
Focus ANGUILLE



Sommaire

Introduction	5
Biologie de l'espèce	5
Cycle vital.....	6
Enjeux et pressions.....	9
L'anguille dans le marais Audomarois.....	11
Matériel & méthode	12
Choix du protocole	12
Présentation de l'engin passif « Flottang »	12
Confection des « Flottangs »	13
Pose et relève des stations.....	14
Plan d'échantillonnage	15
Présentation des ouvrages à la mer	16
Présentation des ouvrages situés sur le marais	18
Présentation des stations.....	20
Analyse des résultats.....	21
Résultats	23
Approche globale	23
Captures accessoires	23
Sélectivité des engins	24
Codes pathologiques	24
Stades pigmentaires.....	25
Métriques descriptives globales.....	27
Variable abiotique considérée	28
Approche par réseau	29
Comparatif mensuel.....	29
Comparatif hebdomadaire	31
Approche stationnelle	33
CPUE moyenne par station.....	33
Tailles moyennes par station.....	34
Approche cartographique	36
Approche situationnelle remarquable	39
L'exemple de la station la plus au Nord	39
Exemple migration rive -dépendante avec la station dépôt VNF	39

L'exemple du Haut Pont	39
Les ouvrages au Sud de l'axe canalisé	40
Autres observations parallèles	41
Discussion	44
Conclusion et perspectives	47
Ce qu'il faut retenir.....	49
Bibliographie.....	50
Annexes.....	52

Table des figures

Figure 1 : Prises de vues subaquatiques d'une Anguille.

Figure 2 : Les différents stades de l'Anguille Figure 3 : Civelles transparente et jeune Anguille pigmentée.

Figure 4 : Cycle biologique de l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*).

Figure 5 : Evolution du recrutement en civelles en Europe et Mer du Nord (source WGEEL 2018).

Figure 6 : Gros plan sur la maille du géotextile et flottang vu de dessus.

Figure 7 : Test de dispositifs benthiques, les « Benthang ».

Figure 8 : Découpe et fabrication des flottangs

Figure 9 : Pose, relève, mis en bac des Flottangs et biométrie.

Figure 10 : Individu en cours de pigmentation stade 6A4.

Figure 11 : Représentation schématique globale du bassin de l'Aa, du marais Audomarois et du Delta de l'Aa.

Figure 12 : Localisation des deux premiers ouvrages à la mer sur l'axe Aa canalisée sur la ville de Gravelines (données Geoportail et VNF).

Figure 13 : Prises de vues des ouvrages situés dans l'Audomarois. De gauche à droite : l'écluse de Saint-Bertin, l'écluse des Fontinettes, L'écluse des Flandres et l'écluse du Haut-Pont.

Figure 14 : Schéma du fonctionnement des divers ouvrages de l'Audomarois (données VNF).

Figure 15 : Export des 2/3 de l'eau issue du sasement de l'écluse des Fontinettes dans le plan d'eau de Batavia (à gauche) et surverse entre le canal de Neuffossé et la Basse Meldyck au niveau de la maison du Grand Vannage (à droite).

Figure 16 : Zoom sur le marais Audomarois. Localisation des stations flottangs en 2018 (14) et en 2019 (18).

Figure 17 : Localisations des 3 sondes thermiques Hobo Ware.

Figure 18 : Exemple du contenu d'un flottang et de plusieurs captures accessoires.

Figure 19 : Histogrammes des classes de taille (en mm) obtenues sur l'ensemble du suivi (2018-2019).

Figure 20 : Résultats globaux des pathologies rencontrées lors des deux ans de suivi flottang

Figure 21 : Proportion des divers stades pigmentaires observés lors de l'étude.

Figure 22 : Illustrations d'individus capturés à divers stades pigmentaires.

Figure 23 : Histogramme représentant les occurrences, tailles moyennes et CPUE moyenne par mois pour les deux campagnes.

Figure 24 : Suivi de la donnée thermique dans le marais Audomarois (2018-2019).

Figure 25 : Analyses des CPUE moyennes et des tailles moyennes par mois et par réseau (Nord, Sud, Annexe et Entrée) pour les campagnes 2018 et 2019.

Figure 26 : CPUE moyenne (à gauche) pour la station Hautpont aval immédiat placée en 2019 et proportion des classes de taille mesurées avec une représentation de la station.

Figure 27 : Nombre d'Anguilles capturées par relève (72h) par réseau Nord, Sud et Annexes pour 2018 et 2019. La station du Hautpont aval immédiat est présentée en axe secondaire en 2019.

Figure 28 : Captures par Unité d'Effort moyenne par station en 2018 et 2019 (barre d'erreur = erreur standard).

Figure 29 : Boxplots des tailles moyennes par station en 2018.

Figure 30 : Boxplots des tailles moyennes par station en 2019.

Figure 31: Boxplots des tailles moyennes par station suivi en 2019.

Figure 32 : Résultats en occurrence du piégeage par flottang en 2018 et 2019. La valeur associée correspond à la proportion de relève avec au moins une Anguille dans un flottang.

Figure 33 : Résultats du nombre d'Anguilles capturées par classe de tailles en 2018 et 2019. Les diagrammes sont proportionnels aux effectifs dénombrés.

Figure 35 : Station Ile de Watten.

Figure 36 : Station DépôtVNF.

Figure 37 : Ouvrage du Haut Pont et diagrammes proportionnels des captures.

Figure 38: Ecluse des Fontinettes et flottangs posés en aval avec un sujet adulte argenté mort.

Figure 39 : Pourcentage d'occurrence des diverses espèces retrouvées dans le réseau secondaire du marais Audomarois sur 205 inventaires de 5min

Figure 40 : Extrait des résultats du monitoring Anguille de 2017 sur le contexte bassin de l'Aa.

Figure 41 : Exemple d'une passe piège à brosse pour l'espèce Anguille (Localisée sur l'ouvrage à la mer Marguet à Boulogne sur mer – 62). Un équipement utile transposable à l'écluse du Haut Pont.

Tableaux

Tableau 1 : Nom et codification des stations.

Tableau 2 : Intervalle de classes tailles et âges associés.

Lexique

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

RSA : Réseau Spécifique Anguille

RCS : Réseau de Contrôle et de Surveillance

CPUE : Capture Par Unité d'Effort

SANDRE : Service d'Administration Nationale des Données et Référentiel sur l'Eau

IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer

PLAGEPOMI : Plan de GEstion des POissons MIgrateurs

PDPG : Plan Départemental pour la Protection du milieu aquatique et la Gestion des ressources piscicoles

PGA : Plan Gestion Anguille

Biologie de l'espèce

L'Anguille européenne (*Anguilla anguilla* – Linné 1758) est un poisson bien connu de par son apparence serpentiforme et ses nageoires caudales, anales et dorsales soudées. Sa peau est également recouverte d'un mucus protecteur. Elle appartient à la famille des Anguillidés et mesure de 40 cm à 150 cm pour 4 kg maximum pour les femelles. L'animal adulte est plutôt à tendance nocturne (lucifuge) et est capable de respiration trans-tégumentaire ce qui lui permet également de respirer de l'air.



Figure 1 : Prises de vues subaquatiques d'une Anguille.

Ce poisson étant assez ubiquiste, il est possible de le retrouver dans presque tous les milieux et habitats disponibles sur notre territoire (rivières, marais, lacs, zones côtières...). L'Anguille européenne est présente sur une très large distribution géographique allant de l'Europe septentrionale à l'Europe méridionale (Feunteun et al. 1998, Wiley et al. 2004, Edeline et al. 2007).

Mais le cycle vital de cette espèce est complexe et est encore, même actuellement, caractérisé par des zones d'ombres (surtout en milieu marin). La reproduction n'a encore jamais été observée en milieu naturel (Nilo et al. 2001).

En effet, l'Anguille doit entreprendre d'importantes migrations océaniques en vue de réaliser son cycle biologique complet (Elie 1994). L'espèce est ainsi qualifiée de poisson grand migrateur et plus particulièrement d'espèce amphihaline thalassotoque. C'est-à-dire qu'elle vit et mature dans les eaux douces continentales et se reproduit et naît en milieu marin.

Si des hybridations sont possibles avec l'Anguille américaine voir même japonaise (Avisé et al 1990, Okamura et al 2004), il est admis que l'ensemble de la population Européenne est constituée par une seule population panmictique (Wirth et al. 2003, Als et al 2011).



Cycle vital

Le cycle de vie de l'Anguille, de par ces caractéristiques est remarquable et unique. Celle-ci doit passer par de nombreuses écophases.

Figure 2 : Les différents stades de l'Anguille, avec de bas en haut, une Anguille jaune, une Anguille en cours d'argenture et une Anguille argentée.

Reproduction

Même si la reproduction de l'Anguille reste encore assez mal connue, le consensus scientifique actuel place la zone de reproduction de l'espèce au niveau de la mer des Sargasses (du nom des algues *Sargassum* qu'on y trouve flottantes en grands nombres). Cette zone est située dans l'océan Atlantique Nord, entourée de courants marins au niveau de ces frontières et calme en son centre. Même si aucun œuf n'a été actuellement récolté, il est admis que cette zone est la plus propice à la ponte de l'espèce entre mars et juillet (Kleckner et al 1983, Mac Cleave 1993, McLeave et al., 1998).

Stade larvaire

Après l'éclosion, les larves d'anguilles sont appelées Leptocéphales. Ce sont des larves foliacées qui consomment du plancton et sont portées par les courants océaniques (McLeave et al., 1998, Tesch et al. 1998). Ainsi portées par le Golf Stream, ces larves accomplissent leur migration de façon passive jusqu'à nos côtes. Une période de temps variable peut s'écouler. En effet, les Leptocéphales peuvent mettre entre 6 mois ou 1 an et demi pour attendre le

talus continental (Antunes et al 1997, Lecomte 1994, Tesch et al. 1998).

Une fois arrivées en bordure du talus continental, les larves foliacées se métamorphosent en une forme plus connue : la civelle (figure 3). Les civelles mesurent entre 60 et 80mm et sont transparentes. Celles-ci se pigmentent ensuite progressivement en arrivant dans les zones estuariennes et dans les rivières (Elie et al. 1982).



Figure 3 : Civelles transparente et jeune Anguille pigmentée.

Arrivée dans les eaux continentales

Les civelles deviennent intégralement pigmentées lors de leur remontée en rivière, deviennent ainsi des anguillettes puis des Anguilles jaunes. La cinétique migratoire des civelles à l'aval des hydrosystèmes continentaux s'opère par vague en fonction des courants, des marées et de la taille des individus (De Casamajor et al 2000).

Une fois arrivées dans la zone de transition des cours d'eau (estuaire), les anguillettes qui auparavant se laissaient porter par les flux (migration passive) acquièrent la capacité de nage et progressent vers l'amont (migration active). Le facteur déclenchant l'acquisition de cette faculté de nage est la thermie. Celle-ci se

déroule sur la plage 10 – 12 °C. Mais toutes les jeunes Anguilles ne migrent pas de la même manière. En effet, certains sujets vont rapidement se sédentariser dans les parties basses des bassins (marais salés, les lagunes, etc.) alors que d'autres vont coloniser les parties les plus en amont possibles. Ces différents comportements sont souvent classés en 4 catégories : les pionniers, les fondateurs, les résidents et les nomades (Feunteun et al., 2003).

Globalement les facteurs qui influent majoritairement sur la migration active sont le débit, la thermie et l'hydromorphologie fluviale (Feunteun et al., 2003, Lafaille et al, 2007).

Croissance

A ce stade les individus vont coloniser les eaux continentales pour vivre une période de grossissement et de maturation sexuelle sédentaire d'une dizaine d'années environ. Cette phase de la vie de l'Anguille peut même durer jusqu'à 20 ans pour les femelles (qui sont ainsi plus grosses que les mâles en dévalaison et se situent plus souvent en amont des bassins ; Vollestad 1986).

Retour en mer

La dernière phase consiste à la métamorphose de l'Anguille jaune en Anguille argentée afin de lui permettre de rejoindre l'océan et les zones de reproduction en vue d'accomplir le cycle.

Cette phase est caractérisée par une modification morphologique, physiologique et comportementale des individus (Durif, 2003, Acou et al 2005, Van Ginneken et al 2007). En

effet, les changements anatomiques les plus remarquables sont les suivants : changement de la coloration vers une livrée dorso-ventrale argentée et plus sombre, ainsi qu'une ligne latérale sensitive ponctuée de neuromastes. La taille des yeux augmente afin d'améliorer la capacité de l'animal à voir dans les milieux profonds et pauvres en lumière des fonds

océaniques (près de 4 fois). Les nageoires pectorales s'agrandissent également (figure 2) pour améliorer la capacité de nage.

Les individus cessent de s'alimenter lors de la migration catadrome. Seul un faible nombre

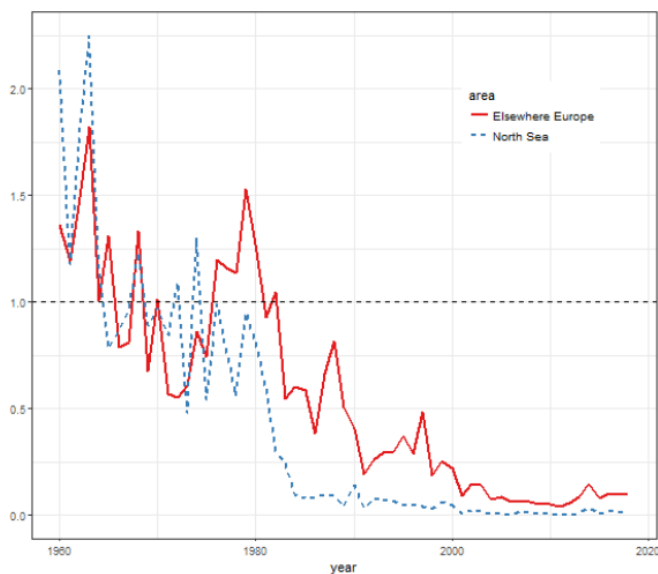
d'individus sera capable de réaliser l'ensemble du cycle, notamment à cause des nombreuses pressions qui pèsent sur l'espèce, et cela à tous les stades de son cycle.

Au cours des deux migrations océaniques (migration passive des larves et la migration de reproduction), les anguilles effectuent également des migrations verticales. Des changements de profondeur journaliers (entre 200 et 2000m de fond, nocturne en surface et dans les profondeurs le jour) sont réalisés notamment en vue de réduire le risque de prédation (Adam et al. 2008 ; Righton et al. 2016).



Figure 4 : Cycle biologique de l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*).

Enjeux et pressions



Longtemps abondantes et même considérées en cours d'eau salmonicoles comme « nuisibles », les Anguilles, malgré leur réputation d'espèces robustes, se retrouvent en forte régression depuis les années 1970. Leurs effectifs ont chuté de près de 90% (ICES, 2008).

De par son statut de migrateur, celle-ci subit l'impact de la rupture du continuum fluvial et les grands changements climatiques globaux.

Les facteurs provoquant son déclin sont multiples comme :

- La modification du Gulf Stream (modifications des courants marins)
- Les barrages (turbines, cloisonnements...)
- L'altération de la qualité de l'eau (comme les PCB et métaux lourds qui influent sur le système nerveux)
- La dégradation des habitats (berges, annexes, zones humides...)
- Le parasitisme (par *Anguillicola crassus*, un nématode apporté par l'Anguille japonaise)
- La surpêche (professionnelle, de loisir ou le braconnage)

Rappels réglementaires

L'Anguille européenne est inscrite sur la Liste Rouge mondiale (évaluation 2014) et sur la liste de la France métropolitaine (actualisé en 2019) de l'UICN, comme « espèce en voie critique d'extinction » (CR). Son statut reste inchangé malgré la réactualisation des listes rouges.

Dans ce cadre, le règlement européen CE n°1100/2007 demande la mise en place de mesures de reconstitution du stock d'anguilles européennes. Au niveau du territoire national, un plan de gestion Anguille a été mis en place depuis 2010 (PGA). Celui-ci fixe des objectifs ciblant diverses échelles géographiques et axes de travail.

L'estimation des stocks en présence est faite quant à elle via les stations du Réseau de Contrôle et de Surveillance d'une part (RCS) et via le Réseau Spécifique Anguille d'autre part (RSA).

En termes d'action concrète de libre circulation piscicole, l'article L214-17 du Code de l'environnement (2006) établit deux listes de cours d'eau. Les cours d'eau classés en Liste 1 correspondent aux cours d'eau constituant des réservoirs biologiques (construction de nouveaux ouvrages entravant la continuité interdite). Les cours d'eau classés Liste 2 quant à eux, doivent, dans un délai de 5 ans, être aménagés afin de respecter l'obligation de résultat en matière de circulation piscicole et de libre transit des sédiments (Code de l'Environnement 2006).

L'anguille dans le marais Audomarois

Ainsi malgré les mesures de conservation déjà mises en place (statut UICN, Plan de Gestion Anguille national et programme locaux) l'amélioration des connaissances et la sauvegarde de cette espèce emblématique de nos cours d'eau est prépondérante.

Dans le contexte de la cuvette Audomaroise, si l'espèce repère du contexte est le Brochet, l'Anguille est l'espèce cible. Les enjeux mis en évidence lors de la rédaction du PDPG 2.0 et listés dans le PLAGEPOMI pour cette espèce aux regards des pressions locales identifiées sont :

- Préserver l'Anguille lors des travaux de curage et de faucardage.
- Préserver les habitats restaurés.
- Restaurer et préserver les habitats de l'Anguille.

En effet, les anguilles, pouvant coloniser la plupart des milieux notamment les marais, sont présentes au sein de l'Audomarois. Un focus sur l'espèce avait toute sa place dans le projet FBMA (Focus Biodiversité Marais Audomarois) engagé début 2018.

Dans ce cadre un suivi de la migration des civelles et des populations d'Anguilles est réalisé sur plusieurs stations notamment en vue de caractériser :

- i. Le front de colonisation (l'endroit le plus en amont d'un cours d'eau où sont présentes les jeunes anguilles).
- ii. La cinétique migratoire (les dates des pics de migrations observés).
- iii. Les principales zones d'attractivités du marais (annexes).
- iv. Les points de blocage ou de ralentissement rencontrés (ouvrage, aménagement etc.).

Tout cela en vue de permettre la mise en place de préconisations de gestion auprès des différents acteurs. Pour remplir ces objectifs l'utilisation du dispositif « Flottang » a été choisi, car parfaitement adapté à l'étude des petites classes de taille particulièrement complexe à échantillonner en grand milieu.

Matériel et méthode

Choix du protocole

Afin de pouvoir affiner la connaissance sur les fronts de colonisation et les axes de migration de l'Anguille, la Fédération a mis en place un nouveau protocole au sein du marais. Celui-ci est inspiré du travail réalisé en 2014 par la Cellule Migrateurs Charente Seudre et en 2016 par la Fédération de pêche du Nord.

La méthode consiste à utiliser un engin de piégeage passif sélectif des anguillettes de moins de 12 cm. Ces engins sont nommés « Flottangs ». Cette méthode fut choisie dans notre cas afin de répondre aux exigences suivantes :

- Facilité de pose et de relève (avec deux opérateurs, ou même un seul).
- Méthode plus simple et moins coûteuse à mettre en œuvre qu'une pêche électrique.
- Engin sélectif d'une certaine classe de taille d'anguillettes.
- Permet de visualiser le front de colonisation de la migration et le calcul par Capture par Unité d'Effort (CPUE).
- Efficace dans un milieu profond.
- Permet de réaliser un suivi sur une période bien définie.

Cette approche est également particulièrement pertinente dans la configuration d'un milieu pauvre en habitats comme le Canal de Neuffossé et de l'Aa. En effet cet habitat artificiel peut être très attractif dans le cadre d'un milieu homogène ou chenalisé.

Ceci est malgré tout aussi bien un avantage qu'un inconvénient. Si des habitats plus attractifs sont présents à proximité, le dispositif peut l'être alors beaucoup moins. Ceci étant, les données ne pourront pas être traitées en termes d'abondance absolue mais en occurrence et en Capture par Unité d'Effort (CPUE). Ce protocole ne permet pas encore de réaliser des indices de densité. En général, il est surtout conçu pour avoir un signal de présence des anguilles inférieures à 12 cm.

Cette remarque doit être prise en compte lors du choix des stations à suivre. Cela permettra d'ailleurs une meilleure bancarisation des données et de considérer certains paramètres qui pourraient aider à l'interprétation. Il a été choisi d'effectuer un effort de capture, via la pose de 2 dispositifs par station, sur 72h. Deux campagnes de 4 mois consécutifs ont été menées en 2018 (du 03/04 au 14/06) et 2019 (du 01/04 au 25/7) afin d'établir des indicateurs de tendance.

Présentation de l'engin passif « Flottang »

Les flottangs sont des pièges passifs sélectifs qui permettent la capture d'individus de moins de 12cm. Ce protocole a été développé et est encore en cours de test par la Cellule Migrateurs Charente Seudre (EPTB Charente, Groupement Fédérations de pêche Poitou-Charentes et la CREA, A. Schaal 2014). Il fut également inspiré par des travaux australiens (Silbercheneider et al, 2000).

Il est constitué de 10 couches de géotextile synthétique (PVC) tridimensionnel superposées (géotextile MacMat®). Chaque couche mesure 40*40 cm de côté soit une surface de 0,16m².



Figure 6 : Gros plan sur la maille du géotextile et flottang vu de dessus.

Test d'engins benthiques

Sur certaines stations problématiques du point de vue du vandalisme (écluses, centre-ville...), il a été choisi de positionner des flottangs benthiques. Le dispositif est similaire au flottang classique si ce n'est qu'une tuile ou une brique a été utilisée pour le lester au fond du cours d'eau. Celui-ci se présente de la façon suivante : 2 couches de géotextile MacMat® pour la sélectivité du passage des anguillettes, 8 couches de géotextile en fibre de coco plus dense, une brique ou une tuile comme leste et enfin des colliers de serrage en plastique.



Mais ce test n'a pas été concluant car il manquait d'attractivité et malgré le fait que ces dispositifs soient disposés au fond, ceux-ci ont quand même fait l'objet de vandalisme à plusieurs reprises.

Confection des « Flottangs »

La méthode de confection a été entreprise après consultation des différents retours d'expérience à ce sujet. Les engins sont constitués de 10 couches de 40 x 40 cm de géotextile superposées. Ces couches ont été attachées entre elles à l'aide de quatre colliers de serrage autobloquants en plastique. Ensuite 4 flotteurs de portance suffisante sont disposés aux quatre coins de l'engin afin d'éviter toute décantation de l'engin due au colmatage ou au

courant. Une trentaine de flottangs peuvent être fabriqués lors d'une dizaine d'heures environ. Le coût estimé d'un flottang avec le matériel utilisé est d'environ 10 € l'unité.

Chaque dispositif est également équipé d'une étiquette explicative avec les coordonnées de la Fédération afin d'informer le grand public quant à la raison de leur présence ou permettre la récupération du matériel en cas de perte.



Figure 8 : Découpe et fabrication des flottangs

Avant utilisation dans le cadre du suivi, les flottangs ont été volontairement immergés 3 semaines afin d'augmenter leur attractivité vis-à-vis des anguilles (engins colonisés par les micro-algues).

Pose et relève des stations

Les flottangs sont posés dans le milieu et fixés à l'aide d'une corde et laissés 72h dans le milieu. La relève d'un flottang est effectuée à l'aide d'une époussette à cadre métallique (bord inférieur droit de 60 cm de large) de maille de 2 mm. Le flottang est ensuite vidé au-dessus d'un bac récepteur en plastique. Pour ce faire, l'opérateur secoue vigoureusement le dispositif en séparant les couches du géotextile dans le bac rempli d'eau afin de faire tomber tous les individus capturés. Les flottangs sont inspectés plusieurs fois pour être certain qu'aucune civelle / anguillette ne soit restée dans le dispositif.



Figure 9 : Pose, relève, mise en bac des Flottangs et biométrie.

Une fois les individus isolés dans le bac de stabulation, l'atelier biométrie peut-être mis en place. Pour permettre un meilleur confort lors des mesures et limiter le stress des individus, les anguilles sont anesthésiées avec une solution d'eugénol à 10%. Toutes les civelles et anguillettes capturées sont mesurées et pesées individuellement à l'aide d'un ichtyomètre. L'état sanitaire de chaque individu est relevé à l'aide de la codification SANDRE (code pathologie et code d'importance). Enfin, lorsque cela est possible, leur stade pigmentaire est noté à l'aide du guide de l'IFREMER (stades pigmentaires de la civelle *Anguilla anguilla* ; IFREMER).



Figure 10 : Individu en cours de pigmentation stade 6A4.

Une fois que toutes les données sont collectées, les sujets inventoriés sont placés dans un bac de réveil pour être ensuite remis dans leur milieu à quelques centaines de mètres de la station de capture.

Plan d'échantillonnage

Il a été choisi de placer deux flottangs par site. C'est un compromis entre la volonté d'avoir plusieurs répétitions par site et de palier à de potentiels problèmes techniques ainsi que la nécessité de mettre en place un nombre suffisant de sites pour prospecter un maillage suffisamment dense au sein du périmètre d'étude.

L'un des principaux objectifs de ce focus est l'identification de la dynamique de migration (cinétique migratoire) de l'espèce dès lors que celle-ci arrive au plus jeune stade dans le contexte cuvette Audomaroise. Pour ce faire, il a été décidé de sectoriser le secteur en 4 réseaux de suivi tels que :

- le Nord (situé à moins de 30km de l'exutoire à la mer au niveau de la ville de Gravelines et de l'ouvrage à la mer l'écluse 63 bis).
- le Sud (situé à plus de 30km de la mer et en prenant en compte les divers ouvrages du sud du marais).
- les Annexes (les annexes du marais et leurs entrées, le long de l'axe principal le Canal à Grand gabarit).
- les points de blocage en ciblant les ouvrages hydrauliques sur les axes canalisés (écluse du Haut-Pont, écluse des Flandres et l'écluse des Fontinettes).

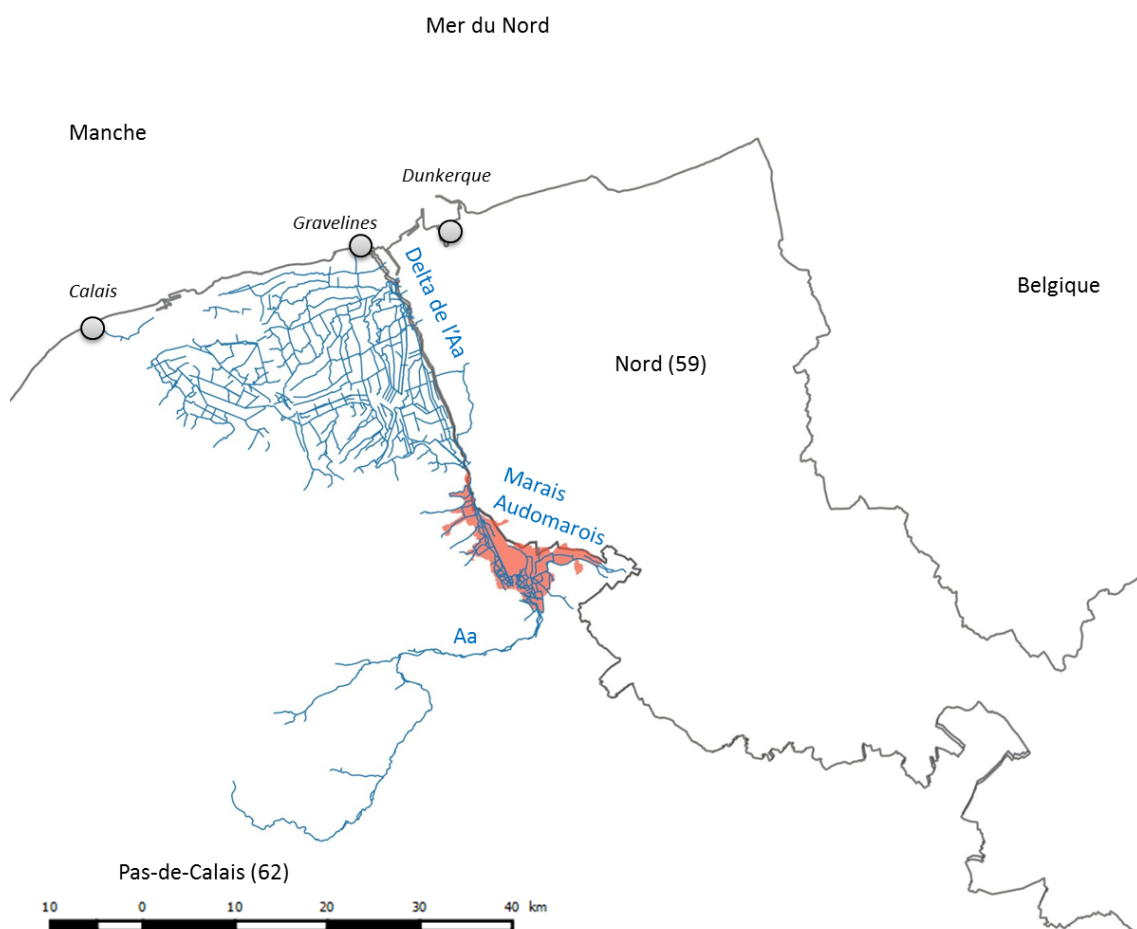
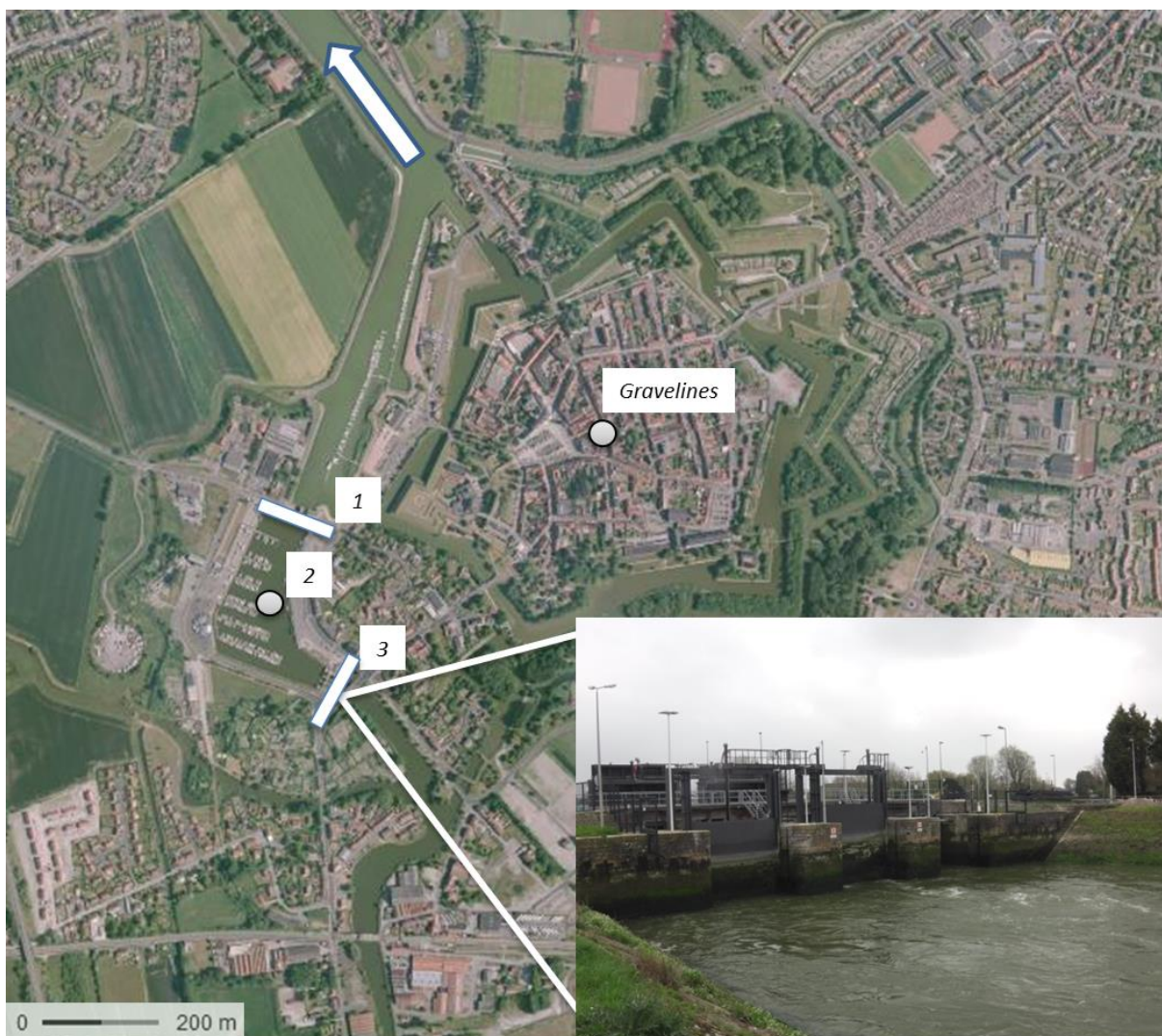


Figure 11 : Représentation schématique globale du bassin de l'Aa, du marais Audomarois et du Delta de l'Aa.

Présentation des ouvrages à la mer

Description générale

- L'écluse 63 ou l'écluse Vauban (Code ROE 25642) est implantée en aval du bassin Vauban constituant le bassin à flot. L'ouvrage a pour but d'assurer la continuité de l'évacuation des eaux et assurer la navigation entre la mer du Nord et le bassin Vauban via l'Aa canalisée. L'écluse est constituée de deux pertuis, dont un avec des portes busquées et l'autre par deux vantaux.
- L'écluse 63bis ou Saint Folquin (Code ROE 25641) est implantée en amont du bassin Vauban et sépare l'embouchure de l'Aa canalisée du bassin à flot. L'ouvrage est constitué de 3 pertuis de 6m dont un équipé de portes busquées et les deux autres de systèmes vannes levantes (Données issues de la présentation des écluses de Gravelines et de leur fonctionnement, Institut Intercommunal des Wateringues).



1 : Ecluse Vauban ou 63 2 : Bassin Vauban 3 : Ecluse Saint-Folquin ou 63bis

Figure 12 : Localisation des deux premiers ouvrages à la mer sur l'axe Aa canalisée sur la ville de Gravelines (données Géoportail et VNF).

L'écluse 63bis fait l'objet de manœuvres afin de permettre la libre circulation des espèces. Leur passage entre le bassin Vauban et l'Aa canalisée est possible uniquement à la Pointe lorsque les vitesses d'écoulement sont inférieures à 0,5 m/s.

Ainsi afin de favoriser le passage des espèces piscicoles les manœuvres sont les suivantes :

- Ouvrir au maximum les vannes (côté aval) des pertuis Gravelines et central dès lors que le niveau du Bassin Vauban est inférieur au niveau du Niveau Normal de Navigation (NNN) de l'Aa canalisée (– 30 cm au flot).
- Refermer les vannes (côté aval) des pertuis Gravelines et central après 15 minutes.

Ces manœuvres destinées à permettre la continuité écologique sont automatisées. De plus des travaux d'aménagement sont en cours lors de la rédaction du présent rapport et devraient permettre des

dispositions supplémentaires pour améliorer le recrutement en migration passive et active des civelles et anguillettes (fausses éclusées).

Présentation des ouvrages situés sur le marais



Figure 13 : Prises de vues des ouvrages situés dans l'Audomarois. De gauche à droite : l'écluse de Saint-Bertin, l'écluse des Fontinettes, L'écluse des Flandres et l'écluse du Haut-Pont.

Sur le territoire du marais Audomarois, 4 ouvrages majeurs sont recensés.

Deux ouvrages sont situés sur l'axe du Canal de Neuffossé (difffluence localisée en amont de l'écluse des Flandres sur l'axe Grand gabarit) qui traverse les commune d'Arques et de Saint-Omer de part-en-part en passant devant la gare et qui rejoint le Canal à Grand gabarit au niveau du lieu-dit le Doulac. Il s'agit de l'écluse de Saint-Bertin (Code ROE 33066) et de l'écluse du Haut-Pont (Code ROE 33083) (Figure 13). Cet axe n'est pas navigable et de ce fait les écluses ne sont plus manœuvrées sauf rares cas particuliers (comme lors d'un cortège nautique, animation festive annuelle proposée par la commune).

Les deux autres ouvrages sont d'un gabarit bien plus imposant et se situent sur l'axe du Canal à Grand gabarit. Le canal passe également de part en part du Sud vers le Nord sur les communes d'Arques et de Saint Omer. La voie navigable (section moyenne) est de 55m de large, et permet le passage d'un nombre important de péniches de grand tonnage acheminant diverses marchandises notamment en direction du port de Dunkerque et de Gravelines. Le bief est ainsi entièrement artificiel et particulièrement court (1,9km). Il s'agit des écluses des Flandres et des Fontinettes. L'ouvrage des Fontinettes a été construit en 1962 et mis en service en 1967

pour remplacer un ascenseur à bateau (classé aux monuments historiques).

Les caractéristiques de cet ouvrage remarquable sont les suivantes (données VNF):

- longueur utile : 144,6 m pour le grand sas
- largeur utile : 12 m
- volume : 25 000 m³
- 45 m de long
- hauteur de chute : 13,13 m
- temps de franchissement : 25min

Si l'écluse des Flandres est relativement classique de par son fonctionnement et sa gestion, ce n'est pas le cas de l'ouvrage des Fontinettes, qui reste somme toute assez particulier.

La vidange du sas de l'écluse des Fontinettes a été conçue de façon à ce que 2/3 du volume d'eau du sasement soit dérivé et réceptionné dans l'étang de Batavia (bassin récepteur artificiel situé au Sud de l'ouvrage). Le tiers restant est restitué dans le bief inférieur (correspondant à 4,5 m de hauteur d'eau).

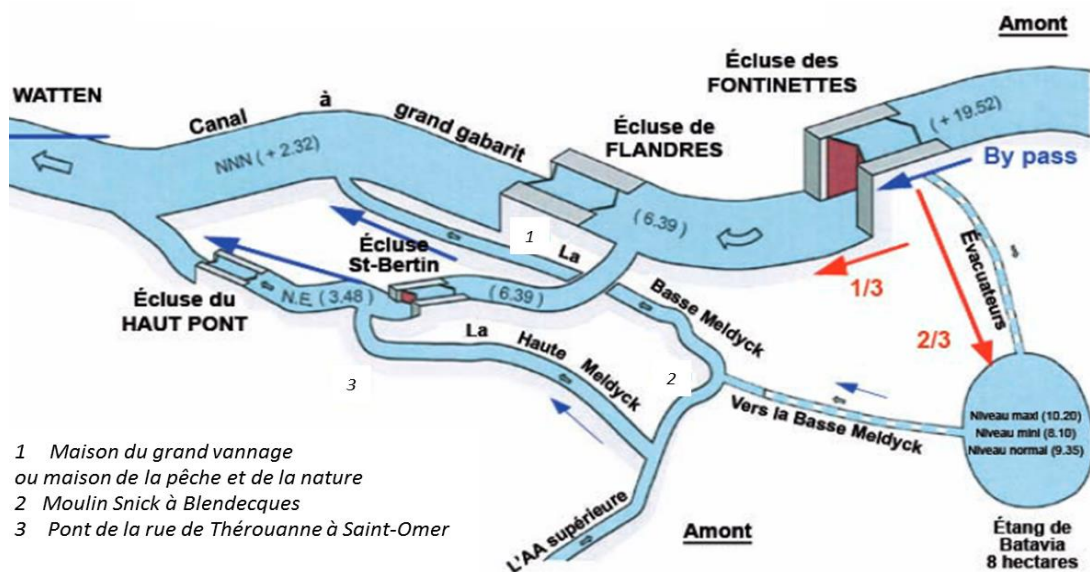


Figure 14 : Schéma du fonctionnement des divers ouvrages de l'Audomarois (VNF).

Le trop-plein de l'étang de Batavia est une surverse dans la rivière de la Basse Meldyck.



Figure 15 : Export des 2/3 de l'eau issue du sasement de l'écluse des Fontinettes dans le plan d'eau de Batavia (à gauche) et surverse entre le canal de Neuffossé et la Basse Meldyck au niveau de la maison du Grand Vannage (à droite).

Présentation des stations

Une sélection de 14 stations a été retenue en 2018 afin d'être représentatif quant à la superficie du marais Audomarois, de ses différents milieux, de ces ouvrages et de l'axe de migration principal.

4 ouvrages (écluses) se trouvent donc dans le secteur d'étude. Il a ainsi été choisi de positionner une station à l'amont et une à l'aval de chaque ouvrage. 3 stations sur l'axe Aa canalisée tous les 5 km en partant de l'écluse des Flandres. Enfin une station sur la Houlle (un bras annexe représentatif du marais Ouest) et une sur le Grand Leeck (un bras annexe représentatif du marais Est) ont été placées.

Une sélection de 18 stations a été retenue en 2019. Des stations sont ajoutées lors de la seconde année de suivi en vue de répondre à des interrogations soulevées lors de la première année et compléter celle-ci. Il s'agit des stations situées à l'entrée des annexes, à l'aval direct des portes de l'écluse du Haut Pont, de la rive gauche de la station et de la suppression des stations de l'écluse Saint-Bertin.

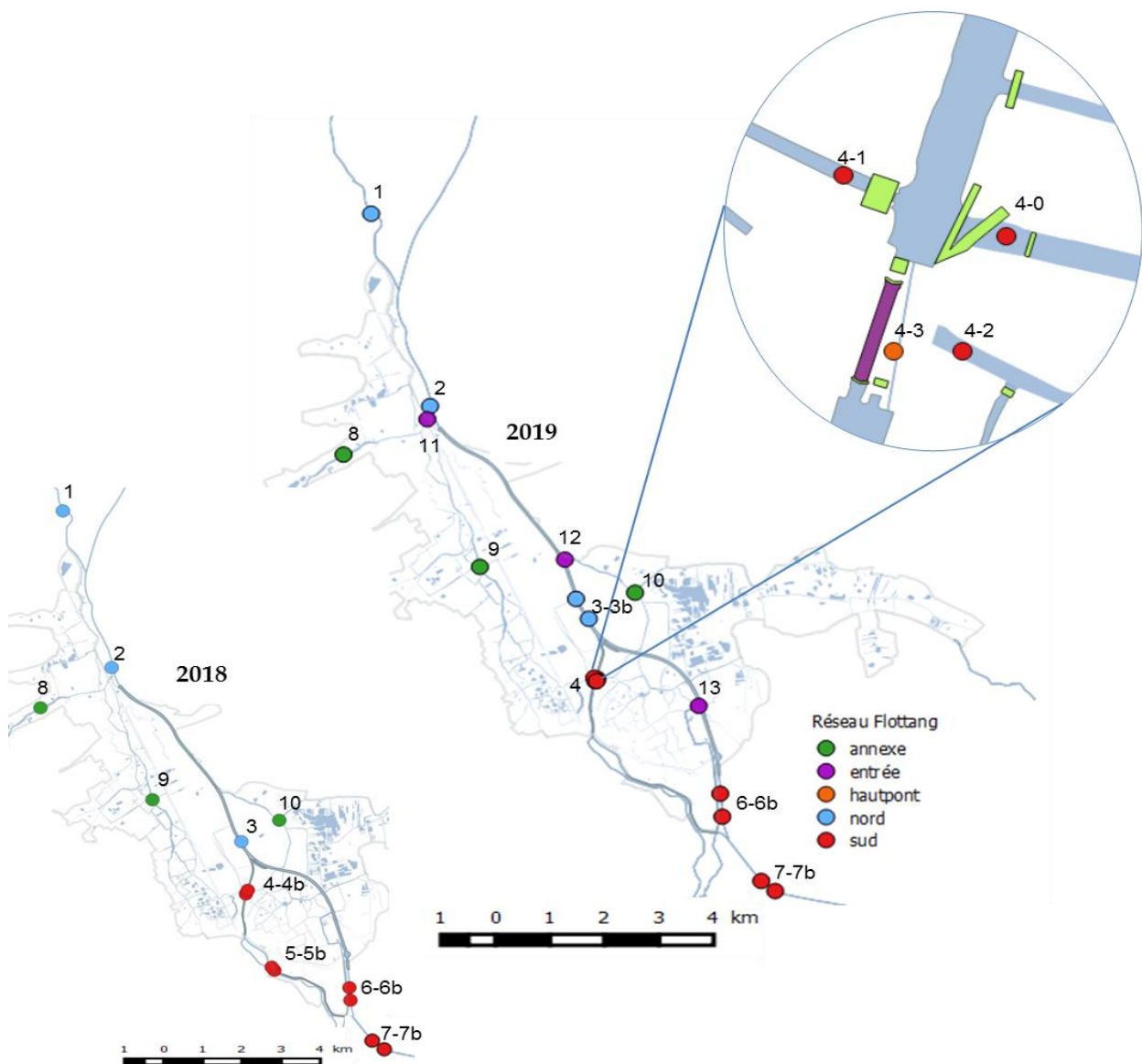


Figure 16 : Zoom sur le marais Audomarois. Localisation des stations en 2018 (14) et en 2019 (18).

ID	NOM	ID	NOM	ID	NOM
1	Ile de Watten	4-3	Aval Hautpont immédiat	8	Annexe Houlle
2	Nord de Watten	4-2	Aval Hautpont 2	9	Annexe Grand Large
3	DépôtVNF	4-3	Aval Hautpont immédiat	10	Annexe Grand Leeck
3b	DépôtVNF rive gauche	5	Aval Saint-Bertin	11	Entrée Houlle
4	Aval Hautpont	5b	Amont Saint-Bertin	12	Entrée Grand Leeck
4b	Amont Hautpont	6	Aval Flandres	13	Entrée Basse Meldick
4-0	Aval Hautpont 0 = 4	6b	Amont Flandres		
4-1	Aval Hautpont 1	7	Amont Fontinettes		
4-2	Aval Hautpont 2	7b	Aval Fontinettes		

Tableau 1 : Nom et codification des stations.

Analyse des résultats

Fiche station

Un descriptif de la station est réalisé lors de la première pose. Des commentaires sont ensuite ajoutés dans le cas de changement dans l'environnement proche des flottangs ou dans le cas de perte ou de vandalisme.

En effet plusieurs pertes de flottangs ont eu lieu dans les secteurs très fréquentés (secteur du Haut-Pont, de Saint-Bertin et aux abords des chemins de halage des écluses).

Mesures physico-chimiques

Pour chaque relève, des mesures physico-chimiques *in situ* sont réalisées. Lors de certaines semaines, les mesures n'ont pas été réalisées pour causes de défaillance du matériel ou encore car l'appareil de mesure était utilisé lors d'autres campagnes (pêches électriques etc.) entrepris par la Fédération aux mêmes périodes.

L'appareil de mesure est une sonde portable Multiparamètres Hach Lange. Les données mesurées sont les suivantes :

- Température de l'eau (en °C)
- Conductivité (en $\mu\text{S}/\text{Cm}$)
- [O₂] dissous, (en mg/l)
- Saturation en O₂, (en%)
- pH

Sondes thermiques

3 sondes Hobo Ware pro ont été positionnées dans des zones stratégiques afin de suivre la température de l'eau tout au long des 2 campagnes :

- Au niveau du Canal à Grand gabarit et la confluence avec le Canal de Neuffossé (suivi thermique de la masse d'eau canalisée).
- Au niveau de l'embarcadère de la commune de Salperwick (suivi masse d'eau marais Ouest).

- Au niveau d'un ponton situé au milieu du wateringue Moreleek (suivi marais Est).

Ces 3 sondes ont permis le suivi de la température pour différents volets du projet FBMA et ont donc été en place lors des deux ans.

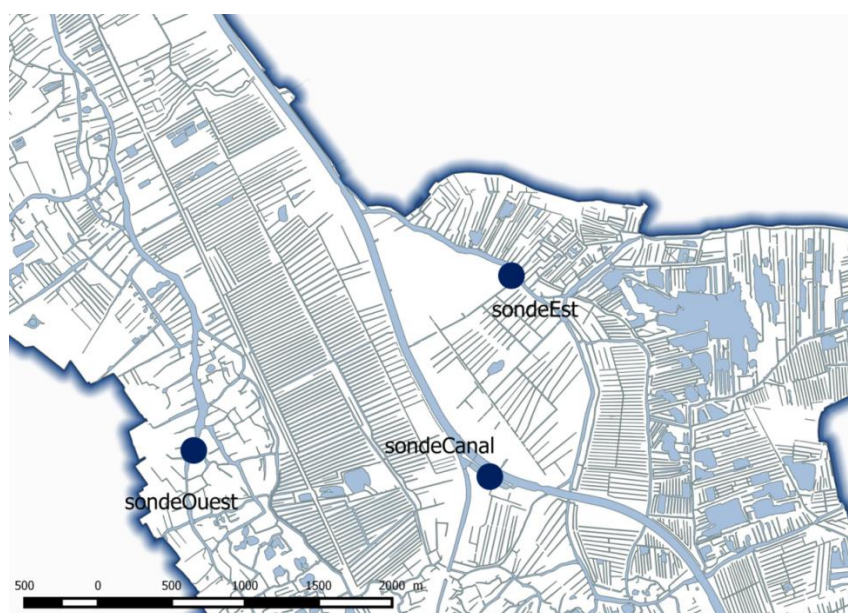


Figure 17 : Localisations des 3 sondes thermiques Hobo Ware.

Analyse des variables

Les variables obtenues seront traitées et analysées avec le logiciel R version 3.6.2. Les packages utilisés lors des analyses sont les packages *vegan*, *ggplot2* et *ade4*.

Comparaison entre deux médianes

Dans notre cas, la structuration des données ne permettant pas l'utilisation des tests classiques de Student. En effet, les conditions de normalité et d'homoscédasticité n'étant pas remplies, c'est le test non-paramétrique de Mann-Whitney-Wilcoxon qui est alors utilisé pour comparer les médianes des deux échantillons. Le seuil de confiance couramment admis étant de 5%, cela signifie que si la p-value du test est inférieure à 0,05, les deux échantillons sont significativement différents.

Comparaisons entre plusieurs médianes

Les conditions de normalité et d'homoscédasticité n'étant également pas remplies dans le cas de comparaisons de plus de deux échantillons, c'est le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis qui est utilisé. Un test post hoc est ensuite utilisé afin de déterminer quelles sont les médianes qui diffèrent deux à deux (*pairwise.wilcox.test*). Le seuil de confiance couramment admis étant de 5%, cela signifie que si la p-value du test est inférieure à 0,05, les deux échantillons sont significativement différents.

Commentaires

Lorsque des barres d'erreur sont représentées, celles-ci correspondent à l'erreur standard calculée comme suivant : $se = \sigma/\sqrt{n}$ avec σ l'écart-type de la variable et n le nombre d'observations.

Résultats

Approche globale

647 anguilles ont été dénombrées au total durant toute la durée du suivi (167 en 2018 et 480 en 2019 dont 249 uniquement pour la station Aval Hautpont immédiat (4-3)).

Captures accessoires

Diverses espèces pouvaient fréquemment être capturées dans les flottangs en plus de l'espèce cible Anguille. Il a pu s'agir par exemple de :

- nombreux invertébrés (*Gammarus*, Mollusques, *Baetis*, etc.).
- plusieurs espèces piscicoles de petites tailles tels que : Gardon, Tanche, Epinoche et même une Lamproie fluviatile en dévalaison. Des œufs issues de la fraie de cyprinidés ont pu également être constatés sur les flottangs .
- Crabes chinois (*Eriocheir sinensis*) et d'écrevisses américaines (*Orconectes limosus*). Ces deux dernières étant des espèces exotiques envahissantes, elles ont été détruites sur place.



Figure 18 : Exemple du contenu d'un flottang et de plusieurs captures accessoires (de gauche à droite : anguillettes capturées à la station Hautpont aval immédiat – Crabe chinois (*Eriocheir sinensis*) - Ecrevisse américaine (*Orconectes limosus*) – Lamproie fluviatile dernier stade de métamorphose (*Lampetra fluviatilis*)).

Sélectivité des engins

La sélectivité des engins de piégeage est validée via l'étude des classes de taille, celles-ci étant effectivement majoritairement comprises entre 70 et 150mm. En effet, les classes de taille dominantes sont comprises entre 80mm et 130mm, ce qui représente 71% des individus.

Globalement, la taille maximale relevée est de 422mm, la taille minimum de 62mm avec une moyenne de 114mm et une médiane de 111mm.

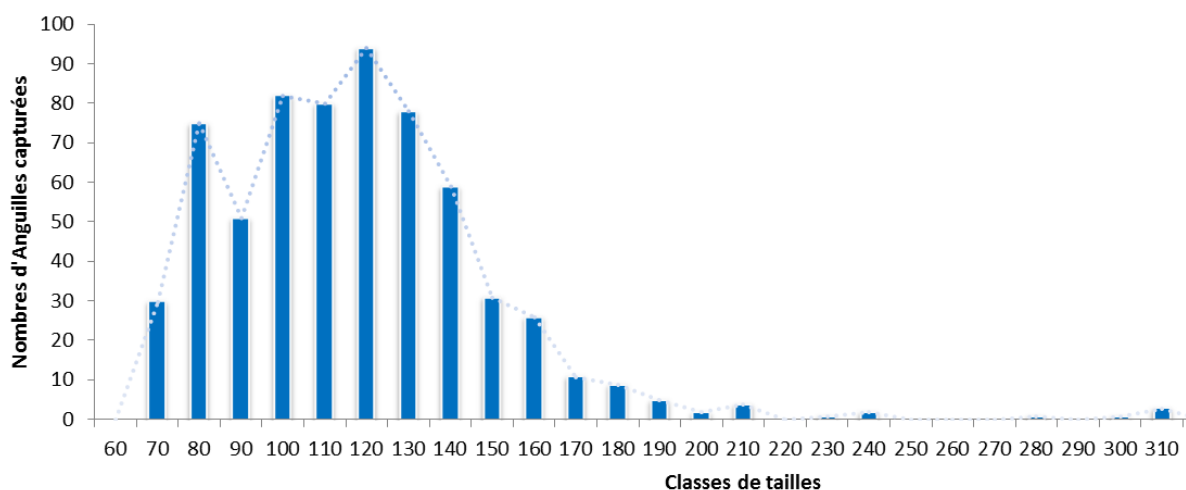


Figure 19 : Histogrammes des classes de taille (en mm) obtenues sur l'ensemble du suivi (2018-2019).

Codes pathologiques

Les résultats sont sensiblement identiques entre les deux années. 91% des individus capturés en 2018 et 96% en 2019 sont sains. Une telle proportion d'individus sans lésion est une information intéressante (figure 20).

Les principales pathologies rencontrées sont les hémorragies en 2018 et les parasites (kystes branchiaux à Myxosporidies) ou les points blancs (*Ichthyophthirius multifiliis*) en 2019, somme toute en proportions assez faibles. Pour les kystes, ceux-ci semblent être

omniprésents dans les milieux lenticules et avec un optimum thermique compris entre 16 et 20°C (Elie et Girard, 2014). Cela peut être corrélé avec les fortes chaleurs observées lors des étés 2018 et 2019 ayant fortement réchauffé les eaux plus lentes du Canal à Grand gabarit.

Il est à noter que la majeure partie des lésions ont été retrouvées sur des sujets capturés principalement sur les stations situées au Nord, « ile de watten-1 » et « sud watten-2 ».

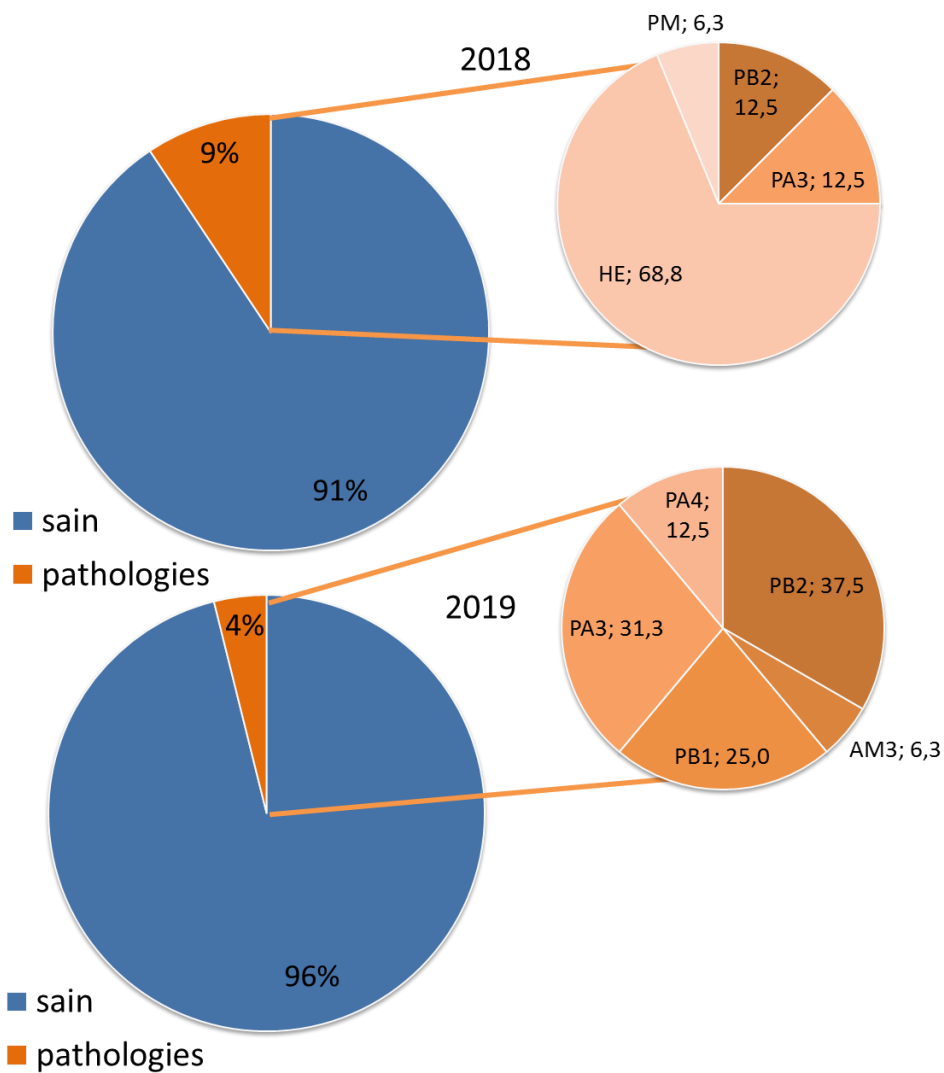


Figure 20 : Résultats globaux des pathologies rencontrées lors des deux ans de suivi flottant (codification selon « Grilles de codification et de quantification des anomalies et parasites visibles à l'œil nu »).

Stades pigmentaires

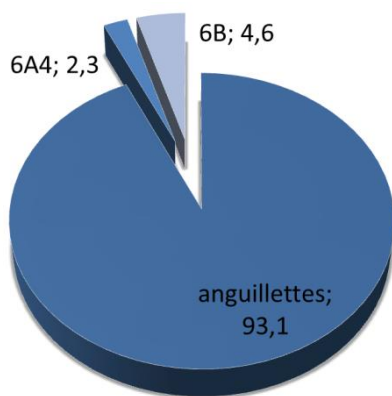


Figure 21 : Proportion des divers stades pigmentaires observés lors de l'étude.

Il a été possible lors du suivi de relever les stades pigmentaires des sujets (à l'aide du guide : « stades pigmentaires de la civelle *Anguilla anguilla* »; IFREMER). Néanmoins le site d'étude étant situé en moyenne à 30km de la zone estuarienne, les jeunes anguilles pigmentées dominent très largement les proportions mesurées. En effet, plus de 93% des individus sont totalement pigmentés. Seuls 2,3% de stade 6A4 et 4,6% de 6B ont pu être dénombrés.

Majoritairement les deux seuls autres stades observés (6A4 et 6B) ont été trouvés sur les deux stations les plus au Nord (« ile de watten-1 » et « sud watten-2 »).

C'était un résultat attendu au regard de la bibliographie et de la distance des stations à la mer (les jeunes stades pouvant très rapidement se pigmenter après leurs passages en eau douce).



Figure 22 : Illustrations d'individus capturés à divers stades pigmentaires (1-Stade VIA4, la partie antérieure est pigmentée à l'exclusion de la zone ventrale ; 2 et 3-Stade VIB la pigmentation dorsale est généralisée ; 4 et 5-Stade anguilllette/Anguille jaune intégralement pigmentée).

Métriques descriptives globales



Figure 23 : Histogramme représentant les occurrences, tailles moyennes et CPUE moyenne par mois pour les deux campagnes (barres d'erreur = erreur standard).

L'évolution de l'occurrence augmente au cours de la saison de suivi. Celle-ci passe de 0,11 au mois d'avril à 0,57 au mois de juillet en 2018 et de 0,16 à 0,54 pour 2019. Elle est jugée significativement différente entre avril/juin et mai/juillet mais pas entre juin/juillet et avril/mai (*pairwise wilcoxtest* : *avril/juin* $p < 0,05$; *mai/juillet* $p < 0,05$).

Les tailles moyennes mensuelles quant à elles sont toutes jugées non significativement différentes entre elles (*Kruskaltest* $p = 0,08$). Même si des disparités peuvent apparaître entre stations, globalement la taille ne diffère pas au cours de la saison.

Les Captures Par Unité d'Effort (capture moyenne/flottang/72h d'effort d'échantillonnage) permettent clairement d'identifier non pas une augmentation graduelle au cours de la saison mais un pic net de captures en juin/juillet. Les jeux de données sont jugés non significativement différents entre avril et mai et entre juin et juillet (*pairwise wilcoxtest* *avril/mai* $p = 0,28$; *juin/juillet* $p = 0,18$). Mais ils sont clairement différents entre les groupes avril et mai face à juin et juillet (*pairwise pairwise wilcoxtest* $p < 0,05$ pour tous).

Variable abiotique considérée

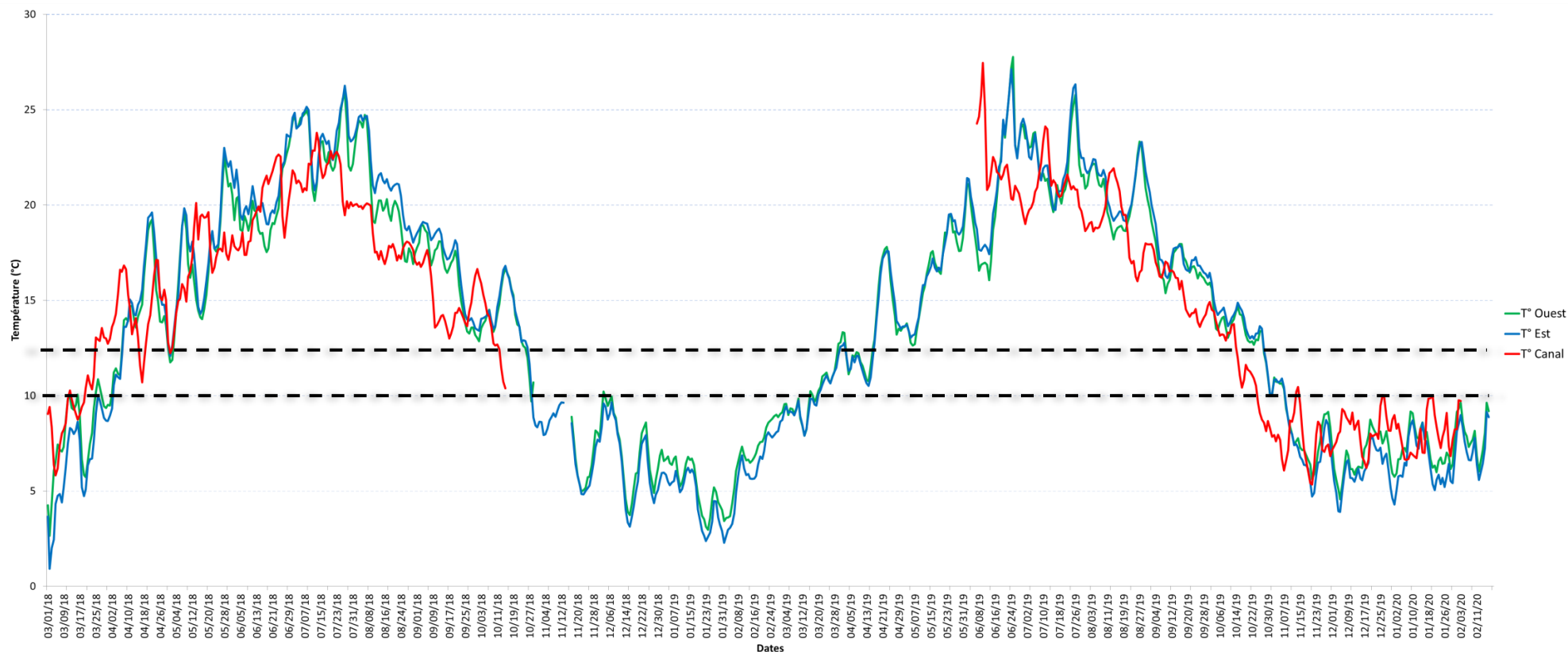


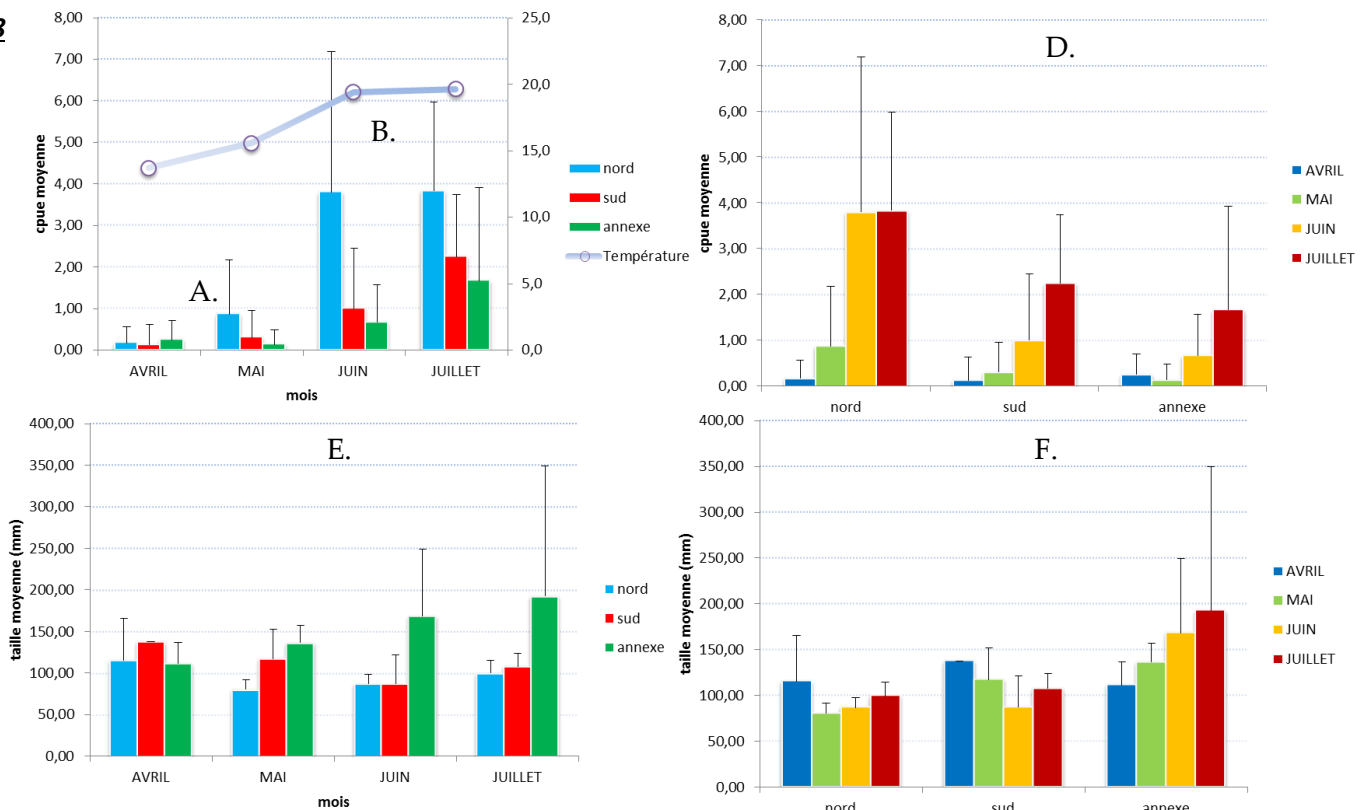
Figure 24 : Suivi de la donnée thermique dans le marais Audomarois (2018-2019).

La seule variable abiotique qui fut considérée lors du suivi est la température puisque les débits et la hauteur d'eau sont gérés artificiellement sur le Canal et restent très homogènes tout au long de l'année (la rupture de la courbe du Canal correspond au vandalisme d'une des sondes et donc à la perte des données associées). Globalement aucune tendance ne semble se dégager entre les données flottang et les données températures. Néanmoins on remarque que la température du Canal a tendance à se réchauffer plus rapidement que les annexes du marais. De plus les gammes d'optimum thermique (10-12°C) permettant l'activité de nage active chez les jeunes anguilles (balisées en pointillés noirs) correspondent aux périodes fin-mars 2018-2019. Les arrivées massives dans le marais étant relevées fin-mai, il est probable que fin-mars corresponde au début de la phase de migration active en eau douce après le passage de l'estuaire de Gravelines.

Approche par réseau

Comparatif mensuel

2018



2019

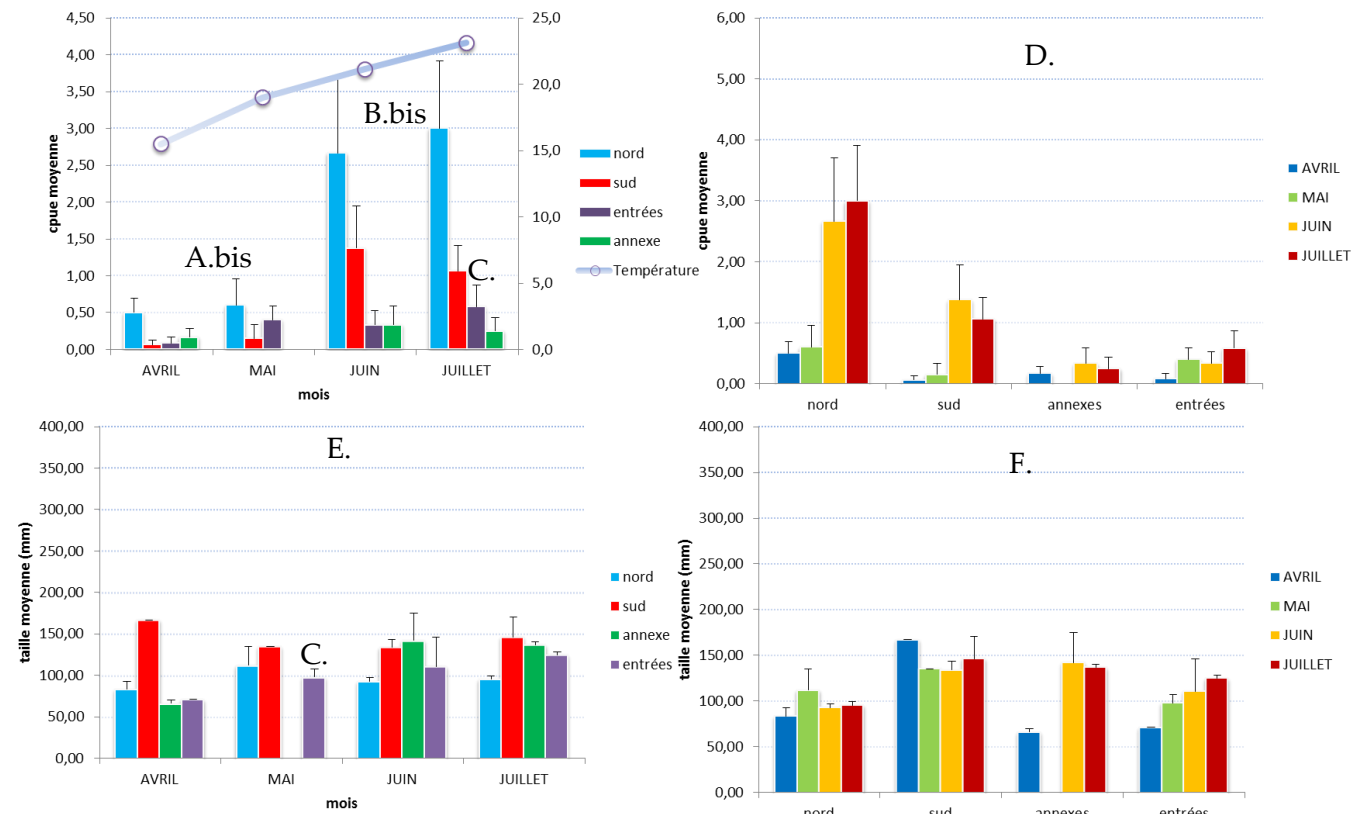


Figure 25 : Analyses des CPUE moyennes et des tailles moyennes par mois et par réseau (Nord, Sud, Annexe et Entrée) pour les campagnes 2018 et 2019. Présentations structurées par mois à gauche et par réseau à droite (barres d'erreur = erreur standard).

Si on observe à présent les résultats obtenus par l'approche réseau, il est possible de mettre en avant plusieurs tendances.

- A. Aucune différence n'est relevée entre les 3 réseaux en avril (*Kruskaltest* $p > 0,6$). Mais au mois de mai, les stations du réseau Nord se démarquent des deux autres (*pairwise wilcoxtest nord/sud* $p < 0,05$; *nord/annexe* $p < 0,05$). En 2019 (A.bis), les tendances sont les mêmes.
- B. Les CPUE moyennes sont jugées significativement différentes entre les 3 réseaux Nord, Sud et Annexe en juin (*pairwise wilcoxtest* $p < 0,05$ pour tous). Ce n'est plus le cas en juillet. Les anguilles ont à cette période vraisemblablement colonisé l'ensemble du réseau flottang. De part la forte disparité inter-station résultent des différences non-significatives en juillet entre les 3 réseaux (*pairwise wilcoxtest* $p > 0,10$ pour tous en 2018). Les résultats sont plus disparates en 2019 qu'en 2018 (B.bis). En effet, au mois de juin et également de juillet, les groupes Nord, Sud et Annexes/Entrées sont similaires (*pairwise wilcoxtest annexes/entrées* $p = 0,48$) sont jugés différents (*pairwise wilcoxtest nord/sud* $p < 0,05$; *sud/annexes* $p < 0,05$; *nord/annexes* $p < 0,05$).
- C. Le déploiement du réseau Entrée fut d'une réussite mitigée, les résultats en termes de CPUE moyennes et de tailles moyennes sont très similaires avec le réseau Annexes. La seule divergence forte observée se trouve être avec la station Entrée sur la Houle (cf approche stationnel).
- D. L'observation des CPUE présentées par groupe/mois permet de mieux visualiser le pic important et soudain sur les stations Nord et graduel sur les stations Sud et Annexes. Hormis avril/mai pour les 3 réseaux et juin/juillet pour le Nord (*pairwise wilcoxtest* $p < 0,10$), les autres jeux de données sont significativement différents au seuil admis en 2018. En 2019, des pics similaires sont indentifiés mais la tendance est différente puisque les CPUE moyennes sont significativement différentes par station uniquement pour les groupements avril/mai et juin/juillet.
- E. En 2019 et en 2018, les tailles moyennes ne sont pas significativement différentes en avril (*pairwise wilcoxtest* $p > 0,4$ pour tous). Mais elles sont jugées différentes entre Nord/Sud pour mai, juin et juillet (*pairwise wilcoxtest sud/nord* $p < 0,05$ pour le couple en mai, juin et juillet) et en mai/juin entre les Annexes et le Nord. (*pairwise wilcoxtest mai nord/annexe* $p < 0,05$; *juin nord/annexe* $p < 0,05$). Pour le réseau Entrée déployé en 2019, celui-ci ne se distingue pas des autres. Mais ce fait est lié à l'hétérogénéité des tailles retrouvées sur les Entrées (Entrée Houle similaire au réseau Nord avec des plus petites tailles et les autres plus grandes tailles cf approche stationnelle).
- F. Si des différences apparaissent entre les réseaux, ce n'est pas le cas entre les mois. La taille moyenne n'est pas significativement différente au cours de la saison au sein du même réseau.
- G. Le cas de la station du Haut-Pont est remarquable en ce sens qu'elle doit être décrite à part. Tant ses valeurs sont différentes de l'ensemble des autres stations et faussent ainsi le comparatif du réseau Sud pour 2018 et 2019.

Ainsi, la CPUE moyenne croît au cours de la saison et se démarque de part ses valeurs élevées (pour rappel, max toutes stations = 3,8 et max Haut Pont =11,3 en juillet). Les tailles ne sont quand à elle pas significativement différentes entre les mois et ne sont donc pas représentées ici (*Kruskaltest* $p>0,2$).

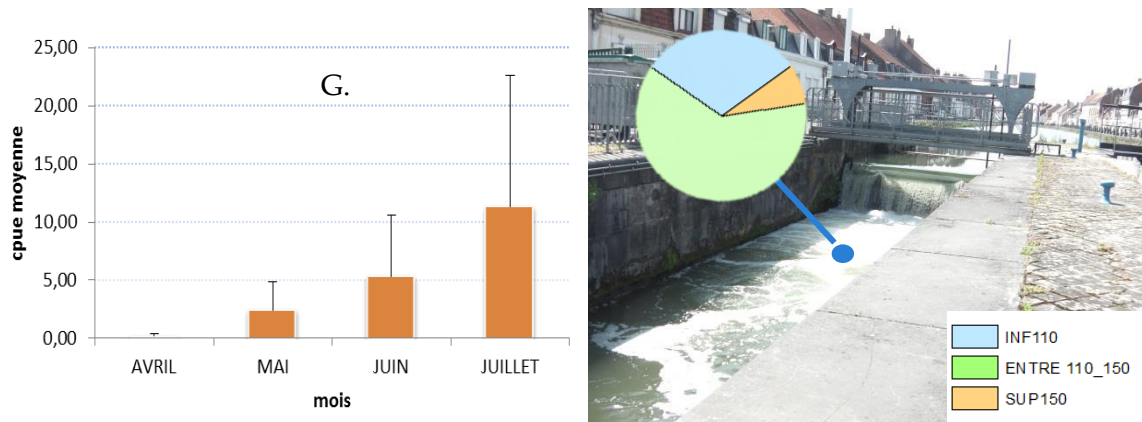


Figure 26 : CPUE moyenne (à gauche) pour la station Hautpont aval immédiat placée en 2019 et proportion des classes de taille mesurées avec une représentation de la station (barre d'erreur = erreur standard).

Comparatif hebdomadaire

La présentation des captures par relève est très utile afin de remplir les objectifs d'identification de la cinétique migratoire. Les captures sont présentées encore une fois regroupées par réseau afin de permettre une meilleure lisibilité des résultats (Figure 27).

- Lors de l'année 2018, la première arrivée remarquable de jeunes anguilles a lieu dès le 07/05/2018 sur les stations du réseau Nord et Sud à la fois, ce qui sous-entend un déplacement rapide du flux en début de saison. Deux grands pics sont ensuite identifiés : début mai (entre le 01/06/2018 et le 14/06/2018) et début juillet (autour du 05/07/2018).

Si les arrivées dans le réseau Annexe ne semblent pas suivre une tendance particulière, les stations du réseau Sud montrent un pic de capture en général 2 semaines après l'apparition d'un pic de capture sur le réseau Nord.

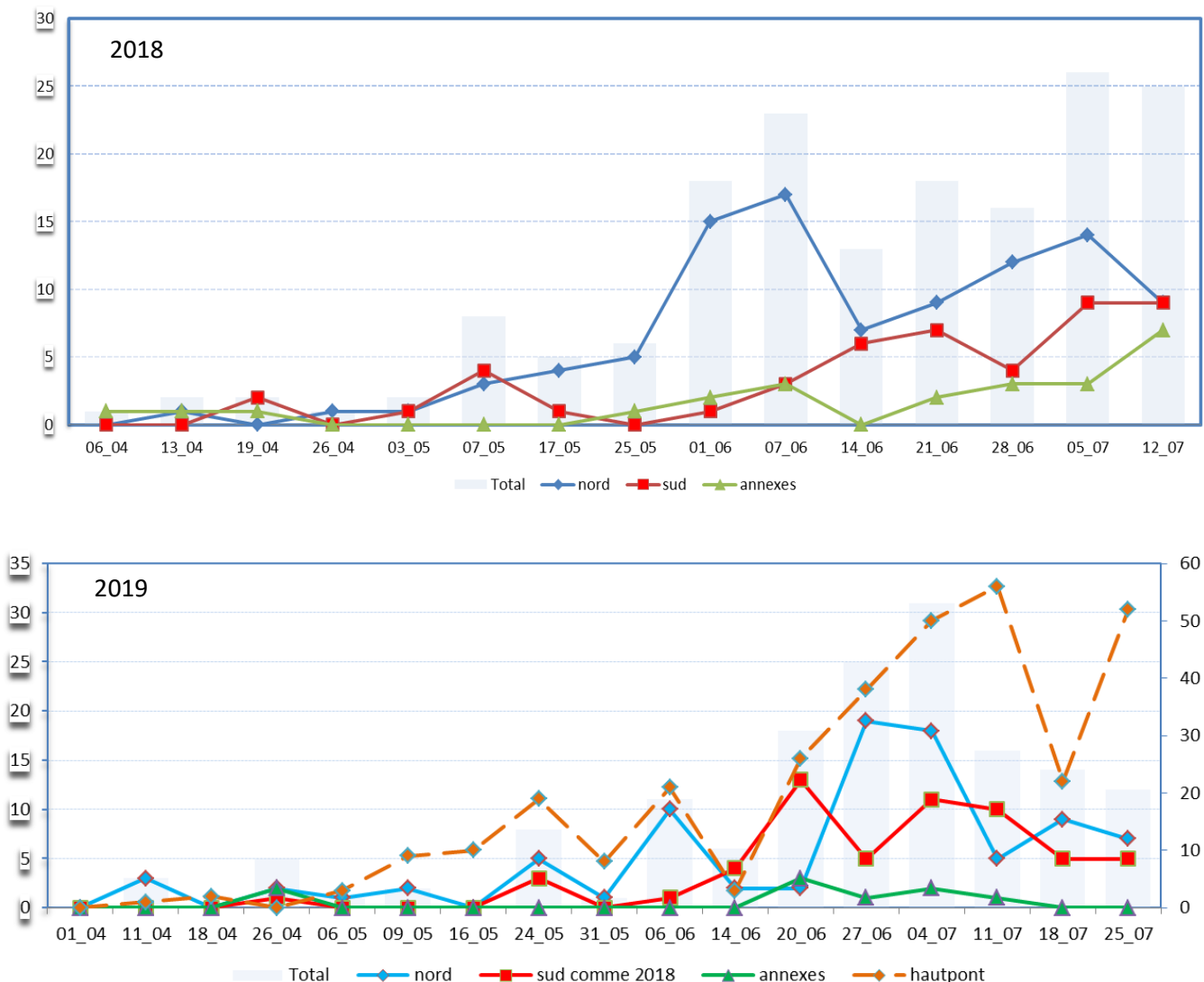


Figure 27 : Nombre d'anguilles capturées par relève (72h) par réseau Nord, Sud et Annexes pour 2018 et 2019. La station du Hautpont aval immédiat est présentée en axe secondaire en 2019.

- Lors de l'année 2019, des tendances similaires à l'année 2018 peuvent être listées telles que :
 - l'identification des 2 pics migratoires début juin et début juillet.
 - une arrivée des premières captures conjointe entre le Nord et le Sud mais plus tard le 24/05/2019
 - un pic de captures au Sud en général 2 semaines après l'apparition d'un pic de captures sur le réseau Nord et l'absence de réelles tendances sur le réseau Annexes.
- En revanche, si les pics de captures sont bien décalés dans le temps au Sud et au niveau du Hautpont aval immédiat, ce n'est pas le cas pour le réseau Nord. Au contraire, les pics de captures sont très proches sur les stations appartenant aux réseaux Nord pour le 24/05/2019 et le 06/06/2019 puis croît jusqu'à début juillet.

Approche stationnelle

CPUE moyenne par station

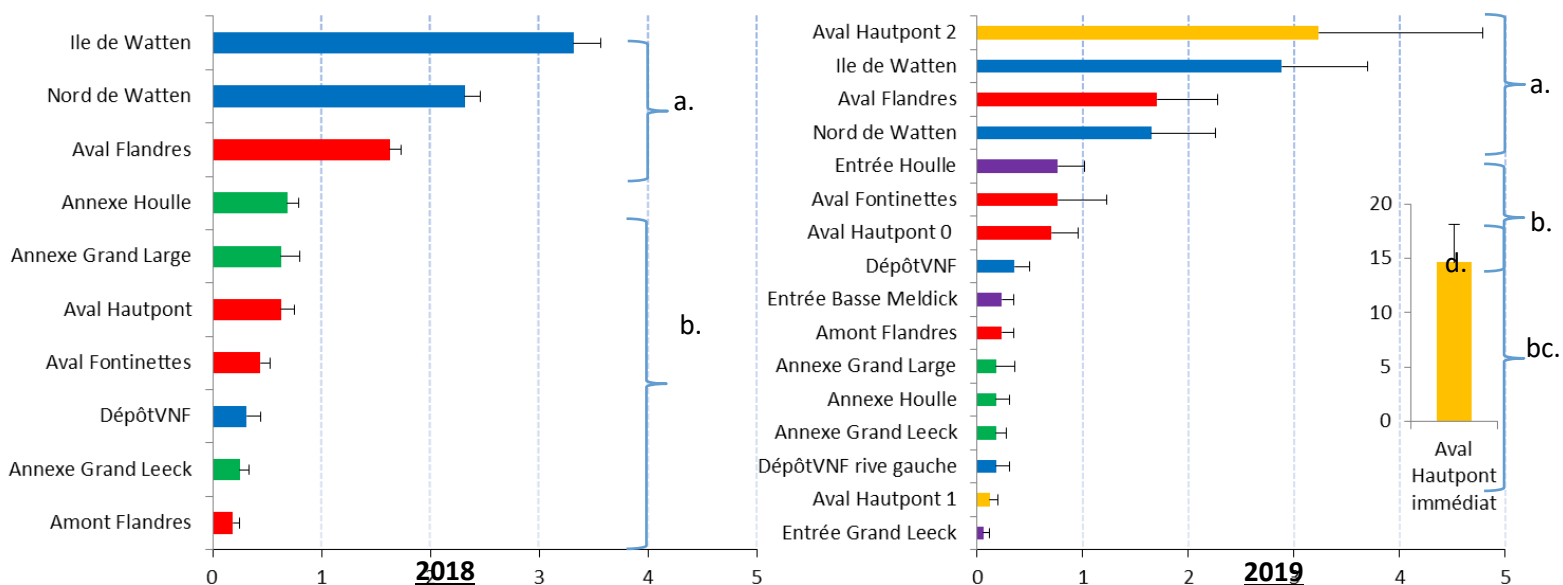


Figure 28 : Captures par Unité d'Effort moyenne par station en 2018 et 2019 (barre d'erreur = erreur standard). Avec en bleu les stations du réseau Nord, rouge Sud, vert Annexes, orange Hautpont et violet Entrée.

Classer les stations par ordre croissant de CPUE moyenne permet de définir les plus attractives ou fonctionnelles lors du suivi. C'est sans surprise les stations situées les plus au Nord et proches de la mer qui présentent les chiffres les plus importants de captures mais aussi l'aval immédiat de l'écluse des Flandres et l'aval du Hautpont (phénomène d'accumulation).

En 2018, Ile de Watten, Nord de Watten et Aval Flandres sont jugées significativement différentes des autres (*pairwise wilcoxon test* $p < 0,05$) mais sont semblables entre elles (*pairwise wilcoxon test* $p > 0,05$). Du tableau de significativité résultent deux groupes statistiquement comparables (nommés a. et b.).

En 2019, 4 groupes de significativité se démarquent (nommé a, b, bc et d). Avec :

- une CPUE moyenne très importante pour Aval Hautpont immédiat (d.).
- une CPUE importante pour aval Hautpont 2, Ile de Watten, aval Flandres, Nord de Watten (a.).
- une CPUE moyenne pour Entrée Houlle, Aval Fontinettes, aval Hautpont (b.).
- une CPUE faible pour toutes les autres stations (bc.).

Tailles moyennes par station

En 2018, les anguilles capturées sont en moyenne significativement plus petites sur les stations du réseau Nord (Ile de Watten, Nord de Watten, dépôtVNF ; médiane 86mm ± 65) et sur la station Flandres aval (*pairwise wilcoxtest* $p < 0,05$ pour chaque couples citées). Les stations aval Hautpont, aval Flandres et aval Fontinettes (médiane 106mm ± 42) présentent significativement des classes de taille plus grandes que les stations citées précédemment (*pairwise wilcoxtest* $p < 0,05$ pour chaque couples citées). Il est à noter que amont Flandres n'est pas jugée différente de aval Flandres (*pairwise wilcox test* $p > 0,3$). Enfin, les classes de taille mesurées dans le réseau Annexes (médiane 131 mm ± 291) sont encore significativement plus grandes que les autres.

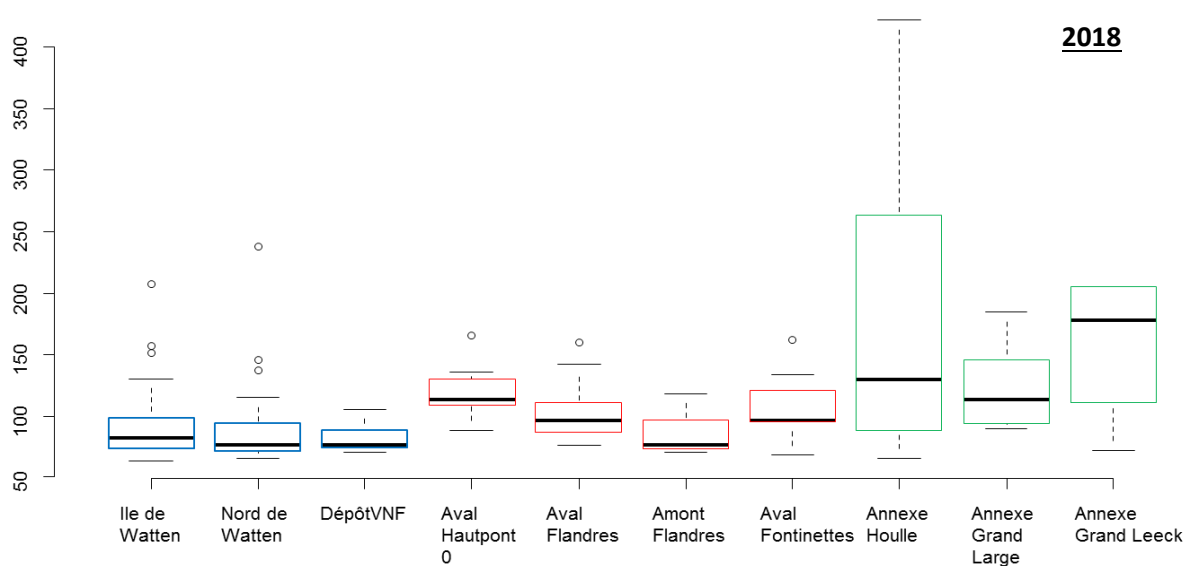


Figure 29 : Boxplots des tailles moyennes par station en 2018.

En 2019, les tendances sont similaires hormis pour la station dépôt VNF différentes des autres stations situées au Nord de part des tailles plus grandes qu'en 2018 (*pairwise wilcoxtest* $p < 0,05$ pour chaque couples). Amont Flandres présente aussi une médiane divergente de par ses valeurs quelques peu

aberrantes (plusieurs captures d'anguilles de plus de 250mm dans ses flottangs). La dernière tendance concerne les stations des Annexes qui ne sont ici pas significativement différentes des stations situées sur les Flandres et les Fontinettes (*pairwise wilcox test* $p < 0,5$).

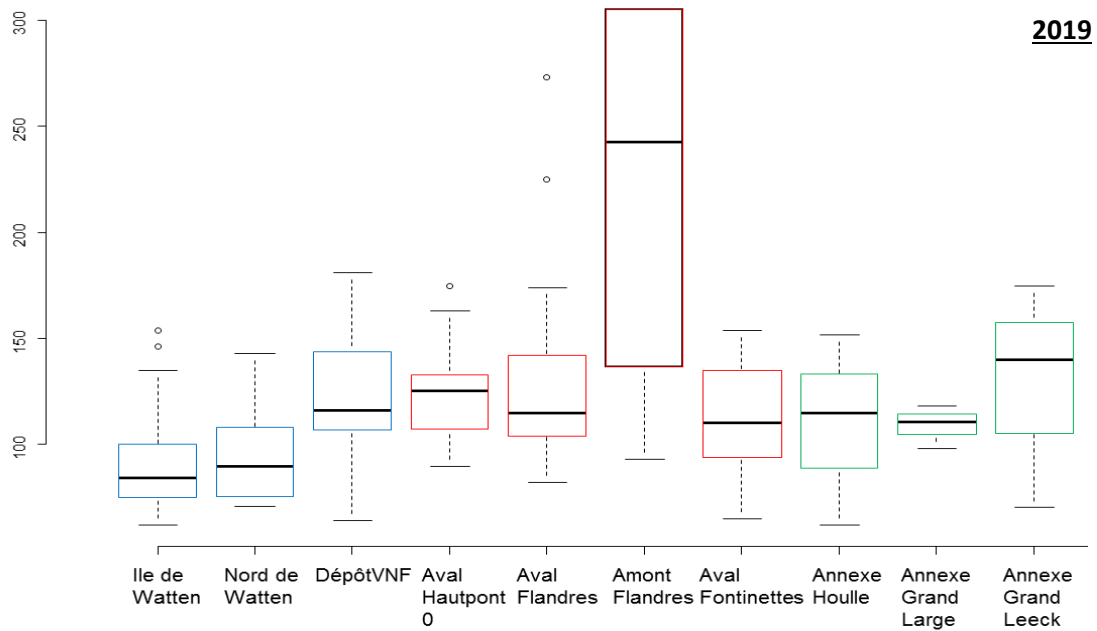


Figure 30 : Boxplots des tailles moyennes par station en 2019.

Par rapport aux nouvelles stations suivies en 2019, pour améliorer l'analyse (figure 31), celles-ci présentent des classes de taille significativement plus grandes que sur les stations Ile de Watten et Nord de Watten excepté Entrée Houle (*pairwise wilcox test* $p < 0,05$ pour tous les couples et $p = 0,9$ pour Entrée Houle/Ile de Watten/Nord de Watten).

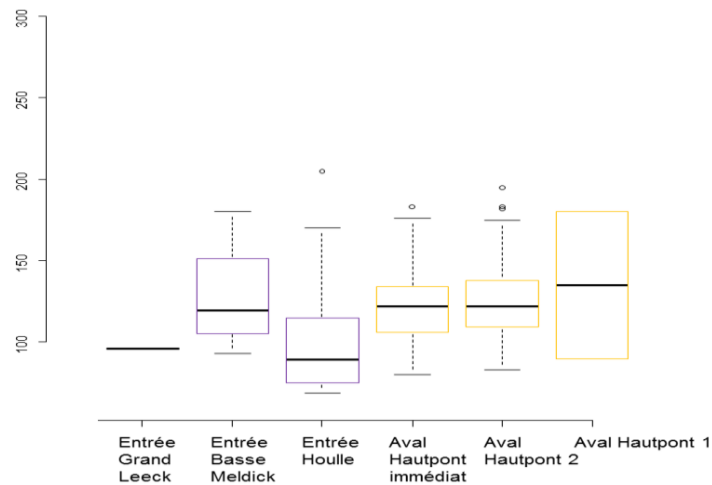


Figure 31: Boxplots des tailles moyennes par station suivi en 2019.

Approche cartographique

La présentation des résultats sous forme cartographique sous-tend des observations similaires avec celles décrites précédemment mais permet néanmoins de résumer l'information de façon didactique et concise (figure 32 et 33).

Occurrence par station

En 2018, les occurrences les plus importantes sont relevées sur les stations au Nord du réseau (Ile de Watten et Nord de Watten notamment) ainsi que les stations en aval des ouvrages.

Des valeurs de zéro sont mises en évidence au niveau de l'amont du Hautpont (station 4b) et

sur les deux stations de l'écluse de saint Bertin (qui furent ainsi supprimées en 2019).

En 2019, les tendances restent inchangées hormis l'observation de l'occurrence la plus élevée relevée sur la station à l'aval immédiat du Hautpont.

Nombre d'anguilles par classes de taille

En 2018, le nombre d'anguilles capturées est similaire aux observations des CPUE moyennes. A savoir : des captures importantes aux Nord du réseau et à l'aval des ouvrages du Hautpont et des Flandres.

Les proportions des tailles inférieures à 110 mm décroissent graduellement vers l'amont du réseau marais au profit de la classe de taille comprise entre 110 et 150 mm.

Les observations globales de 2019 sont similaires avec des captures remarquables encore une fois sur la station Hautpont aval immédiat.



Figure 32 : Résultats en occurrence du piégeage par flottang en 2018 et 2019. La valeur associée correspond à la proportion de relève avec au moins une anguille dans un flottang.

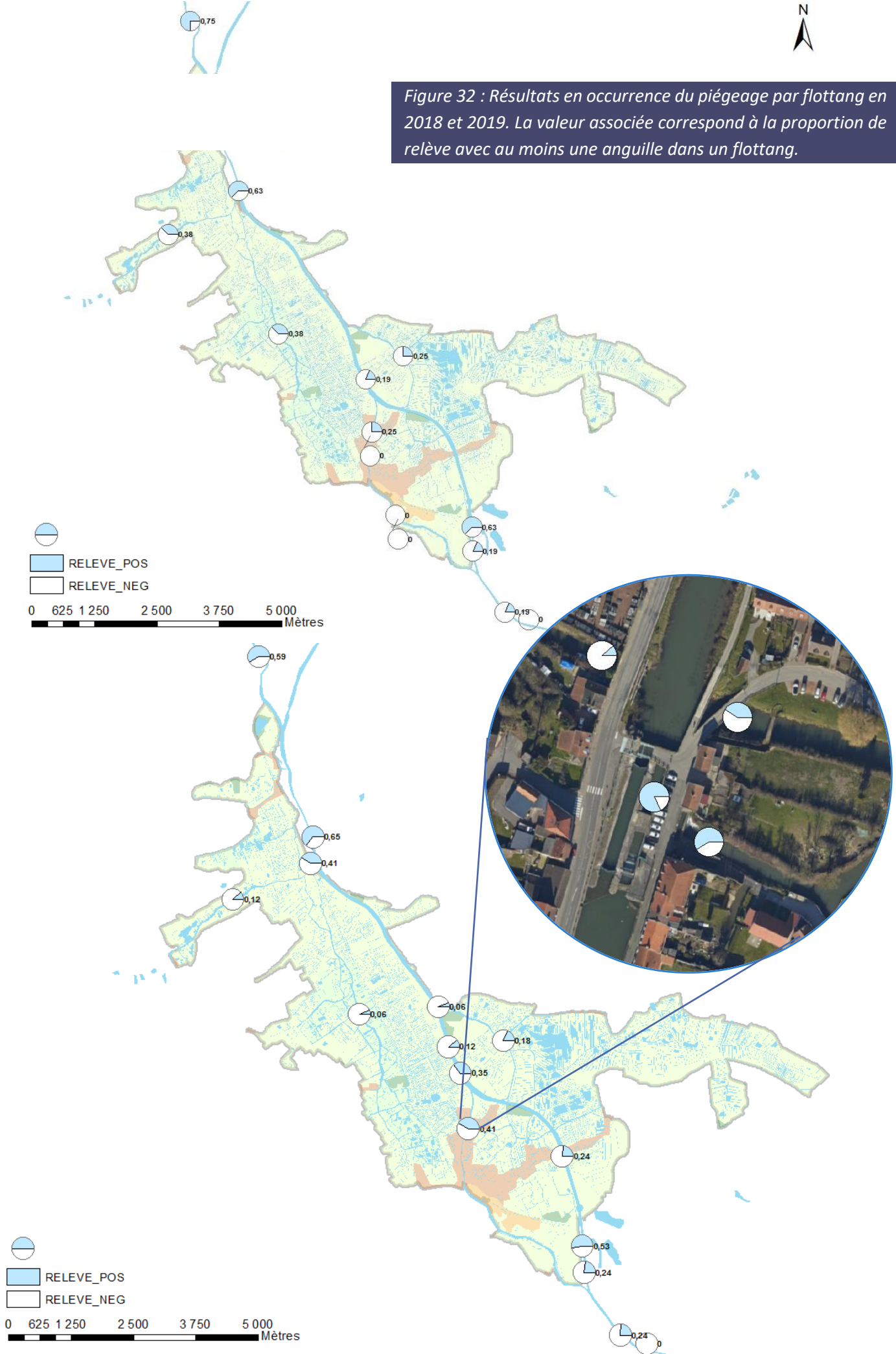


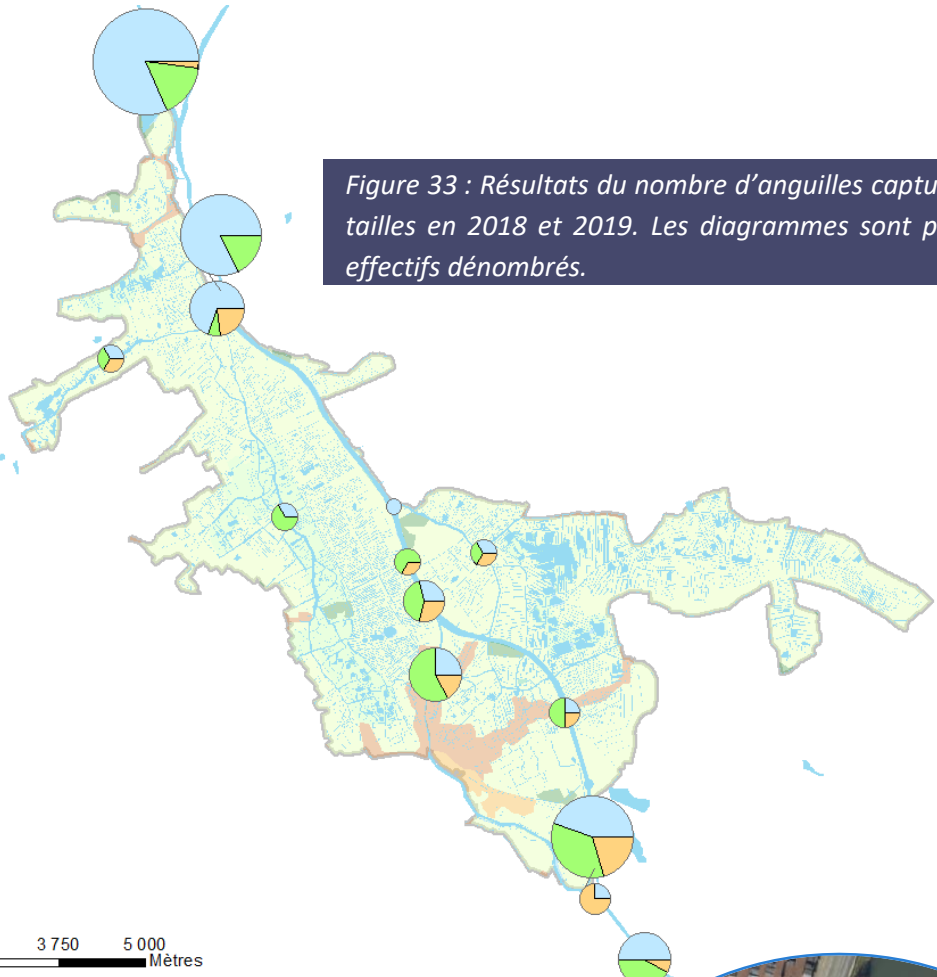
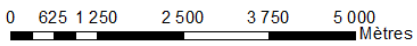


Figure 33 : Résultats du nombre d'anguilles capturées par classe de tailles en 2018 et 2019. Les diagrammes sont proportionnels aux effectifs dénombrés.

Somme des champs



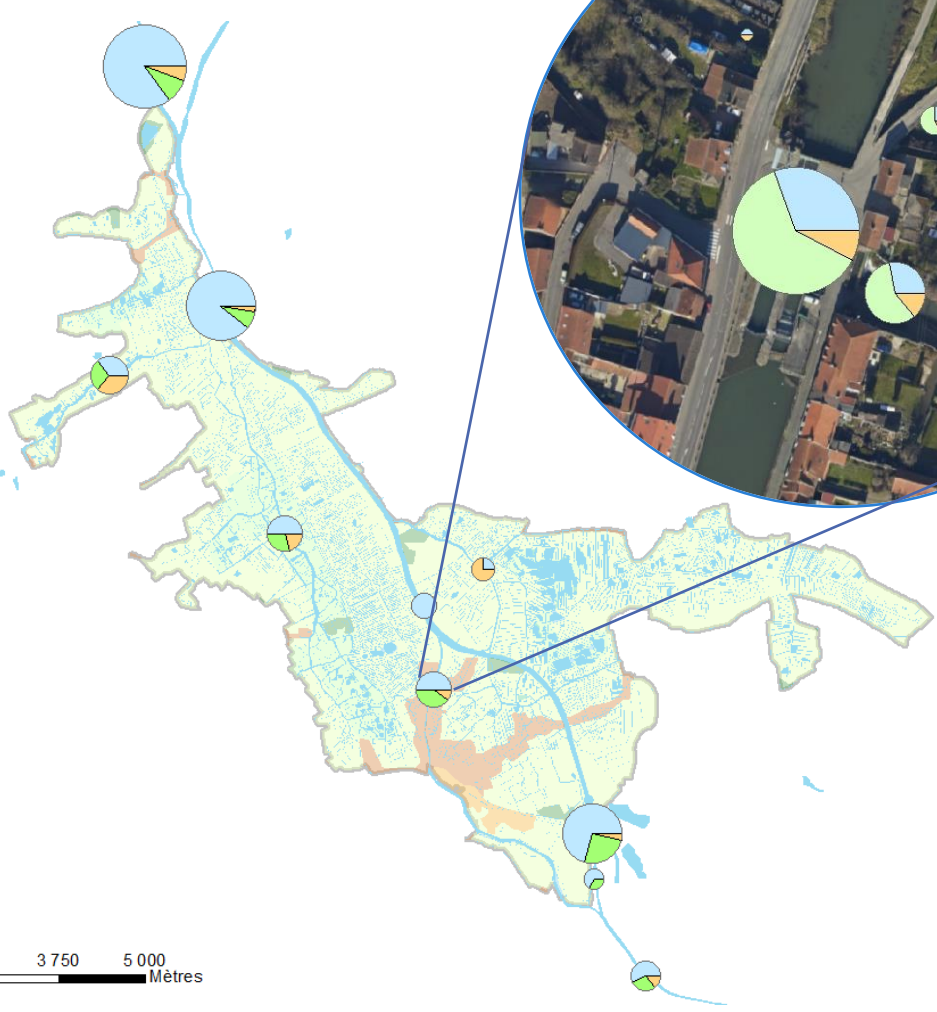
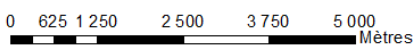
- INF110
- ENTRE 110_150
- SUP150



Somme des champs



- INF110
- ENTRE 110_150
- SUP150



Approche situationnelle remarquable

Cette dernière approche a pour vocation de stigmatiser certaines situations ou cas spécifiques qui ont pu être relevés lors des deux campagnes de suivi. Elle est étroitement corrélée avec les observations explicitées précédemment.

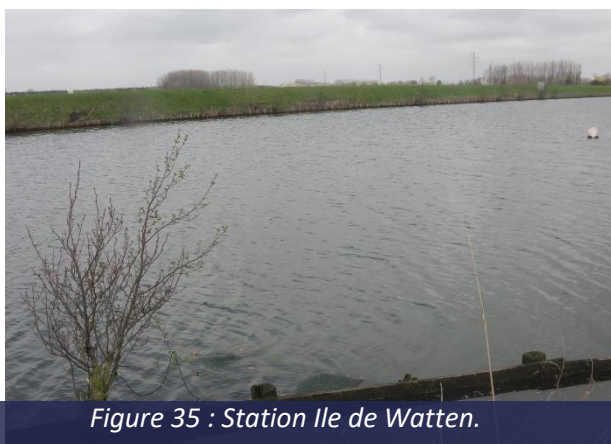


Figure 35 : Station Ile de Watten.

L'exemple de la station la plus au Nord

La station Ile de Watten, située en limite Nord de la zone d'étude sortait quelque peu du périmètre tout d'abord alloué au déploiement de l'étude mais celle-ci nous a permis d'acquérir des données essentielles. C'est en effet sur cette station que les stades pigmentaires les moins avancés ont été relevés ainsi que les tailles les plus petites. Si ces résultats étaient attendus ils nous ont permis d'émettre des comparatifs avec les autres stations plus au Sud.

Exemple migration rive-dépendante avec la station dépôt VNF

La station dépôt VNF située en rive droite et la station placée en 2019 sur la rive gauche nous a permis de mettre en évidence une migration probablement rive-dépendante. En effet, des CPUE moyennes sensiblement plus importantes ont été relevées en rive droite confirmant le bon placement initial de cette station en 2018.



Figure 36 : Station Dépôt VNF.



Figure 37 : Ouvrage du Haut Pont et diagrammes proportionnels des captures.

L'exemple du Haut Pont

L'ensemble des indicateurs étudiés ont permis de mettre en évidence un attrait certain et un point de blocage net de la migration des anguillettes à l'aval immédiat de l'ouvrage du Haut Pont. Près de 5 fois plus d'anguilles y ont été dénombrés pour des classes de taille variées ($123,9 \text{ mm} \pm 103$). Cet axe semble être à privilégier afin de permettre une conquête plus efficace de l'Aa par l'espèce Anguille (via la ;, Haute Meldyck).

Les ouvrages au Sud de l'axe canalisé



Figure 38: Ecluse des Fontinettes et flottangs posés en aval avec un sujet adulte argenté mort.

L'écluse des Flandres (ROE57218)

Les indicateurs ont également permis de mettre en exergue un ralentissement de la migration au niveau de l'écluse des Flandres. Si celui-ci n'est pas certifié en 2018 via l'analyse des tailles (significativement semblables entre l'amont et l'aval), il l'est en 2019. De plus un phénomène d'accumulation en pied d'ouvrage semble avoir eu lieu avec des CPUE moyennes plus élevées en aval qu'en amont pour les campagnes.

Le scénario le plus vraisemblable au regard des résultats est une accumulation des anguillettes au pied d'ouvrage lors de leur migration anadrome et un passage non sélectif par rapport à la taille grâce aux sassements de l'écluse. L'espèce étant tributaire des sassements pour passer il est logique que les données soient différentes d'une année à l'autre. En effet, en 2019, des travaux importants de réfection de l'écluse amont (Fontinette) ont nécessité une mise en chômage de l'écluse sur la période de mi-juin à mi-juillet (et donc une rupture du trafic sur ce bief).

Si l'écluse des Flandres ne semble pas être un point de ralentissement critique, il serait néanmoins intéressant de poursuivre une analyse de la cinétique migratoire ou du franchement de cet ouvrage (2019 n'étant pas représentatif d'un fonctionnement normal à cause de la mise en chômage de l'écluse).

L'écluse des Fontinettes (ROE57220)

En revanche si l'ouvrage des Flandres ne semble pas un point de blocage strict, il n'en est pas de même avec les Fontinettes. En effet aucune anguille n'ayant été comptée à l'amont de l'ouvrage sur les deux années, des questionnements restent en suspens concernant la franchissabilité de l'ouvrage. Celle-ci est probablement permise via les sassements mais au regard de l'absence de résultats à l'amont, la franchissabilité de cet ouvrage reste complexe si ce n'est compromise en partie.

Des flottangs ont aussi été placés au niveau de l'exutoire des eaux de sassement de l'étang de Batavia afin de mettre en évidence une éventuelle présence de petites classes de taille mais aucune anguille ne fut piégée. (cf présentation du réseau p.19). En revanche, plusieurs cadavres de sujets de grandes tailles ont pu être observés.

Autres observations parallèles

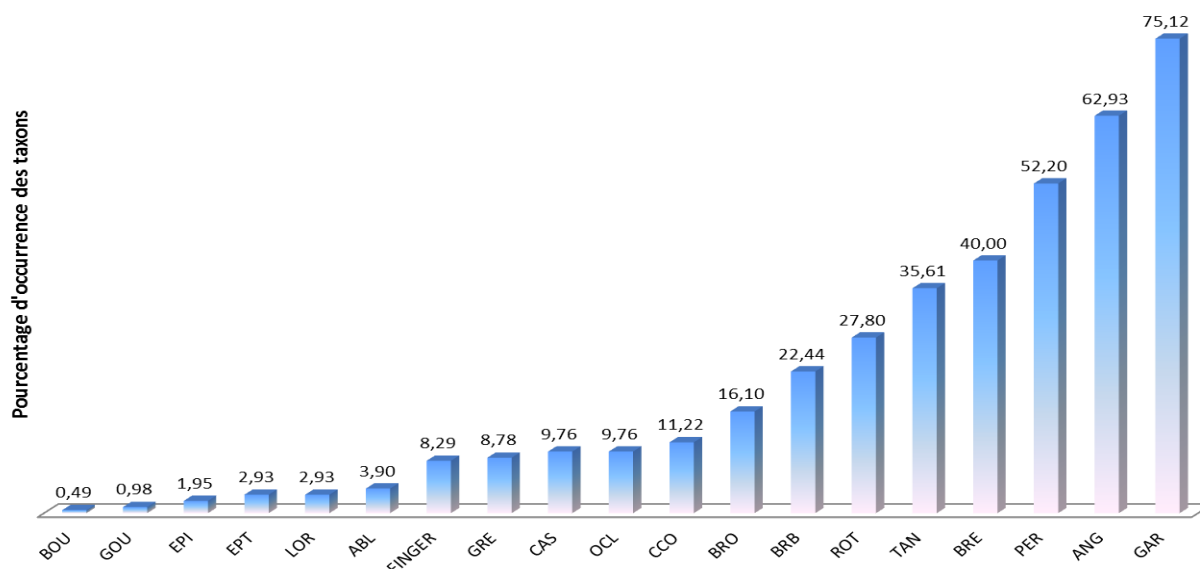


Figure 39 : Pourcentage d'occurrence des diverses espèces retrouvées dans le réseau secondaire du marais Audomarois sur 205 inventaires de 5min (Code taxon FINGER = Brochet 0+) (cf : Focus Brochet chapitre Indice d'Abondance Brochetons).

Parallèle avec le Focus Brochet

Lors du Focus Brochet réalisé dans le cadre du projet FBMA, il a été possible de déployer un vaste maillage d'inventaires grâce au volet Indice d'Abondance Brochetons. En effet, c'est au total plus de 37km de réseau secondaire (principalement fossés) qui furent échantillonnés pour 205 sites. Si les sites ont été sélectionnés au regard de leurs potentiels d'accueil pour l'espèce Brochet, les autres taxons ont été notés à titre de présence/absence. Ainsi il nous a été permis de mettre en évidence la présence de l'espèce Anguille sur 60% des 205 stations. C'est l'une

des 3 espèces la plus répandue avec la Perche et le Gardon.

Ainsi si les annexes du marais semblent manquer d'attractivité, les anguilles arrivent tout de même à parvenir dans les fossés plus éloignés et colonisent bien le marais, mais néanmoins en densité très faible (à titre indicatif pas plus de 1 ou deux sujets vus par station si occurrence positive).

Parallèle avec le Focus ADNe

L'ADN de l'espèce Anguille a été détecté sur 100% des 14 stations de prélèvement présenté dans le Focus ADNe.

Si ces deux observations sont intéressantes, elles n'offrent néanmoins aucune donnée quantitative.

Parallèle avec le suivi flottang réalisé sur Gravelines par la FDAAPPMA59

La FDAAPPMA du Nord a pu plusieurs années de suite poursuivre un suivi des civelles/anguillettes également à l'aide de flottangs, lors de la saison estivale. L'étude a mis en évidence une baisse graduelle de la CPUE (effort de piégeage de 24h) au départ de l'écluse 63bis de Gravelines et le long de l'axe du canal de l'Aa en direction de la ville de Saint-Omer (5 zones de piépages tous les 5km). Celle-ci passe de 12 au maximum à 1 au minimum à l'amont.

Dans tous les cas l'ouvrage de Gravelines laisse passer les sujets (CPUE parfois même

supérieure en amont selon les années et classes de taille similaires) mais si l'écluse semble être franchissable sans difficulté pour l'espèce Anguille (notamment par la vantelle), les conclusions des rapportages du Nord mettent en avant des difficultés de passage pour les autres migrateurs. Des travaux de réfection et d'automatisation des manœuvres sont prévus pour début 2020.

L'ouvrage délimité par la FDAAPPMA59 comme limite du front de colonisation sur l'axe canal Aa est également l'écluse des Fontinettes.

Parallèle avec les campagnes de monitoring Anguille sur l'Aa en 2017

Dans le cadre de sa mission de surveillance des populations d'anguilles (RSA 62), la FDAAPPMA62 a prospecté le contexte Delta de l'Aa, le bassin versant de la Hem et le bassin versant de l'Aa en 2017 (prochaine campagne sur ce secteur en 2020). Les conclusions sont les suivantes :

- contexte Hem : Le contexte Hem semble colonisé en premier et être un axe de migration privilégié. La population y est équilibrée malgré l'absence des classes [50-150 mm] à partir de la partie médiane du bassin.
- Contexte Aa : La rivière Aa présente des populations déséquilibrées et vieillissantes après la station située sur la commune d'Esquerdes, et ce jusqu'en tête de bassin. Le recrutement et donc le renouvellement de la population dans le temps semble non assuré.

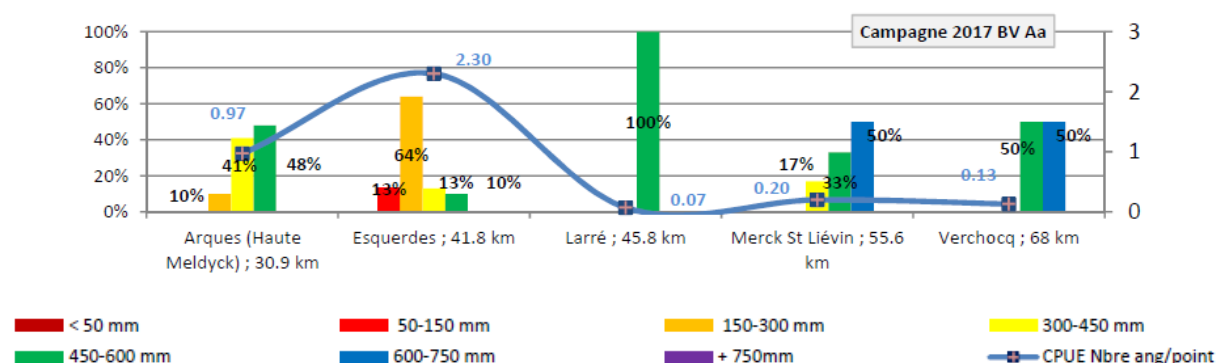


Figure 40 : Extrait des résultats du monitoring Anguille de 2017 sur le contexte bassin de l'Aa (FDAAPPMA62).

C'est ainsi que, 62% du cours principal de la Hem qui est colonisé par les jeunes stades contre seulement 34% pour le bassin de l'Aa (données 2011 – 2014 - 2017).

Remarques : Les difficultés de reconquête du bassin de l'Aa amont pour les jeunes anguilles ont notamment conduit à la mise en place de 7 sites de déversement de civelles sur lesquels au total 34.6kg ont été répartis (Déversements réalisés le 02/02/2019 par le bureau d'étude Fishpass).

Les identifications des différents points de blocage ou de ralentissement ainsi que l'identification des flux migratoires et de leurs cinétiques répondent donc bien aux interrogations émises lors du suivi monitoring de 2017.

Discussion

L'utilisation des flottangs

Le déploiement de la méthode d'échantillonnage par flottang sur le marais Audomarois nous a séduit de par sa praticité et nous a permis d'atteindre les objectifs fixés au démarrage du projet. L'engin passif a prouvé sa sélectivité des classes de taille de moins de 150mm et a permis aux travers des différentes approches (globale, par réseau et stationnelle) de mettre en exergue diverses tendances.

Par rapport aux classes de taille, des correspondances entre l'âge et la taille sont couramment admises comme suit (données issues de L.Beaulaton Agrocampus Rennes CCTP en Annexe 1 p.19) :

< ou = à 110 mm	→ 6 mois
]110 -150]	→ 1 an
]150 - 190]	→ 2 ans
]190 - 240]	→ 3 ans

Tableau 2 : intervalle de classes tailles et âges associés.

Ainsi 90% des sujets inventoriés sont logiquement des sujets issus du recrutement de l'année en cours (<150 mm).

Identification des tendances

L'approche globale a permis de mettre en évidence une proportion majoritaire d'individus sains et déjà pigmentés dans le marais. Si l'occurrence et les CPUE évoluent au cours des mois, les tailles moyennes restent non-significativement différentes d'une manière globale.

L'étude temporelle par réseau a permis d'identifier :

- Les premières dates d'arrivées des sujets dans l'hydrosystème (24/05/2019 et 07/05/2018).
- Les périodes de pics migratoires sont début juin et début juillet au sein du marais.
- Une hausse des CPUE au cours de la saison (de avril à juillet).
- Une taille moyenne non significativement différente au cours de la saison pour une station mais différente entre les réseaux (Nord, Sud et Annexes).
- Une non-corrélation des captures du réseau Annexes et des autres permettant d'avancer l'hypothèse d'un manque d'attractivité des annexes du marais (cf. approche stationnelle).
- La station aval immédiat du Hautpont qui se distingue fortement des autres en termes de captures permettant de caractériser l'accumulation des anguilles au pied de l'ouvrage au cours de la saison (cf. approche situationnelle remarquable).

Par rapport à l'analyse des classes de taille, si aucune différence significative n'est notée globalement entre les mois, des divergences apparaissent à nos yeux à l'échelle stationnelle. Ainsi les tailles les plus petites sont relevées sur les stations au Nord, moyenne sur les stations Sud et plus grandes sur les stations dans les Annexes du marais (pour 2018 tout du moins).

En définitive, les objectifs d'évaluation de la fonctionnalité écologique du Marais pour l'espèce ont été atteints via :

- Identification de la cinétique migratoire (arrivée massive dans l'hydrosystème).
- Identification de l'attractivité des diverses Entrées du marais. Les Annexes semblent être limitées en termes d'attractivité (excepté pour la rivière de la Houlle plus au Nord). Les anguilles privilégient l'axe canalisé pour leur migration anadrome et ensuite coloniser les différents bassins.
- Identification des points de blocage:
 - L'écluse du Haut-Pont (ouvrage liste 2 – art. 214-17 / Zone Action Prioritaire Anguille, avec aucune anguille observée à l'amont). Ce point est aussi attractif que bloquant par rapport à son placement. En effet, un décloisonnement de cet axe permettrait la reconquête pour l'espèce de la Haute Meldyck et par là de la masse d'eau Aa rivière. Un rapportage de présence de Truite de mer à l'aval de l'ouvrage du Haut Pont (déclarations de captures de pêcheurs) laisse à penser que d'autres poissons grands migrateurs peuvent choisir cet axe en plus de l'Anguille. Si la mise en place d'une passe à brosses pour l'Anguille serait louable (figure 41), la solution à privilégier devrait être une passe multi-espèces (type passe à bassins successifs).
 - L'écluse des Fontinettes et son fonctionnement par bassinnet semble rendre la migration de l'espèce complexe (aucune anguille observée à l'amont).

Ces observations coïncident avec la bibliographie et notamment avec le comportement migratoire densité-dépendant de l'espèce (Edeline E., 2005). En effet, il est admis que l'Anguille a une stratégie dispersive principalement orientée vers la colonisation et celle-ci est notamment densité-dépendante (attractivité alimentaire et disponibilité des habitats d'accueil).

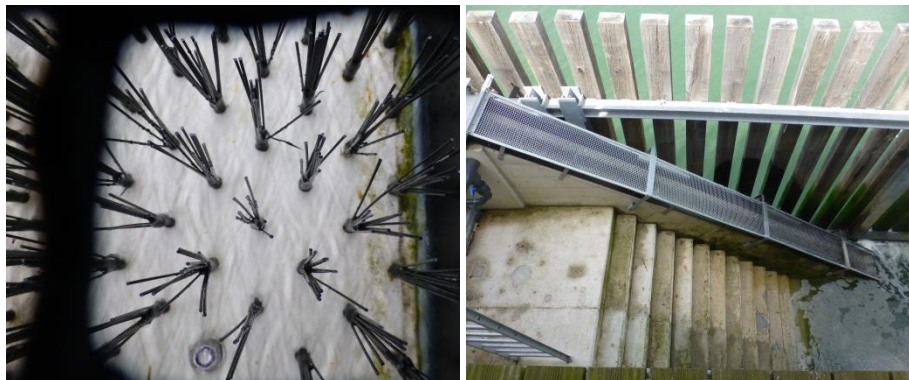


Figure 41 : Exemple d'une passe piège à brosses pour l'espèce Anguille (Localisée sur l'ouvrage à la mer Marguet à Boulogne sur mer – 62). Un équipement utile transposable à l'écluse du Haut Pont.

Problèmes et limites rencontrés

En termes de retour d'expérience, si la méthode a rempli nos attentes, certains problèmes ont tout de même été rencontrés comme le vandalisme important sur plusieurs sites. En effet, plusieurs dispositifs ont été vilipendés, notamment sur les stations aux abords des zones urbaines (les stations autour des ouvrages de Saint Bertin et du Haut Pont majoritairement). Il semble que cacher au mieux les engins passifs est plus efficace que laisser des étiquettes ou des panneaux explicatifs à la vue de tous.

Plusieurs flottangs ont aussi été perdus autour des écluses Fontinettes et Flandres. En effet, il est possible que la corde utilisée au début ne fût pas assez résistante aux forces de frottements liées aux changements de niveau d'eau, au batillage engendré par le sassement des péniches. Le gestionnaire sur place (VNF) a pu dans la majorité des cas récupérer les flottangs en dérive. Comme il le fut précédemment cité dans la partie résultats, une grande période de mise en chômage de l'écluse des Fontinettes a eu lieu de la mi-juin à la mi-juillet 2019 pour réaliser d'importants travaux de réfection de l'écluse. Le bief étant fermé à la circulation fluviale, il est possible que les résultats des captures sur cette période soient non-représentatifs pour les stations situées dans le bief (p.42).

En termes de facteurs environnementaux, une forte canicule a eu lieu lors de l'été 2019 ainsi qu'une période d'étiage sévère sur de nombreux bassins du département dont le marais. Il est possible que les fortes chaleurs puissent en partie expliquer les effectifs et les CPUE moyennes légèrement moins importantes en juillet 2019 par rapport à juillet 2018 (mais non statistiquement significativement différentes). En effet divers retours d'expérience ont pu mettre en évidence une relation entre la température quotidienne et l'occurrence (A.Chenal 2017). Le flottang étant constitué de polymère plastique, celui-ci peut se réchauffer fortement au soleil dans des eaux lenticules et lors d'épisodes caniculaires. Le dispositif serait ainsi moins attractif lors de ces périodes, les jeunes anguilles privilégiant les abris naturels plus profonds à proximité. Ce paramètre pourrait être à étudier dans le futur.

Lors des relèves, des données physico-chimiques *in situ* ont été notées mais aucune corrélation entre les différents paramètres et les données d'occurrence ou de CPUE n'ont pu être révélées malgré les diverses analyses utilisées (ACP, régression logistique...). Il n'a ainsi pas semblé pertinent de les présenter dans le rapport, excepté pour les facteurs de la température de l'eau et de l'air (p.31).

Enfin une dernière critique peut être émise par rapport à l'axe de la rivière Basse Meldyck. En effet, des effectifs négligeables d'anguilles ont été capturés sur la station flottang 13 : Entrée Basse Meldyck. Or des effectifs importants de jeunes anguilles ont été remarqués dans les flottangs lors de leur période de stabulation devant les locaux de la Fédération (afin de laisser les flottangs « neufs » se coloniser par les micro-algues). Cette observation est à prendre à titre indicatif. En effet, aucune donnée de CPUE n'a été notée à cette période. Il est ainsi mis en évidence que l'axe principal de colonisation de la Aa rivière se fait via la Basse Meldyck car une certaine fraction du contingent migrant ne peut pas coloniser le bassin par la Haute Meldyck car l'écluse du Haut Pont est strictement infranchissable.

Conclusion et perspectives

Le suivi déployé sur deux années en 2018 et 2019 grâce à la méthode flottang de capture par piégeage passif, a permis de mettre en évidence des grandes tendances et de répondre aux hypothèses préalablement énoncées mais aussi de produire des pistes de réflexions futures.

Pour rappel, les objectifs étaient les suivants : étude de la cinétique, du flux migratoire et des points de ralentissement ou d'accumulation et donc de blocage de la migration. Des préconisations hiérarchisées en fonction des enjeux / zones ciblées peuvent être émises.

3 axes de travail peuvent se distinguer afin d'améliorer les points suivants :

- 1- L'arrivée en zone estuarienne à Gravelines.**
- 2- L'attrait du marais Audomarois et son dédale de voies d'eau.**
- 3- La colonisation de l'Aa rivière.**

- 1- Si le passage des jeunes anguilles via le complexe d'écluses situées à Gravelines laisse effectivement transiter cette espèce, il pourrait être possible d'améliorer encore son efficience.

Des travaux de réfection de l'écluse étant en cours, il serait judicieux de poursuivre des suivis flottangs dans le futur, notamment avec le placement de plusieurs stations flottangs amont et aval et sur les 2 rives tout en prenant en compte le marnage ; avec par exemple une station en aval de l'écluse Vauban, en amont de l'écluse Vauban, en aval rive droite de l'écluse 63bis et en amont (possible sur les deux rives) de 63bis puis des stations intermédiaires afin d'observer une éventuelle accumulation et à l'amont et l'aval de la rivière d'Oye. Un plan schématique est proposé en annexe.

- 2- Le premier aperçu des captures des petites classes de taille des anguilles (moins de 150mm) semblerait donc confirmer que le recrutement dans le marais Audomarois n'est pas optimal. En effet, si l'espèce est bien présente dans le marais (occurrence 60% sur 205 stations d'inventaires dans le réseau de fossés et 100% sur les 14 stations d'inventaires ADNe 2018), les annexes du marais semblent manquer d'attractivité (excepté la Houlle) et présentent des CPUE.

Un travail sur la réouverture du milieu ou des tentatives de hausse de l'attractivité de la zone de grossissement du marais pourrait être bénéfique. De même, une attention toute particulière devrait être apportée aux anguilles pouvant être retrouvées dans les boues de curage lors des travaux d'entretien des voies d'eau par la 7ème section des waterings.

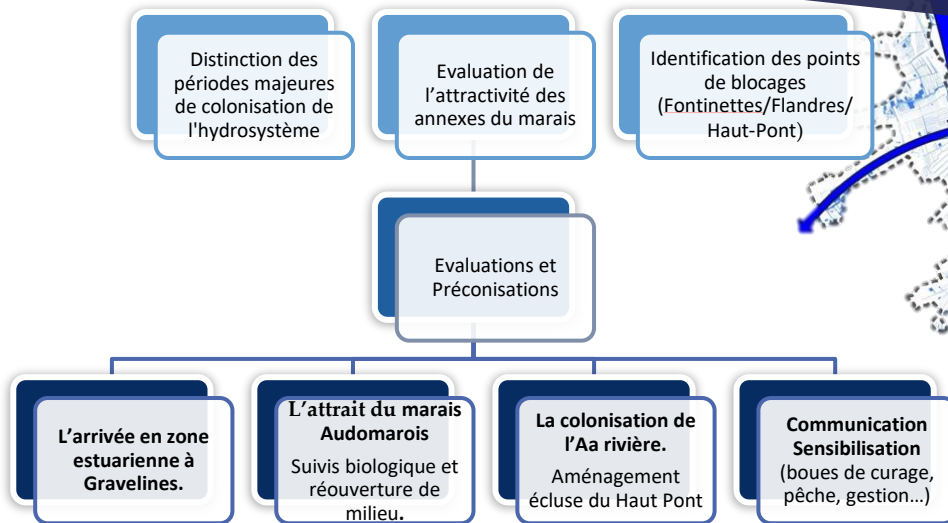
- 3- Les anguilles semblent privilégier l'axe canalisé pour entreprendre leur migration vers l'amont et plus particulièrement via la Basse Meldyck afin de rejoindre l'Aa rivière. Les études parallèles de la FDAAPPMA62 ont mis en exergue une population déséquilibrée et vieillissante sur l'amont de l'Aa. L'étude flottang ayant démontré le blocage de l'ouvrage du Haut Pont pour la migration des jeunes stades, un projet d'équipement de celui-ci pourrait fortement aider à la reconquête de l'espèce sur ce bassin.

Un suivi peut aussi être envisagé sur le bief Flandres – Fontinettes et à l’amont des Fontinettes sur l’axe canalisé, zone où vraisemblablement les plus petites cohortes sont absentes. Donc le front de colonisation a été identifié.

Un suivi similaire sur l’Audomarois pourrait également être reproduit après plusieurs années afin d’émettre un comparatif avec le présent rapport couvrant la période 2018-2019 ; ou dans le cadre de la volonté de l’actualisation et la révision du PDPG 2.0 du Pas-de-Calais, ou encore dans le cadre de la révision du PLAGEPOMI 2015/2021.

En définitive les données récoltées et leurs analyses ainsi que les préconisations apportées devraient pouvoir orienter les gestionnaires dans leurs axes de travail et dans l’évolution et la surveillance des populations d’anguilles dans le marais Audomarois.

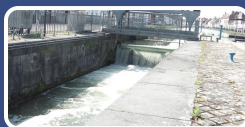
Ce qu'il faut retenir !



Identification des flux migratoires :

- ✓ Les périodes des pics migratoires ont lieu début juin et début juillet sur le marais.
- ✓ Une hausse des CPUE est observée au cours de la saison (de avril à juillet).

→ Une taille moyenne non significativement différente au cours de la saison pour une station mais différente entre les 3 réseaux (Nord, Sud et Annexes).



Identification des points de blocage :

→ Une non-corrélation des captures du réseau Annexes et des autres permettant d'avancer l'hypothèse d'un manque d'attractivité des annexes du marais.

☒ La station aval immédiate du Haut Pont qui se distingue fortement des autres en termes de captures permettant de catégoriser l'ouvrage comme strictement infranchissable pour l'espèce.



Préconisations en 3 points :

- 1- L'arrivée en zone estuarienne à Gravelines.
- 2- L'attrait du marais Audomarois et son dédale de voies d'eau.
- 3- La colonisation de l'Aa rivière

* Schéma représentant les flux migratoires des jeunes anguilles sur le territoire du marais Audomarois.

Bibliographie

ACOU A, BOURY P, LAFAILLE P CRIVILLI AJ FREUNTEUN E 2005. Towards a standardized characterization of the potentially migrating silver eel (*Anguilla anguilla*), Arch. Hydrobiol, 164 (2) : 237-255.

ALS, T. D., HANSEN, M. M., MAES, G. E., CASTONGUAY, M., RIEMANN, L., AARESTRUP, K., & BERNATCHEZ, L. (2011). All roads lead to home: panmixia of European eel in the Sargasso Sea. *Molecular Ecology*, 20(7), 1333-1346.

ANTUNES C., TESCH F-W., 1997, A critical consideration of the metamorphosis zone when identifying daily rings in otoliths of European eels, *Anguilla anguilla* (L.). *Ecology of Freshwater Fish*, 6 : pp 102-107.

AVISE J C, NELSON WS ARNOLD J KOEHN RK WILLIAMS GC THORSTEINSSON V. 1990 the evolutionary genetic status of Icelandic eels, *evolution*,44 (5) 1254-1262

DE CASAMAJOR M N , PROUZET P, 2000. Identification des flux de civelles (*Anguilla anguilla*) à partir des relations d'allométrie en fonction des conditions hydroclimatiques de l'estuaire de l'Adour, *Aquat. Living Resourc*, 13 ; 411-20.

DE CHARLEROY, D., GRISEZ, L., THOMAS, K., BELPAIRE, C., & OLLEVIER, F. (1990). The life cycle of *Anguillicola crassus*. *Dis. Aquat. Org*, 8, 77-84.

DURIF C 2003. La migration d'avalaison de l'anguille européenne *Anguilla anguilla*: caractérisation des fractions divalentes, phénomène de migration et franchissement d'obstacles. Université de Toulouse III, thèse 350p

EDELIN E., 2007. Adaptive phenotypic plasticity of eel diadromy. *Marine Ecology Progress Series*, 341, 229–232.

ELIE P., LECOMTE-FINIGER R., CANTRELLE I., CHARLON N., 1982, Définition des limites des différents stades pigmentaires durant la phase civelle d'*Anguilla anguilla* L. (poisson téléostéen anguilliforme)., *Vie et Milieu* 32 :149-157.

FEUNTEUN E., ACOU A., GUILLOUET J., LAFAILLE P. LEGAULT A., 1998, Spatial distribution of an eel population (*Anguilla anguilla*) in a small coastal catchment of northern Brittany (France)., *Consequences of hydraulic works. Bulletin Français de Pêche et Pisciculture*, 349 : 129-139.

FEUNTEUN E., LAFAILLE P., ROBINET T., BRIAND C., BAISEZ C., OLIVIER J-M., ACOU A., 2003, A review of upstream migration and movements in inland waters by anguillid eels. Toward a general theory. In Aida K., Tsukamoto K., Yamauchi K., *Eel Biology*. Tokyo, Springer Verlag, 191-213.

GRELLIER P, HUET J ET DESAUNAY Y, stades pigmentaires de la civelle *Anguilla anguilla* (l.) dans les estuaires de la Loire et de la vilaine. (pigmentation stages of *anguilla anguilla* (l.) glass-eels from the estuaries of Loire and Vilaine. *IFREMER* 19p

ICES, 2018, Report of the Joint EIFAC/ICES Working Group on Eels (WGEEL).

INSTITUE INTERDEPARTEMENTALE DES WATERINGUES ; Présentation des écluses de Gravelines et de leur fonctionnement : Extraits du CCTP du marché d'exploitation des écluses.

IUCN, 2008, Red List of Threatened Species, www.iucnredlist.org.

KLECKER RC, MCCLEAVE JD, WIPPELHAUSER GS, 1983. Spawning of American eel, *Anguilla rostrata*, relative to thermal fronts in the Sargasso Sea, *Environmental Biology of Fishes*, 9 (3/4)289-293.

LAFAILLE P., CARAGUEL J.M., LEGAULT A., 2007. Temporal patterns in the upstream migration of European glass eel at the Couesnon estuarine dam, *Estuarine, coastal and shelf science*, 73(1-2) : 81-91.

LECOMTE-FINIGER R., 1994, The early life of the European eel. *Nature*, 370 : 424 p.

MCCLEAVE J.D., BRICKLEY P.J., O'BRIEN K.M., KISTNER D.A., WONG M.W., GALLAGHER M., WATSON S.M., 1998, Do leptocephali of the European eel swim to reach continental waters ? Status of the question., *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 78, 285-306.

MCCLEAVE JD, 2001. Physical and behavioural control on the oceanic distribution and migration of *leptocephali*, *Journal of Fish Biology*, 43 : 243-273.

NILO P., FORTIN R. 2001 Synthèse des connaissances et établissement d'une programmation de recherche sur l'Anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*). Montréal université du Québec 298p

OKAMURA, A., ZHANG, H., UTOH, T., AKAZAWA, A., YAMADA, Y., HORIE, N., MIKAWA, N. ET AL. 2004. Artificial hybrid between *Anguilla Anguilla* and *A. japonica*. *Journal of Fish Biology*, 64: 1450–1454.

TESCH F.W., 1998, Age and growth rates of North Atlantic eel larvae (*Anguilla* spp.), based on published length data. *Helgoländer Meeresunters.*, 52 : pp 75-83.

VAN GINNEKEN V, DURIF C, BALM SP., BOOT R, VERTEGEN MWA, ANTONISSEM E, VAN DEN THILLART G, 2007. Silvering of European eel (*Anguilla Anguilla*): seasonal changes of morphological and metabolic parameters, *Animal Biology* 57 : 63-77.

VOLLESTAD L A 1986 Growth and production of female yellow eel, *Anguilla Anguilla* (L.) in brackish water in Norway, *Sarsia*, 73 : 157-120.

WILEY D. J., MORGAN R. P. AND HILDERBRAND R. H., 2004. Relation between physical habitat and american eel abundance in five basins in Maryland. *Transactions of the American Fisheries Society*, 133, 515-526.

Annexes

Grille de codification des anomalies anatomo-morphologiques externes et des ectoparasites des poissons visibles à l'œil nu

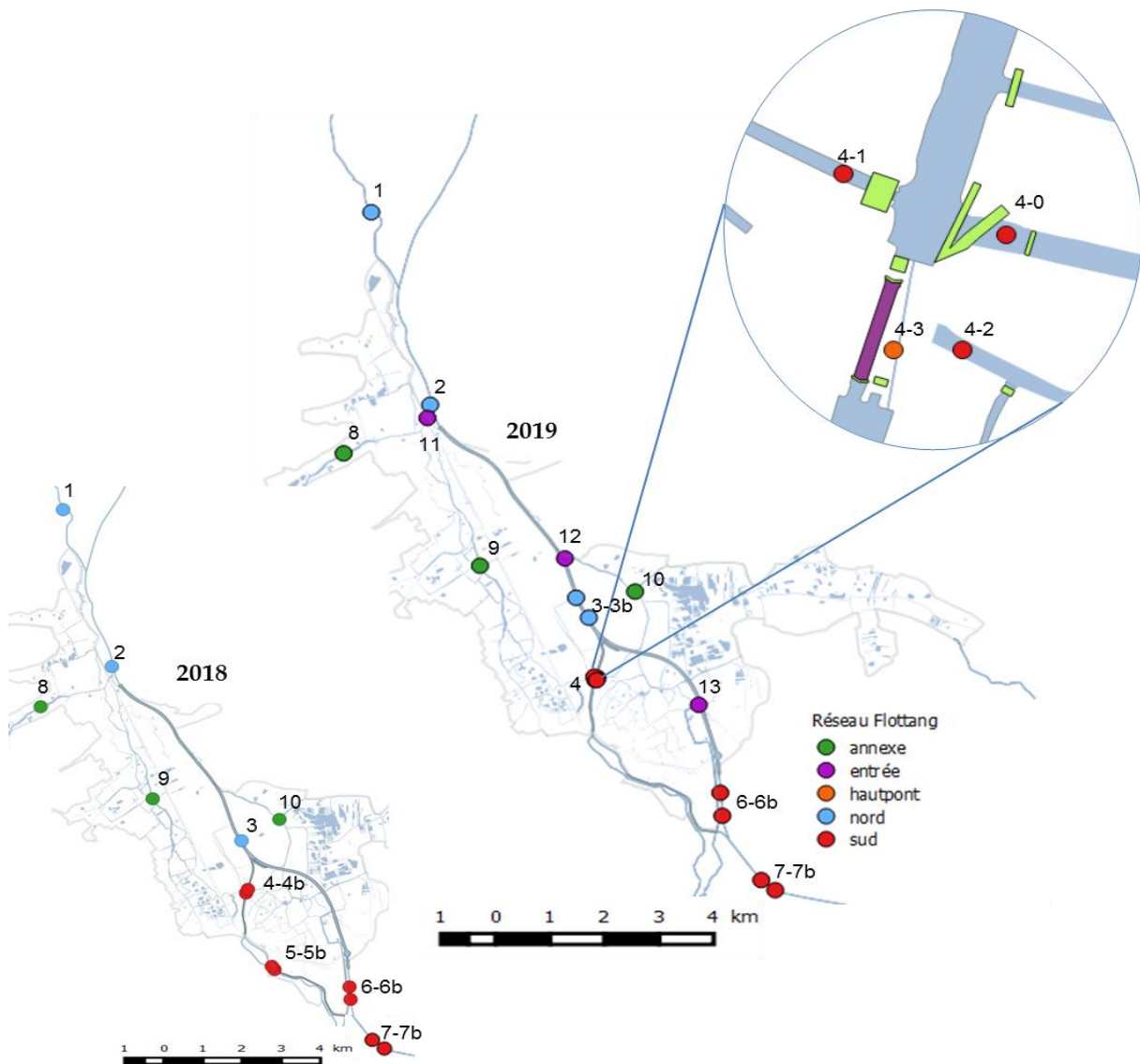
Altérations anatomo-morphologiques	AA	Localisations anatomiques	Code
Absence d'organes	AO	Tout le corps	C
Bulles de gaz	BG	Tête	T
Déformations, difformités et malformations	AD	Mâchoire	M
Erosions	ER	Bouche	G
Nécroses	NE	Barbillon	J
Hypersécrétion de mucus	HM	Narine	N
Hypertrophie et hyperplasie	HY	Œil	Y
Lésions hémorragiques et congestives	HE	Opercule (fente branchiale chez l'anguille)	O
Maigreur	AM	Branchie (sauf pour l'anguille)	B
Plaies et lésions anciennes (cicatrices)	PL	Dos (= face pigmentée ou zénithale)	D
Tumeurs, kystes, nodules et autres grosseurs	TG	Colonne vertébrale	V
Ulcères (hémorragiques) et ulcérations	UH	Flanc	F
Etat pathologique multiforme	ZO	Ligne latérale	L
Altérations de la couleur	AC	Ecaille	E
Opacité	OP	Abdomen (= face aveugle ou nadirale)	A
Coloration sombre (mélanose)	CS	Orifice urogénital (anus)	U
Coloration terne ou pâle, dépigmentation	CT	Nageoire dorsale	H
Parasitisme	PA	Nageoire pectorale	P
Points blancs	PB	Nageoire pelvienne	R
Points noirs	PN	Nageoire anale	S
Crustacés	PC	Nageoire caudale	Q
Hirudinés (sangues)	PH	Nageoire adipeuse (salmonidés seulement)	J
Champignons	PM	Pédoncule caudal	K

Grille de quantification des anomalies et du parasitisme externes

Nombre de lésions (N) et/ou abondance parasitaire (Ab)	Code	Taux (%) de recouvrement corporel (S ²)	Code
N = 0 et/ou absence (Ab)	0	S ² = 0%	0
N < 3 et/ou abondance (Ab) faible	1	S ² < 5%	1
N = 4-6 et/ou abondance (Ab) moyenne	2	S ² = 5-10%	2
N = 7-10 et/ou abondance (Ab) forte	3	S ² = 10-20%	3
N = > 10 et/ou abondance (Ab) très forte	4	S ² = >20%	4

NB : Codification d'un « Individu sain » (i.e. ne présentant aucune lésion ni aucun parasite externe) : 0

Rappel et description de toutes les stations flottangs



ID	NOM	ID	NOM	ID	NOM
1	Ile de Watten	4-3	Aval Hautpont immédiat	8	Annexe Houlle
2	Nord de Watten	4-2	Aval Hautpont 2	9	Annexe Grand Large
3	DépôtVNF	4-3	Aval Hautpont immédiat	10	Annexe Grand Leeck
3b	DépôtVNF rive gauche	5	Aval Saint-Bertin	11	Entrée Houlle
4	Aval Hautpont	5b	Amont Saint-Bertin	12	Entrée Grand Leeck
4b	Amont Hautpont	6	Aval Flandres	13	Entrée Basse Meldick
4-0	Aval Hautpont 0 = 4	6b	Amont Flandres		
4-1	Aval Hautpont 1	7	Amont Fontinettes		
4-2	Aval Hautpont 2	7b	Aval Fontinettes		

Description de toutes les stations flottangs

1 : Ile de Watten



2 : Nord de Watten



3 : Dépôt VNF



3b : DépôtVNF rive gauche



4 : Aval Hautpont



4b : Amont Hautpont



Description de toutes les stations flottangs

4-0 : Aval Hautpont 0 = 4



4-1 : Aval Hautpont 1



4-2 : Aval Hautpont 2



4-3 : Aval Hautpont immédiat



5 : Aval Saint-Bertin



5b : Amont Saint-Bertin



Description de toutes les stations flottangs

6 : Aval Flandres



6b : Amont Flandres



7 : Amont Fontinettes



7b : Aval Fontinettes



8 : Annexe Houle



9 : Annexe Grand Large



Description de toutes les stations flottangs

10 Annexe Grand Leeck



11 Entrée Houlle



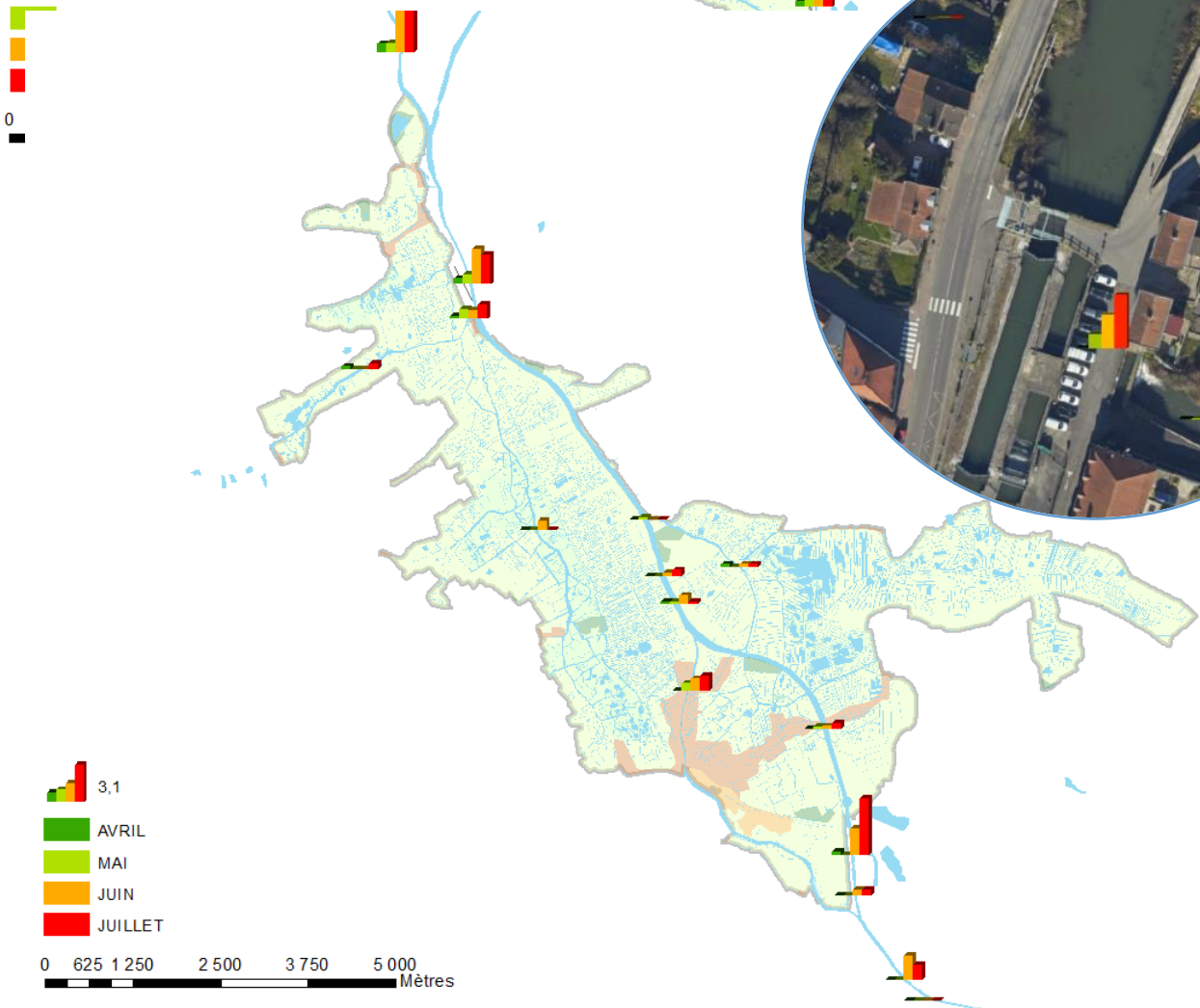
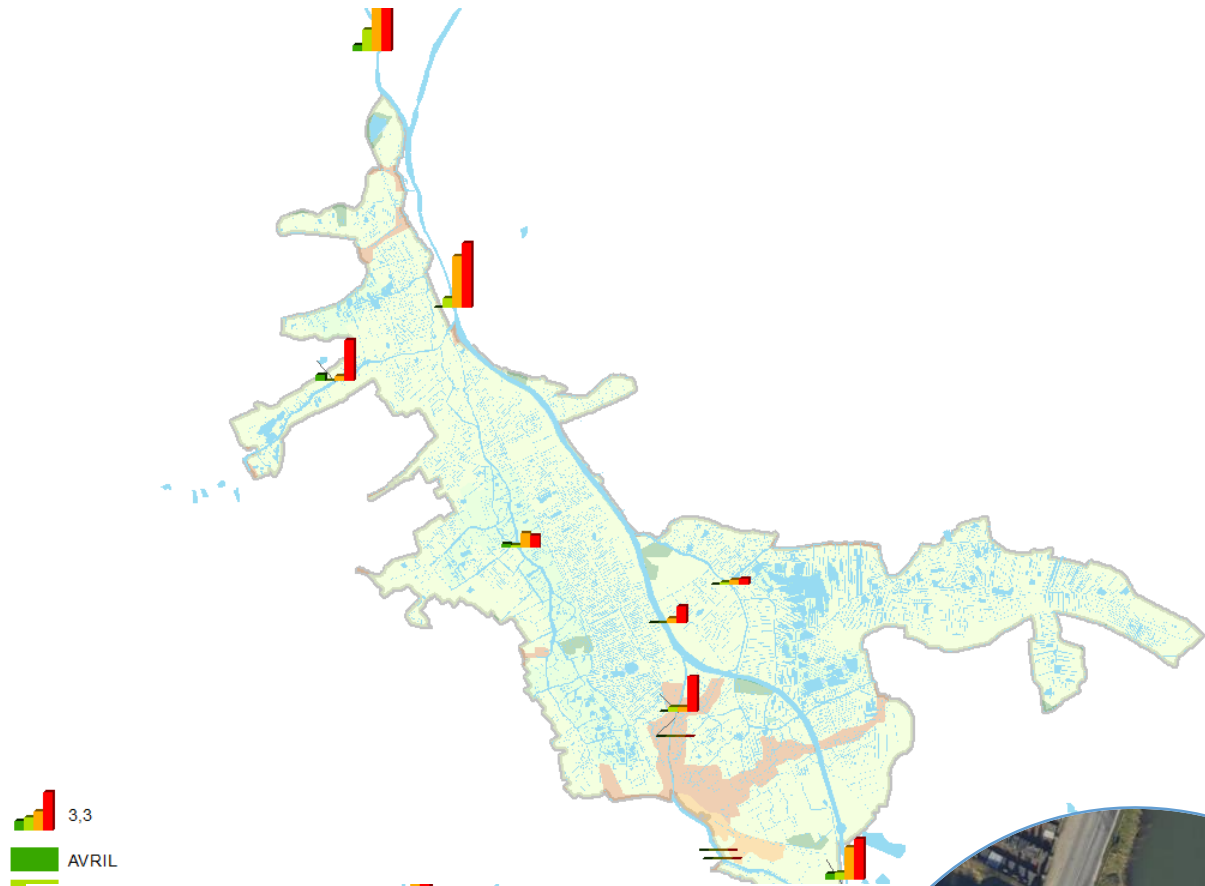
12 Entrée Grand Leeck



13 Entrée Basse Meldyck





Résultats en nombre de captures par flottang et par mois en 2018 et 2019.



Approche schématique d'un exemple de proposition de plan d'échantillonnage à l'aide de flottangs afin de suivre les ouvrages de Gravelines après leurs réfections.



 Station flottang suivi ouvrage

 Station flottang suivi accumulation/migration