBRE DE SMOLTS MARQUES	23
2. TAUX DE REUSSITE DE LA MIGRATION ET PERTE DE DETECTION	23
2.1. TAUX DE REUSSITE DE LA MIGRATION EN EAU DOUCE ET PERTE DE DETECTION	23
2.2. TAUX DE REUSSITE DE LA MIGRATION ET PERTE DE DETECTION DANS LES ESTUAIRES	25
2.3. POURCENTAGE DE PERTE DE DETECTION PAR KILOMETRE DANS LES ESTUAIRES	25
2.4. VARIATION SPATIALE DE LA PERTE DE DETECTION DANS LES ESTUAIRES	28
3. DUREE ET CALENDRIER DE LA MIGRATION DES SMOLTS	30
3.1. DUREE AUTOUR DES RECEPTEURS INDIVIDUELS	30
3.2. DUREE ET CALENDRIER DE LA MIGRATION DES SMOLTS DANS LES ESTUAIRES ET LES EAUX COTIERES	30
4. VITESSE DE MIGRATION	32

5.	COMPORTEMENT MIGRATOIRE	35
	DISCUSSION	37
1.	TAUX DE REUSSITE DE LA MIGRATION EN ESTUAIRE	37
2.	POURCENTAGE DE PERTE DE DETECTION DE SMOLTS PAR KILOMETRE DANS LES ESTUAIRES	37
3.	DUREE ET CALENDRIER DE LA DEVALAISON DES SMOLTS DANS LES ESTUAIRES	38
4.	CARACTERISTIQUE DE LA MIGRATION ESTUARIEENNE DES SMOLTS DE TRUITE DE MER ET DE SAUMON ATLANTIQUE	38
5.	IMPLICATIONS POUR LA GESTION DES SMOLTS DE TRUITE DE MER ET DE SAUMON ATLANTIQUE	39
	CONCLUSION	42
	REFERENCES	43
	ANNEXES	45

CONTEXTE

SAMARCH (SAlmonid MAnagement Round the CHannel – Gestion des salmonidés autour de la Manche) est un projet sur cinq ans (2017-2022) financé en partie par le programme Interreg France (Manche) Angleterre 5A de l'UE impliquant 10 partenaires : le Game & Wildlife Conservation Trust (GWCT, responsable), l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), l'Institut Agro, l'Université d'Exeter, l'Université de Bournemouth, l'Office français pour la biodiversité (OFB), l'Environment Agency (EA), le Salmon and Trout Conservation, Seine Normandie Migrateurs (SNM) et Bretagne Grands Migrateurs (BGM). Des étudiants universitaires et les parties prenantes se sont également engagés tout au long du projet SAMARCH afin de sensibiliser le public, de former les futurs gestionnaires et d'intégrer pleinement toutes les parties prenantes associées à la question des salmonidés d'une manière ou d'une autre.

En effet, le projet SAMARCH vise non seulement à fournir de nouvelles informations sur le comportement migratoire, la survie et la croissance des salmonidés afin d'améliorer davantage les méthodes utilisées en Angleterre et en France pour gérer les stocks de salmonidés, mais aussi à créer de nouvelles politiques pour une meilleure gestion de ces espèces dans les eaux de transition et les eaux côtières de la Manche. Pour ce faire, le projet est divisé en quatre modules de travail : 1) suivi des salmonidés dans les eaux de transition et les eaux côtières, 2) développement d'outils génétiques, 3) modèles d'évaluation des stocks de salmonidés et 4) parties prenantes et formation.

Ce rapport est le premier produit du module de travail 1 (WP1) concernant l'utilisation des eaux côtières et de transition par les smolts de saumon atlantique et de truite de mer dans quatre estuaires : la Frome, le Tamar, la Bresle et le Scorff. La collecte et l'analyse des données étant toujours en cours, ce rapport fournira les résultats préliminaires du suivi des smolts de salmonidés dans les eaux de transition et les eaux côtières : durée, période et vitesse de migration. Un rapport final sur le taux de mortalité des smolts de salmonidés pendant leur dévalaison et l'influence des paramètres biotiques et environnementaux sera fourni une fois l'analyse terminée.



REMERCIEMENTS

La migration des smolts de salmonidés se produit presque simultanément dans les quatre rivières étudiées. Il a été difficile de marquer le nombre souhaité d'individus sur les quatre sites de marquage. Je tiens donc à remercier les quatre équipes locales (dont les responsables impliqués sont les co-auteurs de ce rapport) pour leur aide et leur soutien pendant la période d'échantillonnage.

Je tiens également à remercier le programme Interreg Europe, le GWCT et l'INRAE pour avoir cofinancé le projet SAMARCH et surtout le module de travail portant sur la télémétrie. Je remercie l'Agence Environnementale (Environment Agency) qui a permis de compléter le réseau de récepteurs acoustiques SAMARCH dans la rivière Tamar en fournissant des récepteurs supplémentaires déployés en eau douce.

Je remercie également les fournisseurs d'équipement acoustique (RS Aqua) qui ont été extrêmement réactifs et serviables.

Enfin, je tiens à remercier la CCI du Tréport, le DDTM de Lorient, Poole Harbour Control, Queen's Harbour Master Plymouth ainsi que tous les propriétaires de terrains/bateaux pour nous avoir donné l'autorisation de déployer notre matériel sur leur propriété.

INTRODUCTION

Le saumon atlantique (*Salmo salar*) et la truite de mer (*Salmo trutta*) sont des espèces anadromes emblématiques. Le public est bien sensibilisé à la longue migration que les saumons entreprennent avant de retourner dans leur rivière natale pour se reproduire. De nombreuses personnes ont déjà vu des vidéos d'ours chassant le saumon dans des rivières, de quelqu'un pêchant le saumon à la mouche ou pratiquent peut-être elles-mêmes la pêche au saumon. Cependant, ces personnes ne sont pas nécessairement au courant que des salmonidés vivent dans leurs rivières locales et encore moins que les populations de salmonidés sont en déclin.

Les juvéniles de truite de mer et de saumon atlantique passent généralement 1 à 4 ans en eau douce. Lorsqu'ils atteignent une certaine taille, le processus de smoltification se produit. Ils migrent alors vers la mer, où ils grandissent plus rapidement grâce à la richesse des proies en milieu marin. Ils passent jusqu'à trois ans en mer avant de retourner à l'âge adulte dans leur rivière natale pour se reproduire.

Pendant longtemps, la seule façon de recenser les populations de salmonidés était de les compter dans la rivière sur leur trajet vers la mer ou lors de leur retour en rivière. Dans plusieurs rivières, ce recensement a mis en évidence un déclin du nombre de poissons retournant se reproduire, soulignant une augmentation de la « mortalité marine ». Certaines populations de salmonidés sont surveillées depuis des décennies et les scientifiques indiquent un déclin constant de la plupart des populations en Europe du Nord (ICES 2020). De plus, la réduction des débarquements de saumon semble soutenir cette hypothèse. Afin d'approfondir la question, le programme européen Interreg France-Angleterre Manche 5A a financé le projet SAMARCH (SAlmonid MAnagement Round the CHannel – Gestion des salmonidés autour de la Manche), axé sur les salmonidés en milieu estuarien, côtier et marin. L'objectif du projet SAMARCH est de fournir de nouvelles informations sur le comportement migratoire, la survie et la croissance des salmonidés afin d'améliorer encore les modèles d'évaluation des stocks de salmonidés, mais aussi de créer de nouvelles politiques pour une meilleure gestion de la truite de mer et du saumon atlantique dans les eaux de transition et les eaux côtières de la Manche.

Nous manquons d'informations sur le lieu, le moment et la manière dont les smolts de salmonidés utilisent les eaux de transition et les eaux côtières lors de leur migration vers la mer ; or les gestionnaires ont besoin de ces informations pour développer une gestion plus durable des smolts de saumon atlantique et de truite.

Grâce aux récents progrès de la technologie de télémétrie, il est désormais possible non seulement de compter les individus, mais aussi de les suivre pendant leur migration. Certaines méthodes de télémétrie, comme le radiopistage, sont limitées à l'eau douce, mais d'autres, comme la télémétrie acoustique, peuvent également être utilisées dans des eaux salines.

Cependant, le poids et la taille des marques limitaient autrefois le travail de marquage aux jeunes individus et aux individus adultes, car la charge relative des grandes marques aurait probablement eu un impact sur la capacité de nage des individus plus petits (hiver 1983, 1996). Grâce à la miniaturisation des batteries et des marques, il est désormais possible de suivre des petits poissons comme les smolts, de jeunes salmonidés prêts à entamer leur première migration vers la mer, avec un impact minimal sur leur comportement de nage et leur survie.

Le module de travail 1 du projet SAMARCH s'est concentré sur la première migration vers la mer de la truite de mer et du saumon atlantique. Un suivi a été entrepris dans quatre estuaires se déversant dans la Manche afin de déterminer comment les smolts utilisent les eaux des estuaires et les eaux côtières, leur comportement migratoire, ainsi que leur taux de mortalité pendant cette migration en aval. Une description de la migration des smolts en aval sera présentée dans ce rapport. L'analyse et les résultats finaux seront fournis dans un rapport ultérieur.

MATERIEL ET METHODES

1. SITES D'ETUDE ET REGLES DE PECHE

Des smolts de truite de mer et de saumon atlantique ont été suivis pendant leur dévalaison dans quatre estuaires se déversant dans la Manche, deux dans le sud de l'Angleterre (rivières Frome et Tamar) et deux dans le nord de la France (rivières Bresle et Scorff, figure 1).

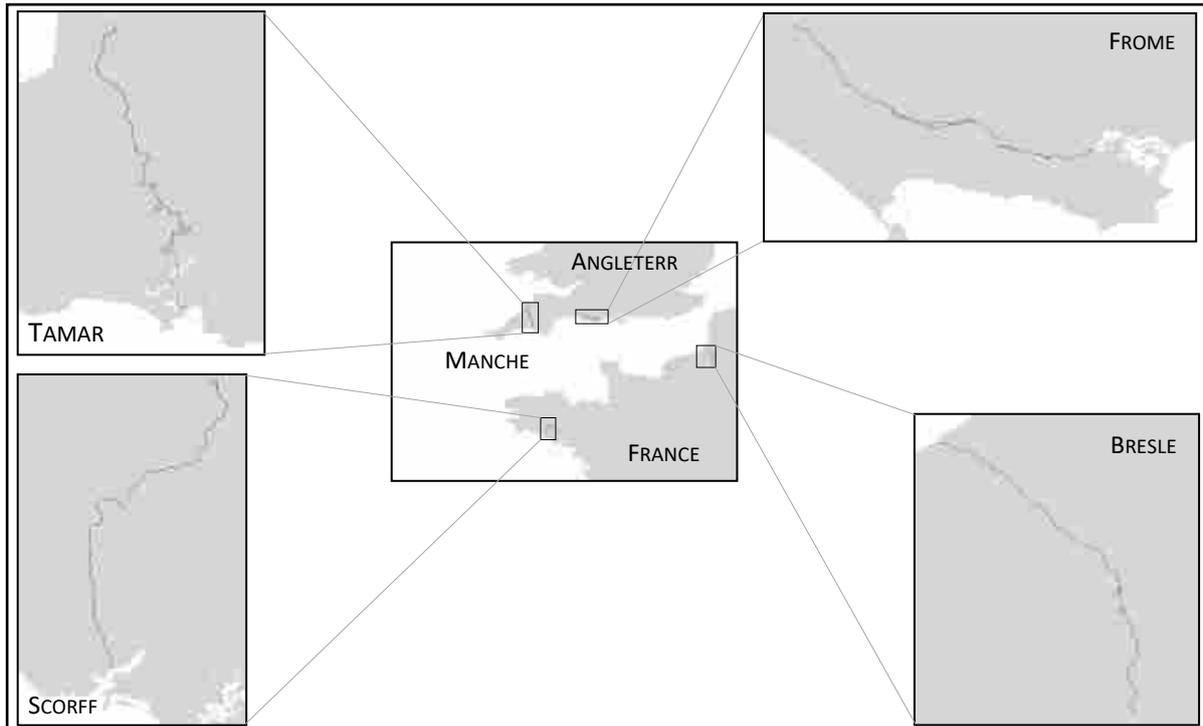


Figure 1 : Localisation des bassins versants du projet de suivi SAMARCH : estuaires du Tamar, de la Frome, de la Bresle et du Scorff

La rivière Tamar, longue de 75 km, prend sa source à Kilkhampton à 10 km de la côte nord de la péninsule sud-ouest de l'Angleterre et s'écoule vers le sud, à travers des terres agricoles principalement à faible élévation, dans la Manche *via* la baie de Plymouth. La rivière Tamar a de nombreux affluents, et son débit moyen annuel est de $23 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. La ville de Calstock, située à la limite de salinité, marque le début d'un estuaire de 14 km^2 (23 km de long). À Calstock, l'estuaire est large de 68 m et profond de 2 m. À partir de Calstock, l'estuaire s'élargit progressivement avant de se rétrécir pour atteindre une largeur de 318 m et une profondeur de 28 m à sa sortie. Après la sortie, l'estuaire rejoint la baie de Plymouth qui fait près de 6 km de large avec une profondeur variant entre 5 et 11 m.

Dans le fleuve Tamar et ses estuaires, les filets fixes et mobiles sont interdits toute l'année, à l'exception des sennes simples déployées manuellement. Une ligne de flotteurs de

3 mètres est obligatoire dans la zone littorale qui s'étend sur six milles marins vers le large (IFCA de Cornouailles et du Devon, 2017).

La rivière Frome est un cours d'eau calcaire de 70 km de long dont la plus grande partie du débit provient d'aquifères du Crétacé. À la limite de salinité, l'estuaire est large de 31 m et profond de 1 m ; l'estuaire est un port naturel de 36 km² (14 km de long), c'est le plus grand port naturel d'Europe, seulement relié à la mer par une ouverture de 315 m de large (figure 3) et de 9,5 m de profondeur.

Une interdiction totale des filets, à l'exception des verveux, a été établie dans le port de Poole par la Southern IFCA entre le 1^{er} avril et le 30 septembre de chaque année. Tout le reste de l'année, la pêche à la ligne et la pêche au filet sont autorisées (règlement de la Southern IFCA, 2017).

Le Scorff est un fleuve d'une longueur de 62 km avec un estuaire de 16 km. À la limite de salinité, l'estuaire est large de 39 m et profond de 1 m ; il s'élargit ensuite progressivement avant de se rétrécir pour atteindre une largeur de 600 m et une profondeur de 21 m à la sortie.

Dans l'estuaire du Scorff, les filets fixes sont interdits toute l'année, mais les filets mobiles peuvent être déployés selon des règles spécifiques. Du 10 avril au 30 septembre, la capture de salmonidés est interdite partout dans l'estuaire et, pendant cette période, les filets mobiles ne sont pas autorisés en amont de Kerentrec'h. La capture de salmonidés en amont de Kerentrec'h est interdite toute l'année (Arrêté 2015 -12152 de la région Bretagne).

La Bresle est une rivière calcaire de 72 km de long. À l'extrémité aval, la rivière se divise en deux bras : l'un donnant sur un port commercial (120 m x 500 m, 4,5 m de profondeur) et l'autre sur un port de plaisance (60 m x 450 m, 4,5 m de profondeur). Le débit des deux ports est contrôlé artificiellement (figure 2). Le débit étant contrôlé, il y a très peu de mélange entre l'eau douce et l'eau de mer, ce qui explique que le gradient de salinité soit très élevé et que les poissons passent de l'eau douce à l'eau de mer à salinité normale en seulement 2 km. À des fins administratives, la limite de salinité est fixée à l'entrée du port de plaisance et les administrations chargées de la réglementation de la pêche le sont :

- la DRIEE en amont du port ;
- la CCI du Tréport dans le port ; et
- la région Seine Normandie dans l'espace maritime.

La pêche à la ligne et au filet sont interdites dans le port du Tréport, mais la pêche à la canne est tolérée dans le chenal (règlement spécifique de la police du port du Tréport). Par ailleurs, les activités de dragage sont interdites entre le 15 mai et le 15 septembre (Arrêté du 7 octobre 2013).



Figure 2 : Photo de l'estuaire de la Bresle avec le port de commerce (A) et le port de plaisance (B) et le chenal (C).

Ces quatre rivières constituent d'importants sites « indicateurs » des salmonidés relevant de l'ICES. Cela signifie qu'une série chronologique de données de haute qualité sur les populations de salmonidés a été recueillie, créant ainsi des ensembles de données historiques inestimables.

2. SUIVI DE TELEMETRIE ACOUSTIQUE

L'étude de la migration a été réalisée à l'aide de la télémétrie acoustique. La méthodologie a consisté à implanter une balise acoustique dans les smolts. Ces balises ont permis de détecter leur présence à proximité des récepteurs acoustiques déployés le long de leur parcours migratoire.

2.1. MATERIEL DE MARQUAGE

Les smolts de saumon atlantique capturés dans les quatre rivières mesuraient entre 11 et 17 cm et les smolts de truite entre 15 et 30 cm. Lors du marquage, il est important d'adapter la taille de la marque à la taille du poisson afin de limiter le plus possible tout impact potentiel de la procédure sur le comportement du poisson. Pour garantir un impact minimal sur les smolts, la plus petite balise acoustique disponible au moment de l'étude, la balise acoustique V5 de Vemco (12,7 mm, 0,38 g dans l'eau) fonctionnant à une fréquence de 180 kHz a été utilisé. Des récepteurs acoustiques compatibles avec une fréquence de 180 kHz (VR2W) ont été déployés pour suivre la migration des smolts dans les quatre sites d'étude (figure 3).

La durée de la première migration marine diffère entre la truite de mer et le saumon atlantique. Certaines truites de mer reviennent dans leur rivière natale quelques mois après avoir quitté l'estuaire, tandis que d'autres reviennent après un an en mer. Le saumon atlantique peut passer un à trois ans en mer avant de revenir dans sa rivière natale. L'autonomie de la batterie des balises V5 dépend de leur fréquence de transmission. La fréquence de 30 ± 10 secondes choisie pour suivre la dévalaison des smolts de saumon atlantique a permis une durée de vie de la batterie d'environ 3 mois, soit suffisamment de temps pour suivre les individus hors de l'estuaire. Pour augmenter la probabilité de détecter le retour des truites de mer, une configuration légèrement différente a été programmée pour les marques insérées dans les truites de mer : les 14 premiers jours ont été configurés à une fréquence de 30 ± 10 secondes, puis à une fréquence de 60 ± 10 secondes le reste du temps. Le paramétrage des marques des truites de mer offrait une autonomie de 4,5 mois, ce qui était suffisant pour recueillir des informations sur leur retour après quelques mois en mer.

Des systèmes d'antennes à transmetteur passif intégré (PIT) existaient déjà dans plusieurs des sites étudiés, c'est pourquoi les smolts suivis dans ces rivières ont également été marqués avec cette technologie (12,5 mm ; 0,07 g dans l'eau). Les PIT contiennent un numéro d'identification unique qui est lu par des antennes installées dans les rivières. Ces PIT ne sont pas limitées par la durée de vie de la batterie mais elles ont une portée de détection limitée (généralement jusqu'à un mètre), et peuvent donc uniquement être utilisées dans des environnements plus restreints. Planter un PIT aux smolts augmente donc la probabilité de détecter les poissons marqués lorsqu'ils retournent dans leur rivière natale à l'âge adulte lorsque la batterie de la marque acoustique est épuisée.

2.2. RESEAUX DE RECEPTEURS ACOUSTIQUE

Des récepteurs acoustiques ont été déployés entre fin 2017 et début 2018 le long du parcours migratoire des smolts, depuis le site de marquage (en eau douce) jusqu'à la côte (eau salée) en passant par l'estuaire (le long du gradient de salinité). L'objectif était de déployer les récepteurs acoustique à intervalles réguliers le long du trajet migratoire pour créer des « portes acoustique » destinées à optimiser la probabilité de détection des poissons marqués. Les marques V5 peuvent être détectées par les récepteurs acoustiques VR2W (©Vemco) à la fréquence de 180 kHz dans un rayon allant jusqu'à 200 m. Ainsi, en théorie, l'installation d'un récepteur au milieu d'une rivière permettrait de couvrir une distance allant jusqu'à 400 m. Là où cela était nécessaire, des récepteurs supplémentaires ont été déployés afin que la porte acoustique couvre toute la largeur de la rivière/de l'estuaire.

Entre 10 et 15 récepteurs acoustiques ont été déployés dans chaque estuaire (figure 3 et annexe 1).

Lorsqu'un poisson marqué était détecté, le récepteur acoustique enregistrait l'identifiant de la marque, la date et l'heure ainsi que le nom du récepteur.

Certains paramètres tels que le bruit, l'encrassement biologique et la nature du sol peuvent réduire l'efficacité de détection des récepteurs acoustiques et ainsi affecter la capacité à détecter un poisson marqué et fausser l'interprétation d'une absence de détection (l'absence de détection ne signifie pas nécessairement la mort d'un poisson marqué). Au cours de cette étude, des tests de détection ont été effectués pour évaluer l'efficacité de détection de chaque récepteur dans l'estuaire. Les résultats de ces tests, essentiels pour dissocier la mortalité de l'absence de détection, seront présentés dans un rapport ultérieur.

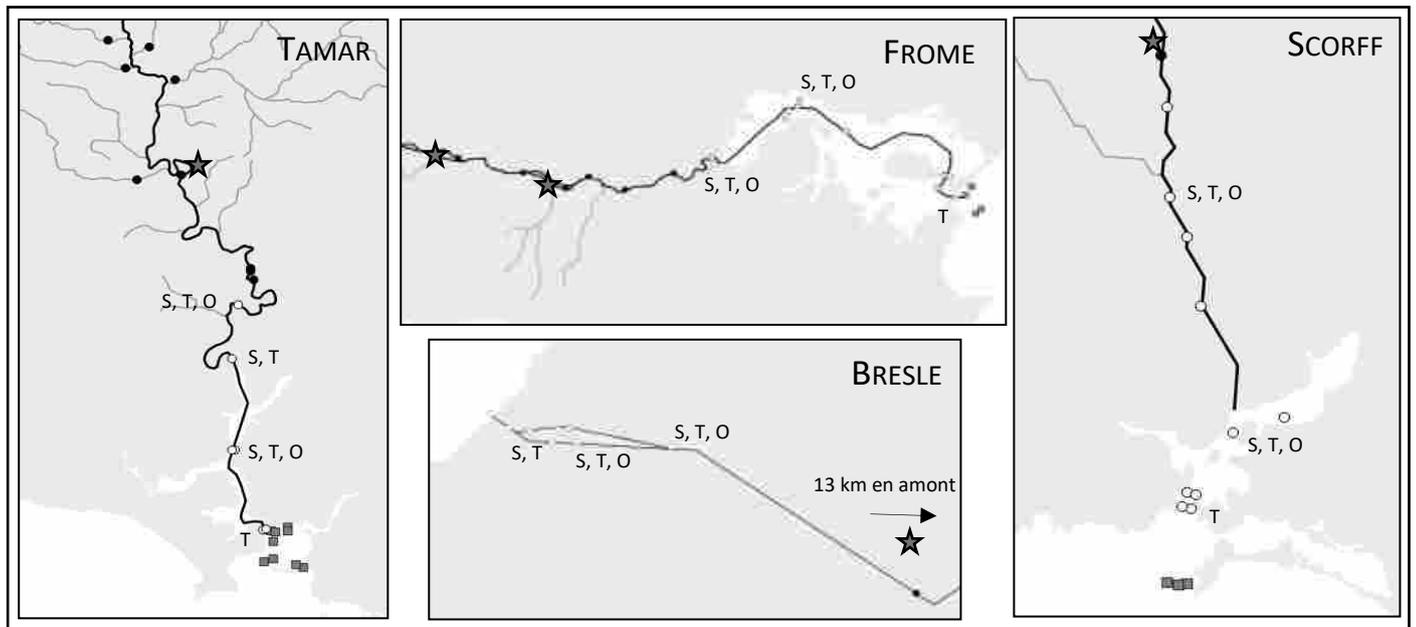


Figure 3 : Emplacement des récepteurs acoustiques VR2W fonctionnant à une fréquence de 180 kHz dans les estuaires du Tamar, de la Frome, de la Bresle et du Scorff. Les cercles noirs sont des récepteurs acoustiques situés en eau douce ; les cercles blancs sont des récepteurs situés dans les estuaires, les carrés gris représentent des récepteurs situés dans les eaux côtières et les étoiles représentent les sites de capture, de marquage et de relâché. S, T, O symbolisent respectivement la présence d'enregistreurs de salinité, de température ou d'oxygène.

2.3. SONDES ENVIRONNEMENTALES

Des enregistreurs de données environnementales ont été stratégiquement déployés à dans les estuaires pour surveiller la température, la salinité et l'oxygène dissous pendant la migration des smolts (figure 3). Une analyse de l'influence de ces paramètres sur la migration des smolts sera incluse dans le rapport final.

3. CAPTURE DES SMOLTS

Les smolts migrent vers la mer au printemps, mais il existe une légère différence dans calendrier entre les rivières. Les installations existantes de piégeage des smolts ont été utilisées dans les quatre rivières, d'où certaines différences dans les méthodes de piégeage.

3.1. CALENDRIER

Grâce aux données historiques disponibles pour toutes les rivières étudiées, la période principale de dévalaison des smolts a pu être identifiée pour les deux espèces (figure 4).

La dévalaison des smolts de truite de mer (mi-mars, début avril) atteint son pic deux à trois semaines avant celle du saumon atlantique (fin avril à mi-mai).

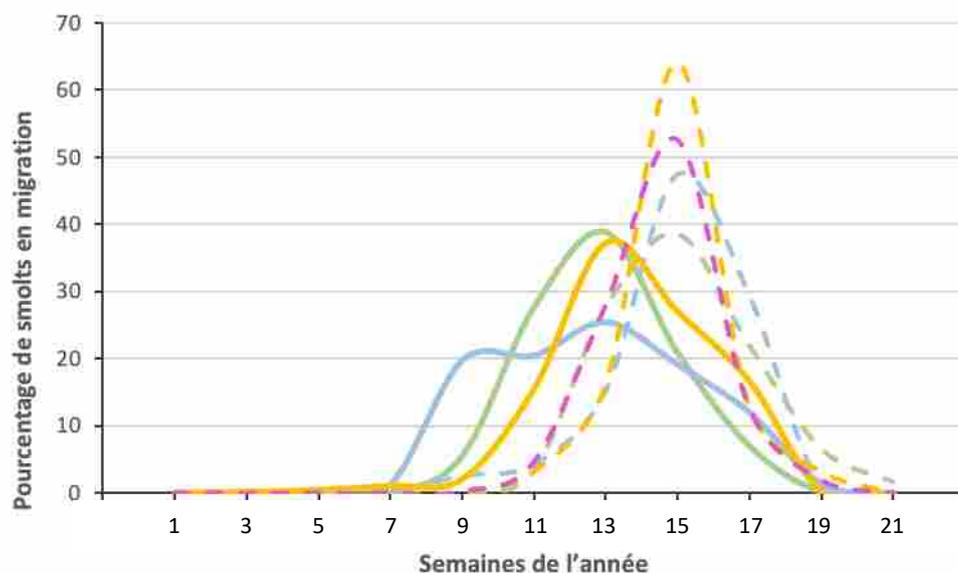


Figure 4: Période moyenne de dévalaison des smolts de truite de mer (ligne continue) et de saumon atlantique (ligne pointillée) dans les rivières Tamar (verte), Frome (bleue), Bresle (jaune) et Scorff (rose).

3.2. STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

L'objectif de l'étude sur les smolts était de marquer 60 individus par espèce, par site, en 2018 et 2019. Il n'y a pas de truite de mer dans la rivière Scorff. Le nombre total de smolts ciblés était donc de 840 individus.

Une stratégie d'échantillonnage (annexe 1) a été conçue pour qu'une seule personne puisse effectuer tout le marquage.

Pour les besoins du marquage, trois visites des quatre rivières ont été effectuées en 2018, en commençant par la Bresle, suivie du Scorff, du Tamar et de la Frome. Les smolts de truite de mer commençant à migrer avant le saumon atlantique, l'objectif de la première visite était de marquer 30 smolts de truite de mer. Lors de la deuxième visite, l'objectif était de marquer 30 smolts de truite de mer et 30 smolts de saumon atlantique. Lors de la troisième et dernière visite, les 30 saumons atlantiques restants ont été marqués. En 2019, seules deux visites ont été effectuées : lors de la première visite, l'objectif était de marquer 60 smolts de truite de mer et 60 saumons atlantiques lors de la seconde visite.

Pour garantir un impact minimal du poids de la marque, seuls les smolts de plus de 13 cm ont été marqués. Ainsi, le poids de la marque V5 (0,38 g dans l'eau) représentait moins de 2 % du poids corporel du poisson.

3.3. SYSTEMES DE PIEGEAGE

Les installations de piégeage existantes ont servi de sites de marquage (représentés par une étoile sur la figure 3). Cependant, en 2019, le site de marquage de la Frome a été déplacé de 9 km en aval pour réduire le taux de mortalité en eau douce.

Dans les rivières du Tamar et de la Frome, des pièges rotatifs (RST, figure 5A) ont été déployés chaque année vers la mi-mars pour capturer les smolts. Les pièges rotatifs fonctionnaient de nuit (de 19 h à 4 h) et étaient inspectés et vidés toutes les 30 minutes.

Dans les rivières de la Bresle et du Scorff, des pièges à grille filtrante (figure 5B) ont été installés pour piéger les smolts de nuit et ils ont été marqués le lendemain matin.



Figure 5 : Système de piégeage pour capturer les smolts de saumon atlantique et de truite de mer dans le cadre du projet SAMARCH.

A : piège rotatif dans la rivière Tamar ; B : piège à grille filtrante dans la rivière Scorff.

3.4. MARQUAGE DES INDIVIDUS

Tous les smolts capturés ont été anesthésiés par immersion dans du 2-phénoxy-éthanol au Royaume-Uni et de la benzocaïne en France. Ces smolts ont été mesurés (longueur à la fourche ± 1 mm), pesés (± 1 g) et environ 10 écailles ont été prélevées sur la partie dorso-latérale au-dessus de la ligne latérale. Les smolts ont ensuite été placés la tête en bas sur une mousse en forme de V dans un réservoir chirurgical rempli d'eau de la rivière et d'anesthésiant à concentration dissoute. Pendant la procédure de marquage, les poissons ont été oxygénés en pompant la solution anesthésique du réservoir de chirurgie directement à travers leurs branchies.

De la lidocaïne (analgésique) a été injectée dans le muscle ventral avec une seringue avant de pratiquer une incision d'environ 1 cm avec une lame de scalpel stérile. Une marque acoustique V5 et un PIT, tous deux désinfectés avec une solution antiseptique vétérinaire (Antisept, Dechra), ont ensuite été insérées dans la cavité péritonéale du poisson. Les

poissons ont été immédiatement suturés avec un point de suture en monofilament. La durée moyenne de l'intervention chirurgicale était d'une minute par poisson. Après l'opération, les poissons ont été transférés dans un bac de récupération rempli d'eau douce de la rivière où ils sont restés jusqu'à ce qu'ils soient complètement conscients. Les smolts marqués ont ensuite été relâchés dans la rivière, dans une zone calme immédiatement en aval du site de capture.

Une expérimentation de suivi de mortalité post-marquage a été menée, en appliquant la procédure de marquage ci-dessus à 40 smolts de saumon atlantique de la rivière Scorff, puis en les maintenant dans un bassin pendant 10 jours après l'opération. Aucune mortalité n'a été observée et tous les poissons étaient en bonne condition après 10 jours d'observation. Les 40 poissons ont été relâchés dans le Scorff après l'expérimentation. Par conséquent, on a supposé qu'il n'y avait pas de mortalité liée au marquage.

Toutes les procédures ont été effectuées par du personnel formé sous la licence A(SP)A (PPL 30/3277) du Home Office britannique en Angleterre et par le Comité français pour la protection des animaux en vertu de la certification officielle de l'INRA A3523843 en France.

4. ANALYSE DES ECHANTILLONS D'ÉCAILLES

Les écailles collectées ont été stockées à sec dans des enveloppes étiquetées. Elles ont ensuite été divisées en deux groupes, l'un pour l'analyse de l'âge des poissons et l'autre pour la détermination génétique du sexe.

4.1. ANALYSE DE L'ÂGE

Au fur et à mesure de la croissance du poisson, les écailles grandissent au rythme des saisons par accumulation de couches calcifiées. Le dépôt de ces couches suit un cycle temporel (croissance rapide en été, croissance lente en hiver) qui crée des « annulus » (comme les anneaux des arbres) à partir duquel les spécialistes peuvent compter le nombre de dépôts hivernaux et estivaux et ainsi, peuvent estimer l'âge des poissons.

Pour chaque poisson, cinq écailles lisibles ont été montées sur une lame afin de déterminer l'âge du poisson au microscope. Nicolas Jeannot, Ludivine Lamireau (INRAE), Quentin Josset (OFB) et Luke Scott (GWCT) ont déterminé l'âge des 835 smolts marqués dans le cadre du projet SAMARCH.

De plus, la distance entre les annulus peut informer sur le taux de croissance de l'individu. Cette analyse sera faite par Ludivine Lamireau (INRAE) plus tard dans le projet, avec un stéréomicroscope (Discovery V8, Zeiss, grossissement x63) acheté grâce au financement du projet SAMARCH. Ces données ne sont pas encore disponibles au moment de la rédaction de ce premier rapport.

4.2. DETERMINATION DU SEXE

Le deuxième groupe d'échantillons d'écaillés a été envoyé à l'université d'Exeter pour la détermination génétique du sexe. L'ADN génomique a été extrait à partir d'échantillons d'écaillés selon la méthode de Truett *et al.* (2000). Le sexage moléculaire a été entrepris à l'aide d'une réaction en chaîne par polymérase (PCR) duplex utilisant des amorces qui amplifient le gène spécifique aux mâles (Yano *et al.* 2013, King & Stevens, 2020). Les produits PCR ont été visualisés sur des gels d'agarose à 1,5 % colorés au bromure d'éthidium. Un témoin négatif (modèle à l'eau uniquement) et deux témoins positifs (ADN d'un poisson mâle connu et d'un poisson femelle connu) ont été inclus dans chaque lot d'amplifications.

L'ADN d'un petit nombre d'échantillons s'est détérioré, et l'amplification n'a pas fonctionné, mais le sexe de tous les autres poissons marqués sera déterminé d'ici fin 2020. Les résultats du sexage et l'influence du genre sur le comportement migratoire des smolts seront examinés dans le rapport final.

5. ANALYSE DE DETECTION ACOUSTIQUE

Les détections acoustiques fournissent des informations sur un certain nombre de caractéristiques comportementales des smolts marqués, telles que : la durée de la migration, la vitesse de migration, le temps passé autour d'un récepteur particulier (ci-après le temps de résidence) et le succès de la migration.

L'analyse de la migration a été effectuée à plusieurs niveaux (voir l'annexe 1 pour l'emplacement des récepteurs acoustiques) :

- Étude complète : du premier récepteur acoustique en aval du site de marquage au dernier récepteur acoustique du système
- Migration en eau douce : du premier récepteur acoustique en aval du site de marquage au récepteur acoustique situé à la limite supérieure de salinité (Calstock, E40, Canal Eu, Saint Hurchaud)
- Migration dans l'estuaire : du premier récepteur acoustique à la limite de salinité dans l'estuaire (Calstock, E40, Canal Eu, Saint Hurchaud) au récepteur acoustique à la sortie de l'estuaire (sortie du Tamar, de la Frome, de la Bresle, du Scorff)
- Migration côtière : du récepteur acoustique à la sortie de l'estuaire (sortie du Tamar, de la Frome, du Scorff) aux derniers récepteurs. Aucun récepteur n'a été installé dans la zone côtière de l'estuaire de la Bresle.

5.1. TAUX DE SUCCES MIGRATOIRE

Dans le présent rapport, le taux de succès migratoire est défini comme la proportion de poissons détectés à la limite de salinité qui ont été à nouveau repérés à la sortie de l'estuaire

et/ou dans la zone côtière. Dans le rapport final, l'inclusion de l'efficacité de la détection acoustique permettra de déterminer non seulement le taux de réussite de la migration calculé ici, mais aussi le taux de survie des smolts. Le taux de succès migratoire (%) a été calculé comme suit :

$$\text{Taux de succès migratoire} = \frac{100 * (N_{\text{sortie} \cap \text{zone côtière}})}{N}$$

Où, pour chaque année de marquage, $N_{\text{sortie} \cap \text{zone côtière}}$ est le nombre d'individus détectés à la sortie et/ou dans la zone côtière ; N est le nombre d'individus considérés dans l'analyse ; le nombre total de poissons marqués ou le nombre de poissons détectés à la limite de salinité pour le taux de succès migratoire en eau douce ou en estuaire, respectivement.

Les individus non détectés à la limite de salinité ou au-delà ont été classés comme « *jamais détectés* » et les individus détectés par un ou plusieurs récepteurs à partir de la limite de salinité, mais pas à la sortie ni dans la zone côtière ont été classés comme « *perte de détection* ». La migration des individus marqués qui ont atteint la sortie des estuaires a été qualifiés de « *réussie* ».

5.2. POURCENTAGE DE PERTE DE DETECTION PAR KILOMETRE

La perte de détection, telle que définie ci-dessus, a été calculée pour chaque estuaire et chaque année. La distance de migration a été prise en compte pour permettre une comparaison entre les sites d'étude.

$$\text{Pourcentage de perte de détection} = \frac{N_{\text{RSL}} - N_{\text{Rsortie}}}{d [\text{R}_{\text{SL}} ; \text{R}_{\text{sortie}}]} \times 100$$

où N_{RSL} est le nombre d'individus détectés sur le récepteur situé à la limite supérieure de salinité ; N_{Rsortie} le nombre d'individus détectés sur les récepteurs situés à la sortie de l'estuaire et $d [\text{R}_{\text{SL}} ; \text{R}_{\text{sortie}}]$ représente la distance entre les deux récepteurs.

Les résultats sont présentés avec un écart type (ET).

5.3. DUREE AUTOUR DE CHAQUE RECEPTEURS

La durée autour de chaque récepteur est le temps qu'un poisson a passé à proximité d'un récepteur spécifique (dans son rayon de détection de ~200 m). Pour calculer cette durée, l'heure de la dernière détection sur un récepteur (DT_f) a été soustraite de l'heure de la première détection (DT_i) sur le même récepteur :

$$\text{Durée} = DT_f - DT_i$$

Dans le présent rapport, la durée est exprimée en heures (h).

5.4. DUREE DE LA MIGRATION ESTUARIEENNE ET EN COTIERE

La durée totale de la migration des smolts, calculée en jours, a été considérée comme le temps entre la première heure de détection (DT_i) et la dernière heure de détection (DT_f) d'un individu.

$$\text{Durée de la migration} = DT_f(R_N) - DT_i(R_1)$$

Où R_1 est le premier récepteur acoustique à la limite saline et R_N le dernier récepteur acoustique dans l'estuaire et la zone côtière.

5.5. VITESSE DE MIGRATION

La vitesse de migration (km h^{-1}) a été calculée en divisant la distance la plus courte (d ; km) entre deux récepteurs par la durée (h) entre la dernière heure de détection d'un récepteur (R_N) et la première heure de détection d'un autre récepteur (R_{N+x}).

$$\text{Vitesse de migration} = \frac{d [R_N; R_{N+x}]}{DT_i(R_{N+x}) - DT_f(R_N)}$$

5.6. COMPORTEMENT MIGRATOIRE

Les détections acoustique effectuées pendant la migration des smolts ont mis en évidence des similitudes et des disparités comportementales entre les individus. Une liste des différents types de comportements migratoires observés a été dressée et, pour chacun d'eux, le pourcentage d'individus ayant présenté ce comportement a été calculé.

$$\% \text{ d'individus présentant un comportement migratoire spécifique} = \frac{N_{\text{Comportement 1}}}{N_{\text{Env}}}$$

Où $N_{\text{Comportement 1}}$ est le nombre d'individus présentant le comportement 1 et N_{Env} le nombre total d'individus détectés dans l'estuaire et/ou la zone côtière.

6. ANALYSE STATISTIQUE

Des statistiques descriptives ont été réalisées afin de comparer les variations temporelles et spatiales au sein d'une même espèce et entre les espèces. Lorsque les données suivaient une loi Normale, les moyennes ont été comparées en utilisant une anova, sinon les tests bilatéraux et unilatéraux de Wilcoxon ainsi que les tests de Kruskal et Wallis ont été effectués en utilisant la version 3.5.3 du logiciel R.

Les régressions linéaires ont été testées en utilisant un test de corrélation de Pearson où une valeur $p < 0,05$ indique une relation significative entre les variables dans le modèle de régression linéaire.

RESULTATS

1. NOMBRE DE SMOLTS MARQUES

Au total, 835 smolts ont été marqués. En 2018, l'objectif de marquage de 60 saumons atlantiques n'a pas été atteint dans la Frome et la Bresle, ce manque a été compensé par le marquage de plus de saumon atlantique en 2019 (tableau 1).

Tableau 1: Nombre de saumons atlantiques et de truites de mer marqués dans les quatre rivières autour de la Manche en 2018 et 2019

	TRUITE DE MER				SAUMON ATLANTIQUE					TOTAL
	TAMAR	FROME	BRESLE	TOTAL	TAMAR	FROME	BRESLE	SCORFF	TOTAL	
2018	60	60	60	180	59	35	53	60	207	387
2019	60	59	60	180	60	85	64	60	269	451
TOTAL	120	119	120	359	119	120	117	120	476	835

2. TAUX DE SUCCES MIGRATOIRE ET PERTE DE DETECTION

Comme mentionné ci-dessus, les résultats relatifs au taux de succès migratoire et aux pertes de détection présentés dans le présent rapport ont été calculés à partir des données de détection brutes. Les taux de survie et de mortalité seront évalués dans le rapport final.

2.1. TAUX DE REUSSITE DE LA MIGRATION EN EAU DOUCE ET PERTE DE DETECTION

Certains des smolts marqués n'ont été détectés sur aucun des récepteurs en eau douce, en estuaire et en zone côtière. Cela pourrait être dû à une perte de détection entre le site de marquage et le premier récepteur acoustique, qui pourrait être liée à l'interruption de la migration ou à la perte/la défaillance de la marque acoustique.

Les détections sur les antennes PIT stationnaires dans la Frome et la Bresle permettront de déterminer si cela était dû à la perte/défaillance de la marque. Ces informations seront prises en compte dans le rapport final lors de la réévaluation du taux de réussite des migrations présenté dans cette étude.

De même, l'efficacité de la détection acoustique n'a pas encore été évaluée, aussi ce rapport présente la perte de détection et non la mortalité des individus marqués. Là encore, les informations actualisées seront intégrées dans le rapport final.

En 2018, le pourcentage de smolts de truite de mer non détectés dans l'estuaire était de 25 % dans la Frome, 18 % dans la Bresle et 2 % dans le Tamar. Ce pourcentage était plus faible en 2019 avec 10 % dans la Frome, 5 % dans la Bresle et 2 % dans le Tamar (figure 6).

Le pourcentage de smolts de saumon atlantique non détectés dans l'estuaire était généralement plus élevé que pour la truite de mer. En 2018, le pourcentage de smolts de saumon atlantique non détectés dans l'estuaire était de 31 % dans la Frome, 24 % dans la Bresle, 8 % dans le Tamar et moins de 2 % dans le Scorff. En 2019, le site de marquage dans la rivière Frome a été déplacé de 9 km en aval pour réduire le taux de perte en eau douce et seulement 6 % des saumons atlantiques marqués n'ont pas été détectés dans l'estuaire de la Frome (figure 7). Sur les autres sites d'étude, le pourcentage de smolts de saumon atlantique non détectés dans l'estuaire en 2019 était de 13 % dans le Tamar, 7 % dans la Bresle et 2 % dans l'estuaire du Scorff.

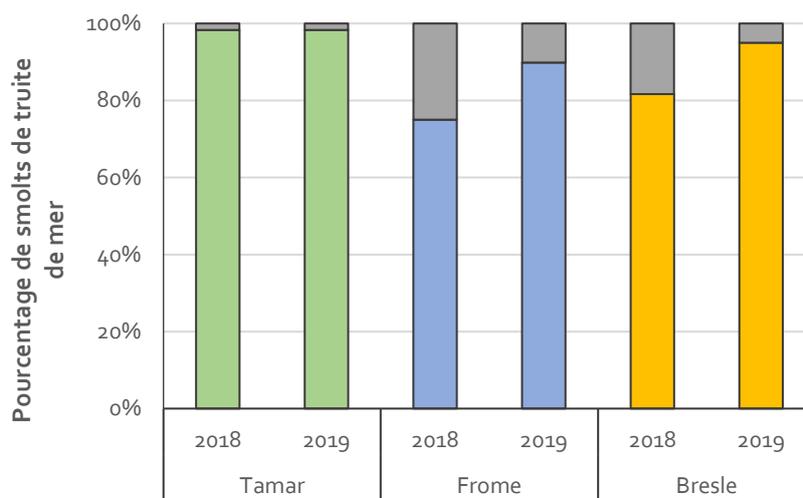


Figure 6 : Truite de mer *Salmo trutta* – Taux de succès migratoire en eau douce des smolts de truite de mer marqués avec des marques V5 dans trois rivières en 2018 et 2019. Gris : smolts qui n'ont pas été détectés dans l'estuaire ; vert, bleu, jaune : smolts qui ont été détectés dans les estuaires du Tamar, de la Frome et de la Bresle, respectivement.

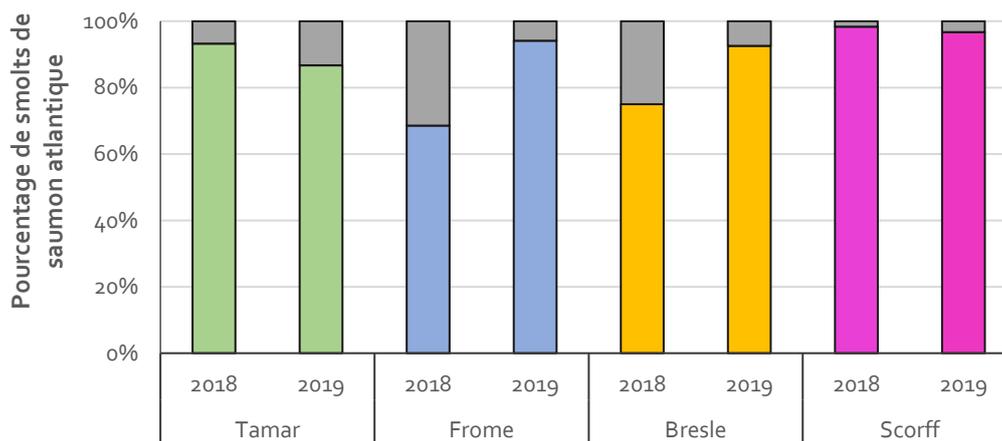


Figure 7 : Saumon atlantique *Salmo salar* – Taux de succès migratoire en eau douce des smolts de saumon atlantique marqués avec des marques V5 dans trois rivières en 2018 et 2019. Gris : smolts qui n'ont jamais été détectés dans l'estuaire ; vert, bleu, jaune et rose : smolts qui ont été détectés dans les estuaires du Tamar, de la Frome, de la Bresle et du Scorff, respectivement.

Le nombre de smolts de truite de mer et de saumon atlantique détectés dans les estuaires et étant pris en compte pour le calcul de la vitesse de migration, du comportement migratoire, du taux de réussite de la migration et du taux de perte dans les estuaires est indiqué dans le tableau 2.

Tableau 2: Nombre de smolts de truite de mer et de saumon atlantique inclus dans l'analyse pour les eaux de transition et les eaux côtières en 2018 et 2019.

	TRUITE DE MER				SAUMON ATLANTIQUE					
	TAMAR	FROME	BRESLE	TOTAL	TAMAR	FROME	BRESLE	SCORFF	TOTAL	TOTAL
2018	59	45	49	153	55	24	40	59	178	331
2019	59	53	57	169	52	80	57	58	247	416
TOTAL	118	98	106	322	107	104	97	117	425	747

2.2. TAUX DE SUCCES MIGRATOIRE ET PERTE DE DETECTION DANS LES ESTUAIRES

Le taux de succès migratoire en estuaire des smolts varie spatialement et entre les espèces, mais reste relativement constant d'une année à l'autre (figures 8 et 9).

Le taux de succès migratoire en estuaire était plus élevé pour les smolts de truite de mer que pour les smolts de saumon atlantique au cours des deux années (figures 8 et 9).

Tant en 2018 qu'en 2019, les smolts de truite de mer ont présenté le taux de réussite migratoire le plus élevé dans l'estuaire du Tamar (98 %), suivi de 92 % dans l'estuaire de la Bresle, tandis que le taux de réussite migratoire le plus faible a été enregistré dans l'estuaire de la Frome (78 %, figure 8).

Le taux de succès migratoire des smolts de saumon atlantique était variable d'une année à l'autre, sauf dans l'estuaire du Scorff où il est resté constant (85 %). En moyenne, le taux de succès migratoire estuarienne du saumon atlantique était de 95 % dans la Bresle, 89 % dans le Tamar, et seulement 71 % dans la Frome (figure 9).

2.3. POURCENTAGE DE PERTE DE DETECTION PAR KILOMETRE EN ESTUAIRES

La longueur des estuaires étudiés étant variable, les pourcentages de perte de détection d'individus par kilomètre a été calculés pour chaque estuaire afin de permettre une comparaison à la même échelle spatiale.

Le pourcentage de perte de détection par kilomètre le plus élevé a été enregistré dans l'estuaire de la Bresle pour les smolts de truite de mer ($5,2 \pm 5,5$ %) et les smolts de saumon

atlantique ($5,6 \pm 9,3 \%$). L'estuaire de la Frome présentait le deuxième pourcentage de perte de détection par kilomètre le plus élevé, avec $1,7 \pm 2,3 \%$ pour le saumon atlantique et $0,8 \pm 0,8 \%$ pour la truite de mer. Dans l'estuaire du Scorff, le taux de perte de détection était de $1 \pm 0,9 \%$ par kilomètre pour les smolts de saumon atlantique et le Tamar présentait le taux de perte de détection le plus faible pour les smolts de truite de mer ($0,1 \pm 0,1 \%$) et les smolts de saumon atlantique ($0,4 \pm 0,6 \%$, tableau 3).

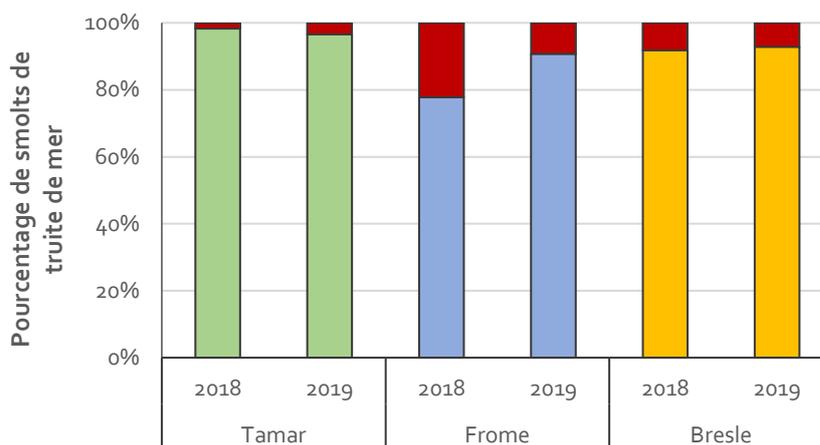


Figure 8: Truite de mer *Salmo trutta* – Taux de succès migratoire en estuaire des smolts marqués avec des marques V5 dans trois rivières en 2018 et 2019. Rouge : smolts dont la détection a été perdue dans l'estuaire ; vert, bleu, jaune : smolts qui ont été détectés à la sortie des estuaires du Tamar, de la Frome et de la Bresle, respectivement.

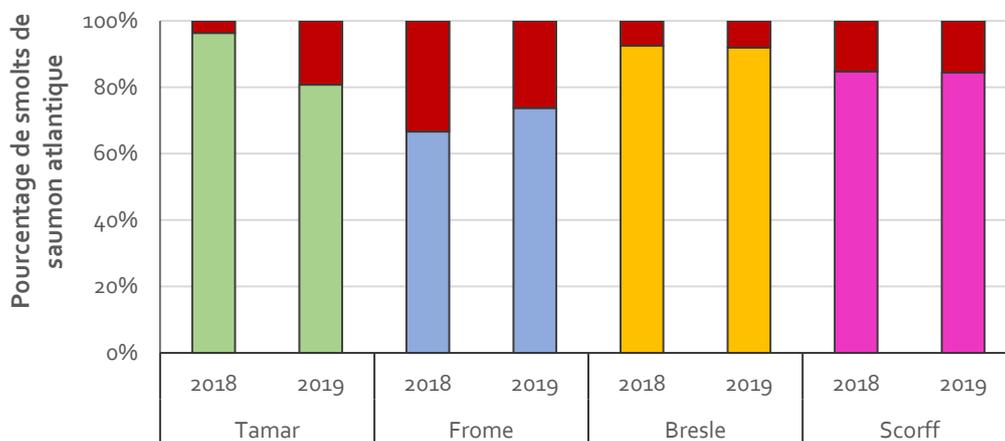


Figure 9 : Saumon atlantique *Salmo salar* – Taux de succès migratoire dans les estuaires des smolts de saumon atlantique marqués avec des marques V5 dans trois rivières en 2018 et 2019. Rouge : smolts dont la détection a été perdue dans l'estuaire ; vert, bleu, jaune et rose : smolts qui ont été détectés à la sortie de l'estuaire du Tamar, de la Frome, de la Bresle et du Scorff, respectivement.

Tableau 3: Pourcentage de perte de détection par kilomètre d'estuaire avec écart type des smolts de truite de mer et de saumon atlantique. Le total représente la moyenne des deux années d'échantillonnage.

TRUITE DE MER			SAUMON ATLANTIQUE			
TAMAR	FROME	BRESLE	TAMAR	FROME	BRESLE	SCORFF

2018	$0,06 \pm 0,11$	$1,09 \pm 0,96$	$5,50 \pm 6,36$	$0,16 \pm 0,14$	$1,58 \pm 1,54$	$7,98 \pm 13,02$	$0,94 \pm 0,53$
2019	$0,08 \pm 0,13$	$0,57 \pm 0,76$	$4,85 \pm 5,60$	$0,87 \pm 0,76$	$1,83 \pm 2,80$	$3,17 \pm 4,35$	$0,79 \pm 1,14$
TOTAL	$0,07 \pm 0,11$	$0,77 \pm 0,80$	$5,18 \pm 5,56$	$0,39 \pm 0,58$	$1,74 \pm 2,27$	$5,57 \pm 9,35$	$0,97 \pm 0,87$

2.4. VARIATION SPATIALE DE LA PERTE DE DETECTION DANS LES ESTUAIRES

Les taux de perte de détection étaient répartis uniformément le long des estuaires et aucune zone spécifique présentant un taux de perte élevé n'a été enregistrée (figure 10). Toutes les régressions linéaires étaient significatives (test de Pearson, $p < 0,05$) sauf pour les smolts de truite de mer dans l'estuaire du Tamar en 2018 (test de Pearson, $p > 0,05$).

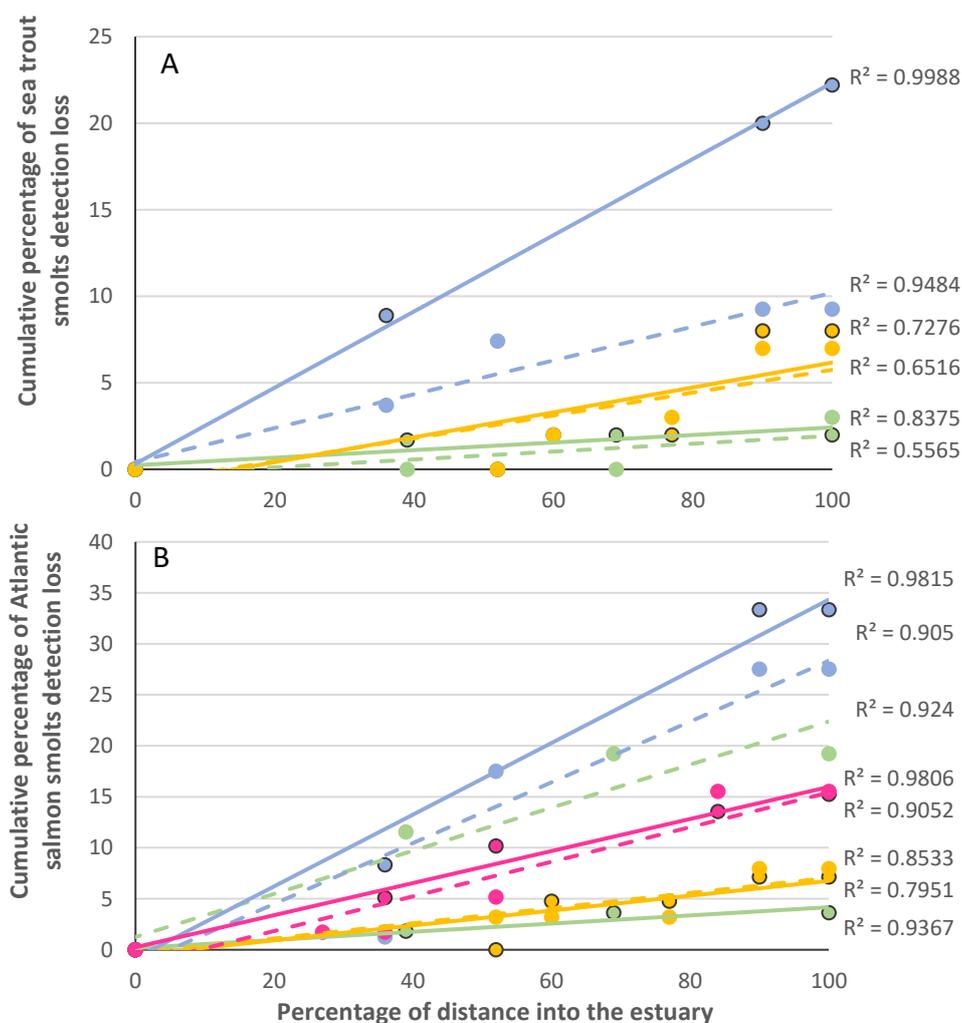


Figure 10 : Pourcentage cumulé de perte de détection de smolts de (A) truite de mer et (B) de saumon atlantique le long des estuaires du Tamar (vert), de la Frome (bleu), de la Bresle (jaune) et du Scorff (rose) en 2018 (ligne continue, cercles à bordure noire) et 2019 (lignes pointillées)

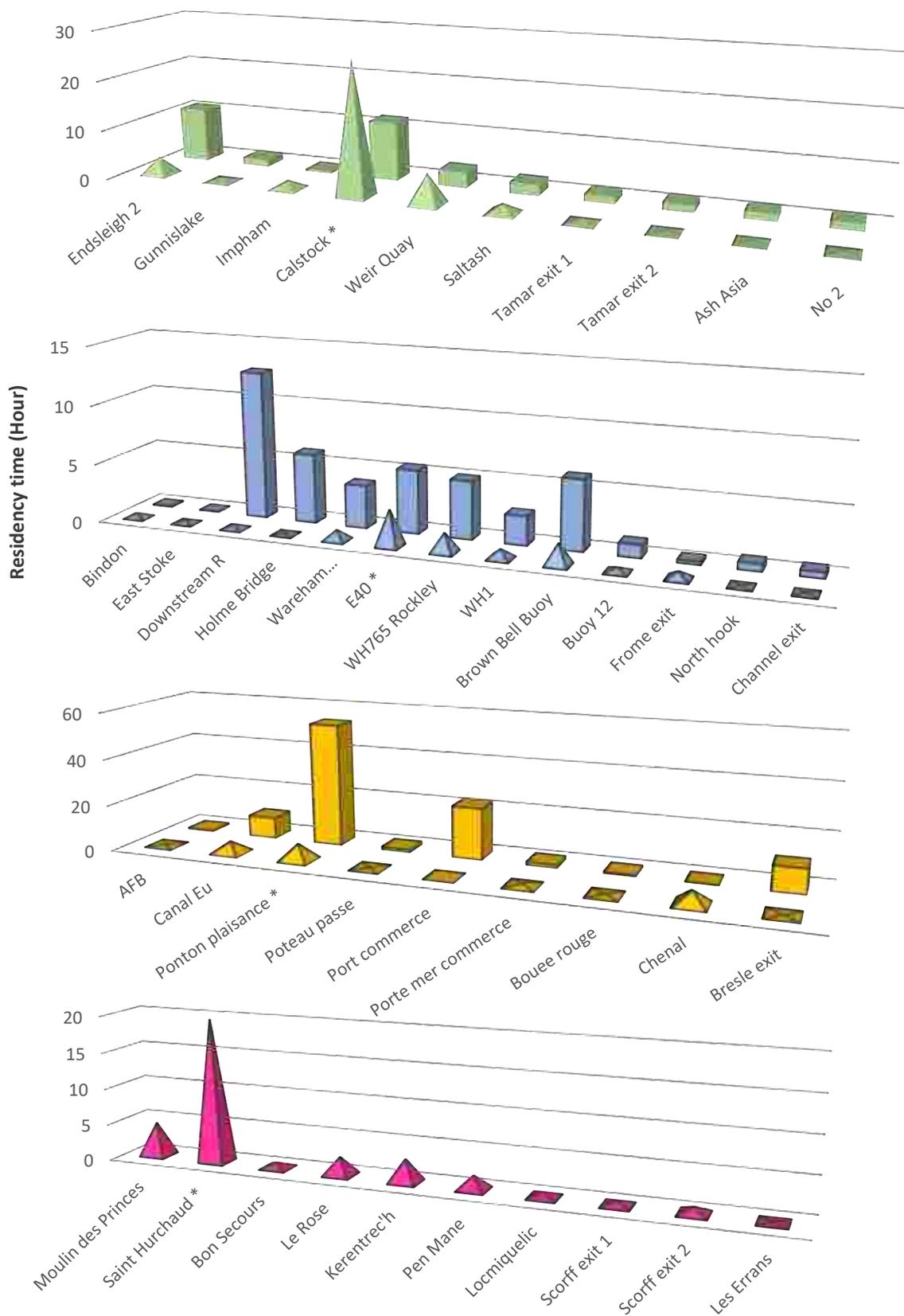


Figure 11 : Durée pendant laquelle des smolts de truite de mer (barres) et de saumon atlantique (cônes) ont été détectés autour de récepteurs acoustiques déployés dans l'estuaire du Tamar (vert), de la Frome (bleu), de la Bresle (jaune) et du Scorff (rose). * : récepteurs acoustiques situés à la limite de salinité supérieure de l'estuaire

3. DUREE ET PERIODE MIGRATOIRE DES SMOLTS

3.1. DUREE AUTOUR DES RECEPTEURS

Au cours de ces deux années, les smolts des deux espèces ont passé plus de temps autour des récepteurs spécifiques des sites d'étude (figure 11).

Les données ont mis en évidence plusieurs tendances :

- Les smolts ont passé plus de temps autour des récepteurs situés à la limite de salinité : Calstock (Tamar), E40 (Frome) et Saint Hurchaud (Scorff).
- Les deux espèces, mais surtout la truite de mer, ont passé plus de temps dans les zones où il y avait une barrière physique : Ponton plaisance et Port de commerce (Bresle).
- Lorsque le récepteur acoustique le plus en amont était situé très près du site de marquage, les smolts y étaient également détectés plus longtemps : Endsleigh 2 (Tamar, 300 m du site de libération), Moulin des Princes (Scorff, 250 m du site de libération), Downstream Riverlab (Frome, 300 m du site de libération).

3.2. DUREE ET PERIODE MIGRATOIRE DES SMOLTS EN ESTUAIRE ET EAUX COTIERES

L'un des principaux résultats du projet de suivi des smolts a été que les smolts marqués ont migré rapidement à travers les estuaires, passant en moyenne 2 ± 4 jours dans les estuaires (tableau 4).

Dans les estuaires de la Frome et de la Bresle, les smolts de truite de mer ont passé beaucoup plus de temps dans l'estuaire que les smolts de saumon atlantique (test unilatéral de Wilcoxon, $p < 0,05$). On a observé une tendance inverse entre les espèces dans le Tamar en 2019, où les smolts de saumon atlantique ont passé plus de temps dans l'estuaire que les smolts de truite de mer (test unilatéral de Wilcoxon, $p < 0,05$), mais il n'y a pas eu de différence significative en 2018 (test bilatéral de Wilcoxon, $p > 0,05$).

Tableau 4: Durée moyenne et écart type (jours) que les smolts de truite de mer et de saumon atlantique ont passée dans les estuaires de la Manche en 2018 et 2019

	TRUITE DE MER			SAUMON ATLANTIQUE			
	TAMAR	FROME	BRESLE	TAMAR	FROME	BRESLE	SCORFF
2018	2,4 ± 3,6	6,3 ± 11,0	3,1 ± 5,5	1,8 ± 0,5	1,7 ± 0,9	0,5 ± 0,8	1,2 ± 0,8
2019	1,6 ± 0,8	3,4 ± 4,4	3,6 ± 6,3	3,1 ± 1,4	1,3 ± 0,8	0,6 ± 2,3	1,3 ± 0,8
TOTAL	2,0 ± 2,6	4,7 ± 8,0	3,4 ± 5,9	2,4 ± 1,2	1,4 ± 0,8	0,6 ± 1,9	1,2 ± 0,8

Dans les estuaires où des récepteurs acoustiques ont été déployés en zones côtières (Tamar et Frome), les smolts de truite de mer ont passé beaucoup plus de temps dans la zone côtière que les smolts de saumon atlantique (test unilatéral de Wilcoxon, $p < 0,05$ tableau 5).

Tableau 5: Durée moyenne et écart type (jours) que les smolts de truite de mer et de saumon atlantique ont passée dans la zone côtière de l'estuaire du Tamar et de la Frome en 2018 et 2019

	TRUITE DE MER		SAUMON ATLANTIQUE	
	TAMAR	FROME	TAMAR	FROME
2018	4,4 ± 8,4	6,8 ± 18,0	0,1 ± 0,2	0,3 ± 0,5
2019	1,5 ± 2,8	4,4 ± 10,4	0,1 ± 0,2	0,1 ± 0,4
TOTAL	3,0 ± 6,4	5,4 ± 14,0	0,1 ± 0,2	0,2 ± 0,4

Les smolts de truite de mer du Frome ont passé en moyenne 10 jours à transiter dans l'estuaire et la zone côtière, tandis que les truites de mer du Tamar ont passé en moyenne cinq jours dans cette zone (tableaux 4 et 5). Certains smolts de truite de mer du Frome ont été détectés dans cette zone pendant une période allant jusqu'à trois mois.

En appliquant les temps de transition observés en eau douce, zones estuariennes et côtières aux données historique de piégeage des smolts en rivière (figure 4), il a été possible d'estimer la présence des populations de smolts de truite de mer et de saumon atlantique dans les estuaires et les zones côtières sur les quatre sites d'étude (figure 12). Ce calcul a été effectué en deux phases :

- Calcul du temps de transition observé pour chaque espèce de smolt entre le site de marquage en rivière et la limite saline. Cette période de transition a ensuite été ajoutée aux périodes d'observation des smolts sur le site de piégeage historique localisés en rivière pour estimer le moment où le smolt est entré dans l'estuaire.
- La durée moyenne que les smolts de chaque espèce ont passé en estuaire et zone côtière a ensuite été utilisée comme mesure du temps qu'ils restent dans cet habitat, par exemple si la durée passée en estuaire et zone côtière a été de deux semaines, alors cette durée sera reportée à leur date et heure d'arrivée en estuaire.

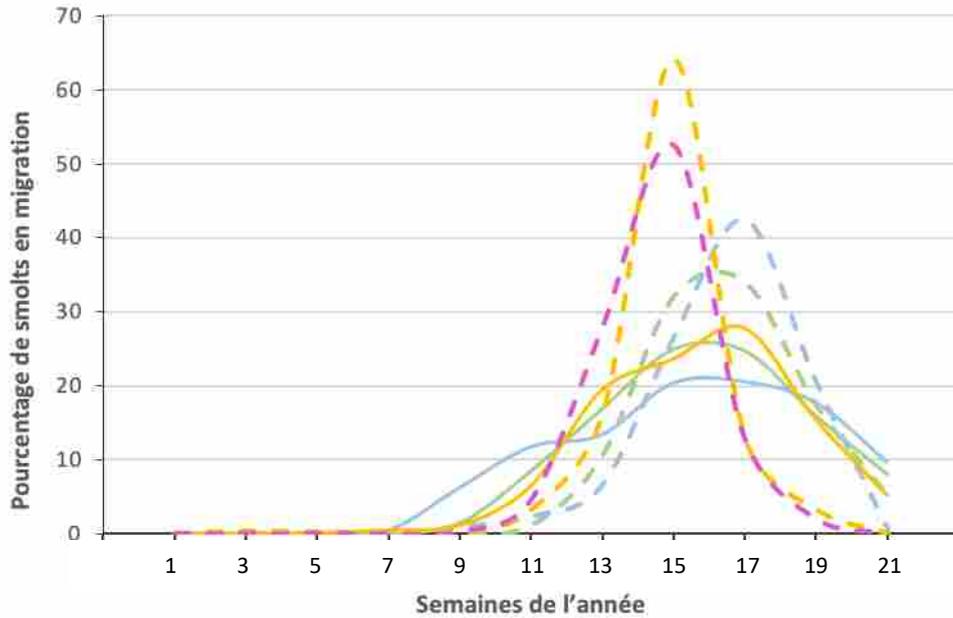


Figure 12: Estimation de la période de présence des smolts de truite de mer (ligne continue) et de saumon atlantique (ligne pointillée) dans les eaux de transition et les eaux côtières du Tamar (vert), de la Frome (bleu), de la Bresle (jaune) et du Scorff (rose).

D'après les périodes d'observations des smolts en rivière et les temps de transition, les deux espèces sont présentes au même moment (sans pic distinct) en estuaire à contrario des observations faites en eau douce (Figure 4). Les deux espèces seraient présentes en même temps dans tous les estuaires, entre la deuxième semaine de mars et l'avant-dernière semaine de mai de chaque année (figure 12). Si l'on compare les figures 4 et 12, les courbes de durée de présence des smolts de saumon atlantique sont très similaires en eau douce et en estuaire, car leur période de transition dans les eaux estuariennes et côtières est courte (tableau 7 et 8). Cependant, les courbes de période de présence des smolts de truite de mer dans les estuaires et les eaux côtières ont été aplaties et élargies par rapport à leur présence en eau douce en raison de leur temps de transition plus long dans ces environnements (tableau 7 et 8).

4. VITESSE DE MIGRATION

La vitesse moyenne de migration estuarienne des smolts de truite de mer était de $1,2 \pm 0,7 \text{ km h}^{-1}$. Leur vitesse de migration a très peu varié d'une année à l'autre (test de Wilcoxon, $p > 0,05$). Toutefois, une différence significative a été relevée entre les sites (test de Wilcoxon, $p < 0,05$; figure 13). Les smolts de truite de mer du Tamar ont présenté la vitesse de migration la plus élevée ($1,7 \pm 0,5 \text{ km h}^{-1}$) et les smolts de truite de mer de la Bresle, la plus faible ($0,7 \pm 0,8 \text{ km h}^{-1}$).

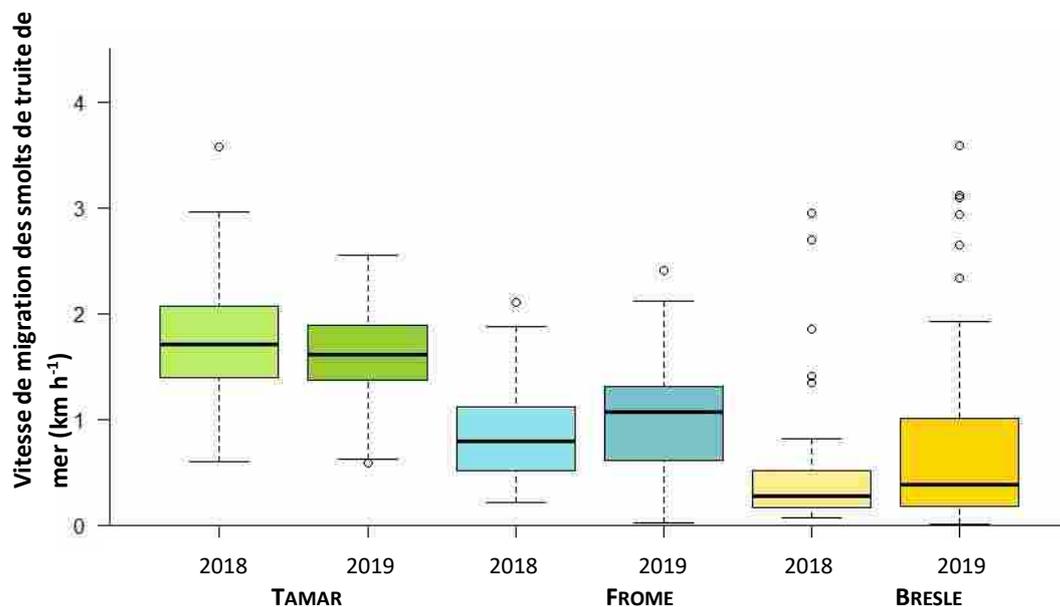


Figure 13 : Vitesse de migration en estuaire (km h^{-1}) des smolts de truite de mer en 2018 et 2019 dans les estuaires du Tamar, de la Frome et de la Bresle

La vitesse moyenne de migration estuarienne des smolts de saumon atlantique était de $1,6 \pm 1,0 \text{ km h}^{-1}$ (Figure 14). Une différence significative entre les sites (test de Wilcoxon, $p < 0,05$) et une variation interannuelle importante a été constaté dans les estuaires de la Bresle et du Scorff (test de Wilcoxon, $p < 0,05$), mais pas dans les estuaires du Tamar et de la Frome (test de Wilcoxon, $p > 0,05$). Comme pour les smolts de truite de mer, les smolts de saumon atlantique ont présenté la vitesse de migration la plus rapide dans l'estuaire du Tamar ($1,8 \pm 0,6 \text{ km h}^{-1}$) et la vitesse de migration la plus lente dans l'estuaire de la Bresle ($1,0 \pm 1,0 \text{ km h}^{-1}$).

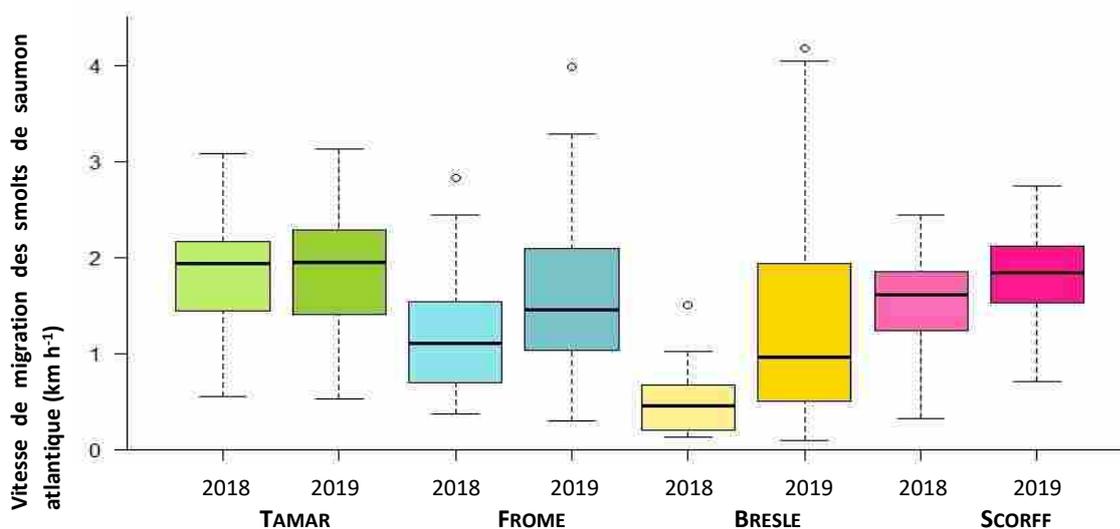


Figure 14 : Vitesse de migration en estuaire (km h^{-1}) des saumons atlantiques en 2018 et 2019 dans l'estuaire du Tamar, de la Frome, de la Bresle et du Scorff

La vitesse de migration en estuaire des smolts de saumon atlantique était significativement plus rapide que celle des smolts de truite de mer (test unilatéral de Wilcoxon, $p < 0,05$).

La vitesse de migration des smolts varie selon l'environnement. La vitesse de migration des smolts de truite de mer dans les rivières Frome et Bresle était plus rapide en eau douce que dans l'estuaire (test unilatéral de Wilcoxon, $p < 0,05$; figure 15). C'était le contraire dans la Tamar où la vitesse de migration des smolts de saumon atlantique était significativement plus élevée dans la zone côtière qu'en eau douce (test de Wilcoxon unilatéral, $p < 0,05$; figure 16).

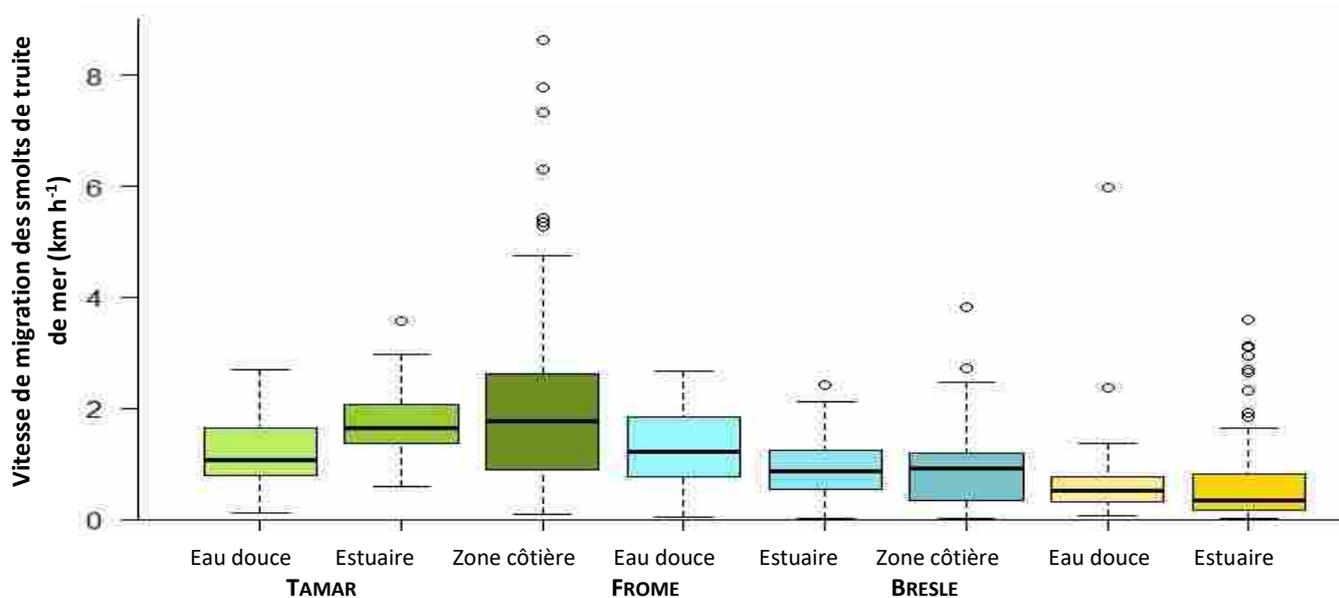


Figure 15 : Vitesse de migration des smolts de truite de mer en eau douce, dans les estuaires et les eaux côtières du Tamar, de la Frome, de la Bresle et du Scorff, données de 2018 et 2019 combinées

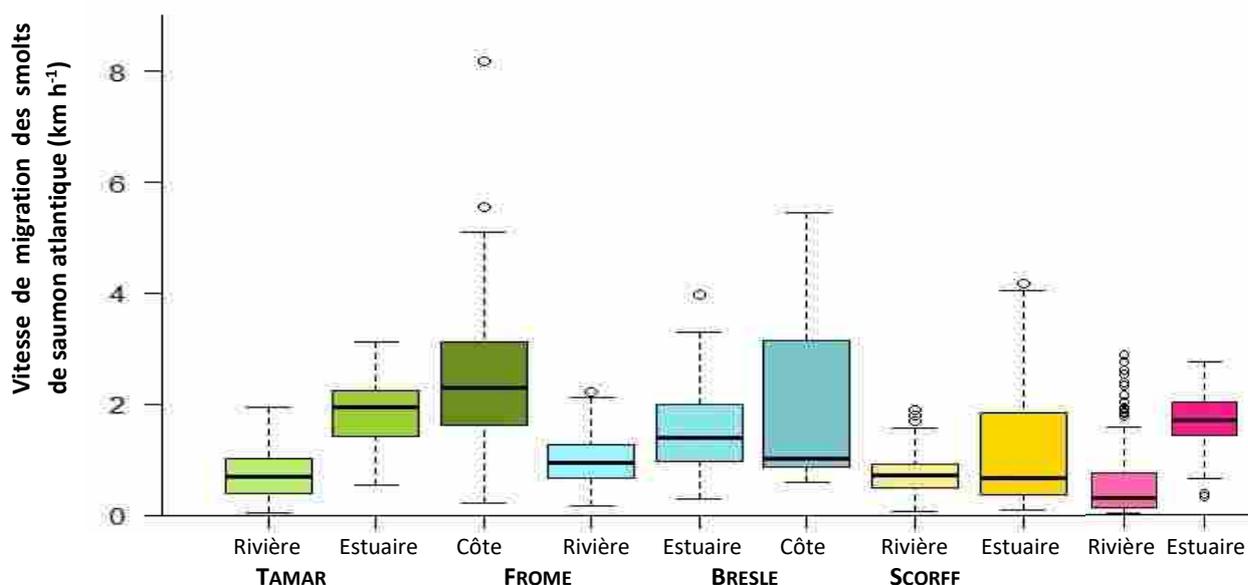


Figure 16 : Vitesse de migration des smolts de saumon atlantique en eau douce, dans le milieu estuarien et côtier du Tamar, de la Frome, de la Bresle et du Scorff, données de 2018 et 2019 combinées

5. COMPORTEMENT MIGRATOIRE

Le comportement migratoire des smolts varie selon l'espèce ainsi que temporellement, mais cette étude a mis en évidence des schémas cohérents propres à chaque espèce.

La dévalaison de la plupart des smolts était unidirectionnelle, malgré que certains individus oscillaient entre deux ou trois récepteurs avant de reprendre une migration unidirectionnelle. En 2019, dans l'estuaire du Scorff, l'« oscillation » est devenue le comportement dominant et a été relevée chez 81 % des individus (tableau 6).

En estuaire et zone côtière, certains individus ont été détectés sur plusieurs récepteurs sans direction précise, le terme « *s'attarder* » a été utilisé pour décrire ce comportement.

La dévalaison des saumons atlantiques dans les estuaires a été généralement directe ; cependant, 35 % des saumons atlantiques semblaient « s'attarder » autour de la zone WH765 Rockley dans l'estuaire de la Frome avant de continuer vers la sortie de l'estuaire (tableau 6).

Parmi les smolts de truite de mer qui « *s'attardaient* » en estuaires, 75 % ont présenté ce comportement uniquement pendant leur dévalaison. Une petite proportion de smolts de truite de mer (5 à 10 %) a été observée autour des récepteurs côtiers à la fin du mois d'avril. Ainsi, ils ne se sont pas trop éloignés après être sortis de l'estuaire.

Environ 5 % des smolts de truites de mer se sont « attardés » dans l'estuaire lors de leur migration de retour, ainsi les truites de mer utilisent des eaux de transition lors de leur dévalaison mais également lors de la montaison. (Tableau 6).

La majorité des smolts détectés à la sortie des estuaires ont continué leur migration vers les eaux côtières ou la mer (sortie directe), cependant jusqu'à 22 % des smolts de truite de mer dans la Frome ont été détectés de retour dans l'estuaire peu après avoir été détectés à la sortie de l'estuaire.

Dans les estuaires offrant plusieurs options de routes migratoire, comme dans la baie de Plymouth (Tamar), 40 % des smolts de truite de mer ont suivi la route légèrement plus longue du chenal principal (zone plus profonde) tandis que 90 % des smolts de saumon atlantique ont pris le chemin le plus court (tableau 6).

Enfin, les détections acoustiques sur les récepteurs côtiers ont fourni des informations sur le chemin emprunté par les smolts immédiatement après avoir quitté l'estuaire. Les détections de smolts de truite de mer étaient réparties de manière égale sur les récepteurs ouest et est, alors que la plupart des smolts de saumon atlantique ont été détectés sur les récepteurs ouest, sauf en 2018 dans l'estuaire de la Frome (tableau 6).

Tableau 6 : Pourcentage de smolts de truite de mer et de saumon atlantique présentant un comportement migratoire spécifique. Voir le texte pour la définition du comportement migratoire. Les chiffres entre parenthèses correspondent potentiellement à un comportement de prédateur des smolts.

TRUITE DE MER

SAUMON ATLANTIQUE

	TAMAR		FROME		BRESLE		TAMAR		FROME		BRESLE		SCORFF	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Migration unidirectionnelle	88	100	88	87	86	92	73	94	100	95	93	100	88	19
Migration oscillatoire	12	0	12	13	14	8	27	6	0	5	7	0	12	81
S'attarde dans l'estuaire	38	24	37	61	8	0	0	0	37	32	5	0	(2)	0
<i>Sortie</i>	22	17	31	44	8	-	-	-	37	32	5	-	(2)	-
<i>Retour</i>	8	5	4	0	0	-	-	-	0	0	0	-	-	-
<i>Entre les deux</i>	8	2	2	17	0	-	-	-	0	0	0	-	-	-
Sort directement	61	76	40	39	77	100	94	96	63	99	93	98	98	100
Sort puis revient	0	0	9	22	8	0	0	0	0	1	5	0	(2)	0
Suit le chenal principal	39	39	-	44	-	-	7	12	-	54	-	-	-	-
Direction suivie après la sortie														
<i>Vers l'ouest</i>	19	20	24	20	-	-	42	37	4	19	-	-	-	-
<i>Vers l'est</i>	25	36	13	15	-	-	13	8	17	1	-	-	3	3
<i>Vers l'ouest et l'est</i>	24	36	11	19	-	-	5	0	0	3	-	-	-	-
Aucune détection après la sortie	32	8	52	46	-	-	40	55	79	77	-	-	97	97

DISCUSSION

1. TAUX DE SUCCES MIGRATOIRE EN ESTUAIRE

À ce stade de l'étude, les taux de succès migratoire rapportés sont basés sur les détections acoustiques et pas encore sur l'estimation de la mortalité. Des comparaisons avec les résultats d'autres études seront effectuées dans le rapport final lorsque les taux de mortalité seront disponibles.

Parmi les smolts marqués, 75 à 98 % des 360 truites de mer et 70 à 90 % des 476 saumons atlantiques ont été détectés à la sortie des estuaires entrant dans l'environnement marin. En ne considérant que les individus détectés à l'entrée de l'estuaire, le taux de réussite de la migration était de 97,5 % dans le Tamar, 84 % dans la Frome et 87 % dans la Bresle pour les smolts de truite de mer et de 88,5 % dans le Tamar, 75 % dans la Frome, 89 % dans la Bresle et 84,5 % dans le Scorff pour les smolts de saumon atlantique.

Cette analyse préliminaire a permis d'identifier les variations annuelles et spatiales du succès migratoire. Le rapport final analysera la relation entre les paramètres environnementaux tels que la température, le débit d'eau, la concentration en oxygène et les caractéristiques physiques de l'estuaire parmi les plus influents sur le succès de la migration estuarienne des smolts.

2. POURCENTAGE DE PERTE DE DETECTION DE SMOLTS PAR KILOMETRE EN ESTUAIRES

Dans les quatre estuaires, les pertes de détection enregistrées par kilomètre variaient de <0,1 à 5,2 % pour les smolts de truite de mer et de 0,4 à 5,6 % pour les smolts de saumon atlantique. La plus faible perte de détection par kilomètre a été enregistrée dans la Tamar pour la truite de mer et le saumon atlantique, tandis que la plus forte a été enregistrée dans la Bresle pour les deux espèces également. Les analyses finales intégreront des variables biotiques et abiotiques afin d'élucider certains des facteurs contribuant à ces différences observées.

Pouvoir distinguer les paramètres clés (estuaire ouvert vs fermé, rivière calcaire...) influençant la dévalaison des smolts de salmonidés dans les estuaires étudiés pourrait permettre de construire des indices transférables aux autres estuaires de la Manche. Par exemple, dans la Bresle, le pourcentage de perte de smolts par kilomètre était jusqu'à cinq fois plus élevé que la perte observée sur les autres sites. Le degré élevé d'artificialisation des berges et le grand nombre d'écluses qui créent une barrière physique, ainsi qu'un gradient de salinité spatialement condensé pourraient être des paramètres importants expliquant le taux de perte des smolts. Cette question sera étudiée de manière approfondie dans le cadre d'une analyse à plusieurs variables qui intègre les quatre estuaires et les paramètres étudiés.

3. DUREE ET PERIODE DE LA DEVALAISON DES SMOLTS DANS LES ESTUAIRES

La présence de smolts dans les estuaires s'est échelonnée de la semaine 11 à la semaine 20 au cours des deux années de l'étude (figure 12). Les smolts de truite de mer ont été observés avant les smolts de saumon atlantique dans les estuaires, car ils commencent leur dévalaison plus tôt. Cependant, du fait de leur plus longue période de transition estuarienne par rapport aux smolts de saumon atlantique, les deux espèces sont présentes dans les estuaires pendant la même période.

4. CARACTERISTIQUE DE LA MIGRATION ESTUARIENNE DES SMOLTS DE TRUITE DE MER ET DE SAUMON ATLANTIQUE

La vitesse moyenne de migration estuarienne des smolts de truite de mer et de saumon atlantique était respectivement de 1,1 et 1,6 km h⁻¹, soit l'équivalent de 26 et 38 km jour⁻¹. Cette vitesse est plus rapide que la vitesse moyenne observée par Lauridsen *et al.* (2017) dans l'estuaire de la Frome où des smolts de truite de mer ont été signalés comme migrant à 10 km jour⁻¹ et par Chaput *et al.* (2019) dans plusieurs estuaires canadiens où la vitesse moyenne de migration observée pour les smolts de saumon atlantique était de 13,5 km jour⁻¹. Toutefois, les vitesses de migration enregistrées se situaient dans la fourchette observée dans d'autres études: Aarestrup *et al.* (2014) ont relevé des vitesses de migration allant jusqu'à 36,8 km jour⁻¹ pour les smolts de truite de mer et Newton *et al.* (2018) ont relevé des vitesses de migration allant jusqu'à 52 km jour⁻¹ pour les smolts de saumon atlantique. La vitesse de migration des smolts de truite de mer diminuait généralement à l'entrée de l'estuaire jusqu'aux zones côtières comme le montrent Lauridsen *et al.* (2017) ou Aarestrup *et al.* (2014), tandis que la vitesse de migration du saumon atlantique augmentait à son entrée dans l'estuaire et la zone côtière. Ces résultats sont des vitesses de migration minimales, car ils supposent que les smolts ont migré en ligne droite entre les récepteurs, ce qui pourrait ne pas être le cas en particulier dans les estuaires et les zones côtières.

La vitesse de migration plus faible observée pour les truites de mer à l'entrée de l'estuaire pourrait indiquer qu'elles ne sont pas pressées d'atteindre des zones d'alimentation spécifiques et que certains individus pourraient même commencer à chercher une alimentation adaptée dès leur entrée dans les eaux estuariennes et côtières. En revanche, lorsque les smolts de saumon atlantique ont décidé de quitter l'eau douce, ils semblent n'avoir qu'un seul but en tête : sortir et migrer au large vers leurs zones d'alimentation dans l'Atlantique Nord. Cette détermination et cet empressement sont confirmés par la courte durée de leur migration dans l'estuaire (1,4 jour en moyenne) et dans la zone côtière (<0,2 jour en moyenne) ainsi que par le fait qu'ils choisissent la route ayant la distance la plus courte au lieu du chenal sinueux, plus profond (tableau 6).

Dans tous les systèmes étudiés, les smolts de truite de mer et de saumon atlantique ont ralenti au niveau des récepteurs acoustiques situés autour de la limite de salinité. La vitesse

migratoire a également été réduite en amont des barrières physiques, comme le rapportent Huusko *et al.* (2018) et Gauld *et al.* (2013).

En 2018, les smolts de saumon atlantique de la rivière Scorff avaient un temps de résidence plus long dans l'estuaire supérieur qu'en 2019 et 81% des individus marqués présentaient un comportement migratoire oscillatoire (tableau 6). Un comportement similaire a été observé dans d'autres rivières pour les smolts de truite de mer, bien qu'à une plus petite échelle. Kocik *et al.* (2009) ont observé un « comportement de retournement » similaire qui, dans leur étude, était associé à un plus grand succès migratoire. Ce comportement oscillatoire sera étudié de manière plus approfondie en établissant un lien entre le comportement et les données sur les paramètres environnementaux dans le rapport final.

Des smolts de truite de mer ont été observés s'attardant plus dans l'estuaire inférieur et dans les zones côtières que les smolts de saumon atlantique. En raison de limitations techniques et financières, la couverture des zones côtières a été limitée à l'estuaire du Tamar et de la Frome. À la sortie de l'estuaire de la Frome et du Tamar, jusqu'à 17 % des smolts de truite de mer ont été détectés retournant en estuaire durant les mois d'avril et mai, sans atteindre l'estuaire supérieur. Par conséquent, il est possible que certains smolts de truite de mer soient restés à proximité, au moins pendant la première partie de leur migration marine.

5. IMPLICATIONS POUR LA GESTION DES SMOLTS DE TRUITE DE MER ET DE SAUMON ATLANTIQUE

Comme mentionné dans l'introduction, les activités de pêche, et en particulier la pêche au filet, sont toujours pratiquées dans certains estuaires et zones côtières. Ce rapport informe sur :

- le calendrier et la durée de la présence des smolts dans les estuaires étudiés ;
- la route de migration des smolts dans l'estuaire, par exemple jusqu'à 44 % des smolts de truite de mer ont suivi le chenal principal alors que la plupart des smolts de saumon atlantique ont pris le chemin le plus court ;
- une présence plus longue des smolts autour des récepteurs et à la limite supérieure de salinité des estuaires, ce qui rend les smolts potentiellement plus vulnérables dans cette zone.

Ces connaissances peuvent contribuer à déterminer les limites spatiales et temporelles des activités humaines pendant la migration des smolts. Si nécessaire, les gestionnaires pourront adapter la réglementation existante en tenant compte de ces nouvelles informations.

Une analyse plus approfondie des données permettra de générer des informations pratiques pour les gestionnaires, par exemple dans l'estuaire de la Bresle, où il sera possible de répondre à des questions telles que « les smolts passent-ils par l'échelle à poissons ou par

l'écluse ? ». Les heures d'ouverture de l'écluse seront comparées aux heures de détections des smolts en amont et en aval de l'écluse. Ces réponses seront utiles aux gestionnaires locaux pour améliorer la passe à poissons dans le port du Tréport.

Les résultats de ce rapport servent de base aux discussions avec les gestionnaires sur la manière dont les nouvelles informations concernant la migration des smolts pourraient avoir un impact sur la gestion des habitats et des espèces à l'avenir. Les gestionnaires ont demandé des informations spécifiques sur les données de suivi acoustique, qui seront incluses dans le rapport final et nous encourageons la poursuite de l'engagement avec eux.

CONCLUSION

Le projet SAMARCH de suivi des smolts a débuté en 2017 et le travail de terrain s'est achevé en juillet 2019, à la fin de la durée de vie des balises acoustiques. L'analyse des données est toujours en cours, ce rapport comprend une première description de la migration des smolts de truite de mer et de saumon atlantique dans les eaux de transition et côtières.

Le comportement de dévalaison des smolts observé dans cette étude est conforme à la littérature existante sur la migration des smolts, mais fournit également de nouvelles informations sur leur utilisation des milieux estuariens et côtiers. Les résultats préliminaires informent les gestionnaires sur la période et la durée de la présence des smolts dans les estuaires étudiés. Ces informations permettront une protection plus active du saumon atlantique et de la truite de mer dans les estuaires lors de la gestion d'autres activités.

Ce rapport comprend également des estimations initiales du taux de succès migratoire des smolts basées sur les détections acoustique en estuaire.

Dans le rapport final, des données sur les facteurs biotiques (longueur, poids, sexe, âge) ainsi que sur les facteurs abiotiques (paramètres environnementaux) seront incluses dans l'analyse. Cela permettra d'obtenir une image plus complète de la migration des smolts vers l'aval.

Les agences françaises et anglaises gérant le saumon atlantique et la truite de mer ont fait part de leurs attentes vis-à-vis de ce projet de suivi des smolts, ainsi que de leurs besoins, afin de permettre une meilleure gestion des eaux de transition et des eaux côtières pour ces deux espèces. Le rapport final comprendra une analyse des intérêts spécifiques exprimés par ces agences.

REFERENCES

- A. n° 2015-12152, 30 novembre 2015, réglementant l'exercice de la pêche maritime des poissons migrateurs en Bretagne, de la région Bretagne.
- A. n° 2013, 7 octobre 2013, autorisant, au titre de l'article L. 214-3 du code de l'environnement, les dragages d'entretien du port du Tréport et l'immersion en mer des sédiments au bénéfice du Conseil général de Seine-Maritime.
- Aarestrup K, Baktoft H, Koed A, Del Villar-Guerra D, Thorstad EB (2014). Comparaison du comportement de migration fluviale et marine précoce et de la survie des smolts de truite de mer *Salmo trutta* sauvages et d'élevage. *Marine Ecology Progress Series* 496: 197-206.
- Anonyme (2017). Loi de 2009 (c.23) sur l'accès au milieu marin et côtier de la Cornwall inshore fisheries and conservation authority - Règlement sur les filets de pêche dans les rivières et les estuaires 2017.
- Anonyme (2017). Livret de règlements de la Southern inshore fisheries and conservation authority (V2).
- Anonyme (2018). Livret de règlements de la Devon and Severn inshore fisheries and conservation authority.
- Chaput G, Carr J, Daniels J, Tinker S, Jonsen I, Whoriskey F (2019). Migration et survie des premiers post-smolts de saumon atlantique (*Salmo salar*) déterminées à partir d'études de télémétrie acoustique pluriannuelles et multi-stocks dans le golfe du Saint-Laurent, Atlantique nord-ouest. *ICES Journal of Marine Science* 76(4): 1107-1121.
- Gauld NR, Campbell RNB, Lucas MC (2013). La réduction du débit a un impact sur la migration des smolts de salmonidés dans une rivière avec des barrages à faible hauteur de chute *Science of The Total Environment* 458–46:435-443.
- Huusko R, Hyvärinen P, Jaukkuri M, Mäki-Petäys A, Orell P, Erkinaro J (2018). Survie et vitesse de migration des smolts de saumon atlantique (*Salmo salar*) radio-étiquetés dans deux grandes rivières : l'une sans barrage et l'autre avec barrage. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 75:1177-1184.
- ICES (2020). Atelier de la NASCO sur la mortalité en mer du saumon de l'Atlantique Nord (WKSalmón, résultats de la réunion de 2019). ICES Scientific Reports 2(69), 175 pp.
- King RA & Stevens JR (2020). Un test génétique amélioré pour déterminer le sexe du saumon atlantique (*Salmo salar* L.). *Conservation Genetics Resources* 12:191-193.
- Kocik JF, Hawkes JP, Sheehan TF, Music PA, Beland KF (2009). Évaluation de la migration estuarienne et côtière et de la survie des smolts de saumon atlantique sauvages dans la rivière Narraguagus, Maine, à l'aide de la télémétrie ultrasonique. *American Fisheries Society Symposium* 69, 293–310.
- Lauridsen RB, Moore A, Gregory S, Beaumont WRC, Privitera L, Kavanagh JA (2017). Comportement migratoire et taux de perte des smolts de truite dans la zone de transition entre l'eau douce et l'eau salée dans *Sea trout science & management* (Graham H eds.) 292-307pp. Éditions Troubador.

Newton M, Barry J, Dodd JA, Lucas MC, Boylan P, Adams CE (2018). Un test de l'effet cumulatif des barrages de rivière sur le succès de la migration en aval, la vitesse et la mortalité des smolts de saumon atlantique (*Salmo salar*) : une étude empirique. *Ecology of Freshwater Fish* 28(1):176-186.

Truett GE, Heeger P, Mynatt RL, Truett AA, Walker JA & Warman ML (2000). Préparation d'ADN génomique de souris de qualité PCR avec de l'hydroxyde de sodium chaud et du tris (HotSHOT). *BioTechniques* 29:52–54.

Winter JD (1983). Biotéléométrie sous-marine. *In Fisheries Techniques* (Nielsen LA & Johnsen JD eds.) 371-395pp. Bethesda, Maryland, American Fisheries Society.

Winter JD (1996). Progrès dans la biotéléométrie sous-marine. *In Fisheries Techniques*, 2^e édition (Murphy BR & Willis DW eds.) 555-590 pp. Bethesda, Maryland, American Fisheries Society.

Yano A, Nicol B, Jouanno E, Quillet E, Fostier A, Guyomard R & Guiguen Y (2013). Le dimorphe sexuel du gène du chromosome Y (*sdY*) est une séquence du chromosome Y mâle spécifique conservée chez de nombreux salmonidés. *Evolutionary Applications* 6:486-496.

ANNEXES

Annexe 1 : Liste des récepteurs acoustiques déployés dans les quatre estuaires de la Manche dans le cadre du projet SAMARCH. Les noms sont classés en fonction de leur emplacement de l'amont vers l'aval. * indique les récepteurs acoustiques en aval les plus proches du site de marquage. ^a Le site de marquage sur la rivière Frome a été déplacé en 2019.

	TAMAR	FROME	BRESLE	SCORFF
Eau douce	Endsleigh * Gunnislake Aval Gunnislake Impham	Bindon * East Stoke Aval RL * ^a Pont Holme Bridge Wareham bypass	AFB * Canal Eu	Moulin des Princes *
Estuaire	Calstock Weir Quay Saltash Sortie Tamar	E40 WH765 Rockley WH1 Sortie Frome	Ponton Plaisance Poteau passe Port Commerce Bouée rouge Chenal Bresle Sortie Bresle	Saint Hurchaud Bon Secours Pont brulé Kerentrec'h Pen Mane Locmiquelic Sortie Scorff
Zone côtière	East Vanguard NW Drake Island Ash/Asia Queen's Ground West Staddon	9 Swash North Hook Chenal 7&8		Pointe de Gavre

Annexe 2 : Organisation de l'échantillonnage des smolts de truite de mer (ST) et de saumon atlantique (AS). Le nombre d'individus ciblés est indiqué dans chaque bloc. « Extra » indique les jours supplémentaires prévus sur place afin d'atteindre l'objectif si les jours précédents n'étaient pas suffisants

2018					2019				
DATES	TAMAR	FROME	BRESLE	SCORFF	DATES	TAMAR	FROME	BRESLE	SCORFF
20 mars			15 ST		20 mars				
21 mars			15 ST		21 mars				
22 mars				Expérience	22 mars				
23 mars				Expérience	23 mars				
24 mars					24 mars				
25 mars					25 mars			15 ST	
26 mars	15 ST				26 mars			15 ST	
27 mars	15 ST				27 mars			15 ST	
28 mars	extra	15 ST			28 mars			15 ST	
29 mars		15 ST			29 mars			extra	
30 mars					30 mars				
31 mars					31 mars	15 ST			
1 avril					1 avril	15 ST			
2 avril					2 avril	15 ST			
3 avril					3 avril	15 ST			
4 avril					4 avril	extra			
5 avril					5 avril				
6 avril					6 avril		15 ST		
7 avril					7 avril		15 ST		
8 avril					8 avril		15 ST		
9 avril					9 avril		15 ST		
10 avril			30 ST		10 avril		extra		
11 avril			30 AS		11 avril				
12 avril				15 AS	12 avril				
13 avril				15 AS	13 avril				
14 avril					14 avril				
15 avril					15 avril			15 AS	
16 avril	30 ST				16 avril			15 AS	
17 avril	30 AS				17 avril			15 AS	
18 avril	extra				18 avril			15 AS	
19 avril		30 ST			19 avril			extra	
20 avril		30 AS			20 avril				15 AS
21 avril					21 avril				15 AS
22 avril					22 avril				15 AS
23 avril				15 AS	23 avril				15 AS
24 avril				15 AS	24 avril				extra
25 avril					25 avril				
26 avril					26 avril	15 AS			
27 avril			15 AS		27 avril	15 AS			
28 avril			15 AS		28 avril	15 AS			
29 avril					29 avril	15 AS			
30 avril	15 AS				30 avril		15 AS		
1 mai	15 AS				1 mai		15 AS		
2 mai	extra				2 mai		15 AS		
3 mai		15 AS			3 mai		15 AS		
4 mai		15 AS			4 mai				