

EDF R&D

LABORATOIRE NATIONAL D'HYDRAULIQUE ET ENVIRONNEMENT

GESTION HYDRO-ENVIRONNEMENTALE DES OUVRAGES

6 quai Watier - 78401 CHATOU CEDEX, +33 (1) 30 87 79 46

8 avril 2015

Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière

Laurence TISSOT

Juliette ALEMANY

Vincent CORNU

Stagiaire 3ème année Agrocampus Rennes

ONEMA

H-P76-2014-06075-FR	1.0		
<p>Les nouveaux classements des cours d'eau ne ciblent pas uniquement les espèces de poissons migratrices amphihalines mais également les espèces holobiotiques (qui accomplissent tout leur cycle de vie en cours d'eau). Les cours d'eau classés sur lesquels sont implantés des ouvrages EDF sont principalement situés dans les zones amont, à peuplement majoritaire de truite. La truite est donc souvent l'espèce cible pour laquelle des dispositifs doivent être mis en œuvre sur les ouvrages EDF pour permettre ses déplacements. Il devient alors nécessaire de connaître le comportement de déplacement de la truite en rivière afin de concevoir des dispositifs efficaces.</p> <p>L'objectif de ce document est de synthétiser les informations disponibles sur le comportement migratoire de la truite commune au cours de son cycle de vie. Trois types de résultats sont présentés ici : (1) une synthèse bibliographique, (2) une analyse des données long terme de suivi de populations de truite à proximité d'ouvrages hydroélectriques ou en contexte naturel et (3) une analyse des piégeages à la dévalaison réalisés dans les années 90 au moulin de Ségrie Fontaine sur la Rouvre (dans l'Orne) et au droit de prises d'eau EDF du gage d'Aspe (dans les Pyrénées Atlantiques).</p>			

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
--------------------	---	--

Liste de diffusion

Groupe destinataire	
P76-GHEO	

Destinataire	Entité / Structure	Diffusion
Jean-francois DHEDIN	EDF R&D - LNHE	jean-francois.dhedin@edf.fr
Jean-daniel MATTEI	EDF R&D - LNHE	jean-daniel.mattei@edf.fr
Dominique OMBREDANE	Agrocampus Rennes	dominique.ombredane@agrocampus-ouest.fr
Pascal OSSELIN	Attaché de bassin Adour-Garonne	pascal.osselin@edf.fr
Agnès BARILLIER	CIH	agnes.barillier@edf.fr
Laurence DESCHARRIERES	CIH	laurence.descharrieres@edf.fr
Lionel DUMOND	CIH	lionel.dumond@edf.fr
Frédéric JACOB	CIH	frederick.jacob@edf.fr
Katrin LINE	CIH	katrin.line@edf.fr
Vincent MATAIX	CIH	vincent.mataix@edf.fr
Gauthier VERCOUTERE	CIH	gauthier.vercouter@edf.fr
Camille ALAVA	DPIH - DCEET	camille.alava@edf.fr
Régis THEVENET	DPIH - DCEET	regis.thevenet@edf.fr
Sébastien LANGLAIS	DTG	sebastien.langlais@edf.fr
François LAUTERS	DTG	francois.lauters@edf.fr
Marc BRUGIÈRE	Délégué de bassin Loire-Bretagne	marc.brugiere@edf.fr
Philippe BARAN	Ecogea	philippe.baran@ecogea.fr
Thierry LAGARRIGUE	Ecogea	thierry.lagarrigue@ecogea.fr
Jean-Marc LASCAUX	Ecogea	jean-marc.lascaux@ecogea.fr
Marc DELACOSTE	Fédération de pêche 65	federation.peche65@wanadoo.fr
Bertrand LOHEAC	Fédération de pêche 73	b.loheac@savoiepeche.com
Manuel VALLAT	Fédération de pêche 73	m.vallat@savoiepeche.com
Franck CATTANEO	HEPIA	franck.cattaneo@hesge.ch
Jean-Luc BAGLINIERE	INRA Rennes	jean-luc.bagliniere@rennes.inra.fr
Agnès BARDONNET	INRA St Pée-sur-Nivelle	bardonne@st-pee.inra.fr
Hervé CAPRA	Irstea	herve.capra@irstea.fr
Céline LE PICHON	Irstea	celine.lepichon@irstea.fr
Sébastien VERSANNE-JANODET	MEP 19	sebastien.vj@mep19.fr
Vincent CORNU	ONEMA	contact@vincentcornu.com
Dominique BARIL	ONEMA Montpellier	dominique.baril@onema.fr
Dominique COURRET	Onema - Pôle d'écohydraulique	dominique.courret@imft.fr
Nicolas POULET	Onema - Pôle d'écohydraulique	nicolas.poulet@onema.fr
Pierre SAGNES	Onema - Pôle d'écohydraulique	pierre.sagnes@onema.fr
Sylvie TOMANOVA	Onema - Pôle d'écohydraulique	sylvie.tomanova@onema.fr
Arnaud CAUDRON	Scimabio	arnaud.caudron@scimabio-interface.fr
Alexandre RICHARD	Scimabio	alexandre.richard@scimabio-interface.fr
Philippe BESSY	UP-Alpes	philippe-1.bessy@edf.fr
Romain OLIVIER	UP-Centre	romain.olivier@edf.fr
Marie-Noëlle FAYE	UP-Est	marie-noelle.faye@edf.fr
Aurélien BLANC	UP-Méditerranée	aurelien.blanc@edf.fr
Juliette DEJEAN	UP-Méditerranée	juliette.dejean@edf.fr

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
--------------------	---	--

AVERTISSEMENT / CAUTION

L'accès à ce document, ainsi que son utilisation, sont strictement limités aux personnes expressément habilitées par EDF.

EDF ne pourra être tenu responsable, au titre d'une action en responsabilité contractuelle, en responsabilité délictuelle ou de toute autre action, de tout dommage direct ou indirect, ou de quelque nature qu'il soit, ou de tout préjudice, notamment, de nature financière ou commerciale, résultant de l'utilisation d'une quelconque information contenue dans ce document.

Les données et informations contenues dans ce document sont fournies "en l'état" sans aucune garantie expresse ou tacite de quelque nature que ce soit.

Toute modification, reproduction, extraction d'éléments, réutilisation de tout ou partie de ce document sans autorisation préalable écrite d'EDF ainsi que toute diffusion externe à EDF du présent document ou des informations qu'il contient est strictement interdite sous peine de sanctions.

The access to this document and its use are strictly limited to the persons expressly authorized to do so by EDF.

EDF shall not be deemed liable as a consequence of any action, for any direct or indirect damage, including, among others, commercial or financial loss arising from the use of any information contained in this document.

This document and the information contained therein are provided "as are" without any warranty of any kind, either expressed or implied.

Any total or partial modification, reproduction, new use, distribution or extraction of elements of this document or its content, without the express and prior written consent of EDF is strictly forbidden. Failure to comply to the above provisions will expose to sanctions.

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

Synthèse

La directive cadre européenne sur l'eau (DCE), transposée en droit français en 2004, vise la préservation et la restauration des milieux aquatiques et l'atteinte du bon état des eaux au plus tard en 2027. En France, la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) de 2006 apporte des outils permettant une meilleure mise en œuvre de cette directive. De nouveaux classements de cours d'eau ont ainsi été introduits par la LEMA. Ces nouveaux classements demandent à l'horizon 2018 l'équipement de 60 ouvrages à la montaison et de 75 ouvrages à la dévalaison.

Les nouveaux classements ne ciblent pas uniquement les espèces de poissons migratrices amphihalines mais également les espèces holobiotiques (qui accomplissent tout leur cycle de vie en cours d'eau). Les cours d'eau classés sur lesquels sont implantés des ouvrages EDF sont principalement situés dans les zones amont, à peuplement majoritaire de truite. La truite est donc souvent l'espèce cible pour laquelle des dispositifs doivent être mis en œuvre sur les ouvrages EDF pour permettre ses déplacements. Il est donc nécessaire de connaître le comportement de déplacement de la truite en rivière afin de concevoir des dispositifs efficaces et d'optimiser leur mode d'exploitation.

L'objectif de ce document est de synthétiser les informations disponibles sur le comportement migratoire de la truite commune au cours de son cycle de vie. Trois types de résultats sont présentés ici : (1) une synthèse bibliographique, (2) une analyse des données long terme de suivi de populations de truite à proximité d'ouvrages hydroélectriques ou en contexte naturel et (3) une analyse des piégeages à la dévalaison réalisés dans les années 90 au moulin de Ségrie Fontaine sur la Rouvre (dans l'Orne) et au droit de prises d'eau EDF du gave d'Aspe (dans les Pyrénées Atlantiques).

La synthèse bibliographique permet d'apporter de premiers éléments de connaissances sur la migration de la truite commune en rivière. Les jeunes stades (0+ et 1+) effectuent des migrations vers l'aval, au printemps ou à l'automne. Les adultes (>1+) quant à eux peuvent migrer vers l'amont sur de longues distances pour se reproduire (plusieurs dizaines de kilomètres), avec une dévalaison et un homing post reproducteur très précis parfois. Des déplacements d'adultes de truite pour des besoins d'alimentation où liées à la recherche de refuges thermiques en été peuvent également avoir lieu, aussi bien vers l'amont que vers l'aval.

L'analyse des données long terme a permis de mettre en évidence des taux de survie 0+/1+ particulièrement élevés sur le jeu de données à disposition (plus de 600 taux de survie calculés). L'ensemble des massifs, cours d'eau et années sont concernés. Pour autant, il est difficile de relier ces taux de survie aux caractéristiques physiques testées, aussi bien celles liées à la station que celles liées à l'année. Les phénomènes de migration entre ces deux stades ne semblent donc pas liés aux paramètres du milieu.

Enfin, l'analyse des données de piégeage a permis de mettre en évidence que tous les stades de truites sont concernés par la dévalaison, même si le stade 1+ domine. La dévalaison a lieu principalement au printemps et dans une moindre mesure à l'automne. Ce phénomène se déroule principalement la nuit et semble lié à des variations de débit. Un effet de barrière comportementale est pressenti au niveau des plans de grille des prises d'eau mais il doit être confirmé par d'autres investigations.

Des expérimentations spécifiques devront maintenant être mises en œuvre pour affiner les connaissances sur les périodes de migration pour chaque stade de développement et sur les facteurs environnementaux impliqués. Il existe également très peu de connaissances sur le rôle que jouent ces migrations sur la viabilité des populations en fonction des contextes.

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
--------------------	---	--

Avant propos

Le travail présenté dans ce rapport a été en grande partie réalisé dans le cadre d'un stage de fin d'étude (Juliette Alemany, 3ème année Agrocampus Rennes). L'analyse des piégeages à la dévalaison a été menée par Vincent Cornu (ONEMA). Des compléments ont également été apportés par la fédération de pêche 73, lors d'échanges sur les connaissances à acquérir sur la migration de la truite.

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

Sommaire

PAGE DE GARDE	1
CIRCUIT DE VALIDATION	2
PRE-DIFFUSION.....	2
LISTE DE DIFFUSION	3
AVERTISSEMENT / CAUTION	1
SYNTHESE	2
AVANT PROPOS.....	3
SOMMAIRE.....	4
1. INTRODUCTION.....	6
1.1. CONTEXTE REGLEMENTAIRE	6
1.2. OBJECTIFS DU DOCUMENT	6
2. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE COMPORTEMENT MIGRATOIRE DE LA TRUITE COMMUNE.....	7
2.1. ELEMENTS GENERAUX DE BIOLOGIE ET D'ECOLOGIE DE LA TRUITE	7
2.1.1. <i>Description de l'espèce</i>	7
2.1.2. <i>Distribution géographique et habitat</i>	7
2.1.3. <i>Biologie et écologie</i>	8
2.2. DEPLACEMENTS DE LA TRUITE AU COURS DE SON CYCLE DE VIE	9
2.2.1. <i>La dispersion des alevins (0+)</i>	9
2.2.2. <i>Les mouvements des juvéniles (1+)</i>	10
2.2.3. <i>La mobilité des adultes (>1+)</i>	11
2.2.4. <i>L'influence des barrages sur les déplacements</i>	13
3. ANALYSE DES DEPLACEMENTS DE LA TRUITE A PARTIR DE DONNEES DE PECHE ELECTRIQUE	13
3.1. DESCRIPTION DU JEU DE DONNEES A DISPOSITION	13
3.2. METHODES D'ANALYSE MISES EN ŒUVRE	14
3.2.1. <i>Le taux de survie apparent 0+/1+</i>	14
3.2.2. <i>Les analyses mises en œuvre</i>	15
3.3. RESULTATS	16
3.3.1. <i>La variabilité interannuelle du taux de survie apparent 0+/1+</i>	16
3.3.2. <i>Mise en relation des taux de survie apparents 0+/1+ avec différentes variables</i>	18
4. ANALYSE DES DEPLACEMENTS DE LA TRUITE A PARTIR DE DONNEES DE PIEGEAGE EN DEVALAISON	22
4.1. MOULIN DE SEGRIE FONTAINE	22
4.1.1. <i>Caractéristiques de l'aménagement</i>	22
4.1.2. <i>Période d'observation</i>	22
4.1.3. <i>Caractéristiques des individus contrôlés</i>	23
4.2. AMENAGEMENT DE L'USINE HYDROELECTRIQUE DE SOEIX	29
4.2.1. <i>Caractéristiques de l'aménagement</i>	29
4.2.2. <i>Période d'observation</i>	29
4.2.3. <i>Caractéristiques des individus contrôlés</i>	29
4.2.4. <i>Bilan</i>	36
4.3. AMENAGEMENT DE L'USINE HYDROELECTRIQUE DE BEDOUS.....	38
4.3.1. <i>Caractéristiques de l'aménagement</i>	38
4.3.2. <i>Période d'observation</i>	38
4.3.3. <i>Caractéristiques des individus contrôlés</i>	38
4.4. BILAN DES OBSERVATIONS PAR PIEGEAGE	40

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	40
6. REFERENCES	41
ANNEXE 1 : ESTIMATION DE LA TAILLE DES TRUITES COMMUNES DE LA ROUVRE EN FONCTION DE LEUR AGE	47
ANNEXE 2 : PASSAGE DES TRUITES COMMUNES ET DES TRUITES COMMUNES BLANCHISSANTES EN FONCTION DU DEBIT DE LA ROUVRE A SEGRIE-FONTAINE DE 1997 A 2003.....	49
ANNEXE 3 : METHODE D'ESTIMATION DE L'AGE DES INDIVIDUS DE TRUITE COMMUNE DU GAVE D'ASPE A PROXIMITE DE SOEIX A PARTIR DES PECHES ELECTRIQUES DE L'ONEMA ET DE L'ESTIMATION DE LA TAILLE A 3 ANS DONNEE PAR LAGARRIGUE (2000).....	52

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

1. Introduction

1.1. Contexte réglementaire

La directive cadre européenne sur l'eau (DCE), transposée en droit français en 2004, vise la préservation et la restauration des milieux aquatiques et l'atteinte du bon état des eaux au plus tard en 2021. En France, la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) de 2006 apporte des outils permettant une meilleure mise en œuvre de cette directive. La notion de continuité écologique introduite dans la DCE est réaffirmée et concerne :

1/ la libre circulation des organismes aquatiques et leur accès aux zones indispensables à leur reproduction, leur croissance, leur alimentation ou leur abri,

2/ le transport naturel des sédiments de l'amont à l'aval des cours d'eau. Les nouveaux classements introduits par LEMA (2006) et déclinés dans le code de l'environnement (article L. 214-17), permettent d'adapter les précédents dispositifs à ce nouveau contexte.

Il existe deux listes complémentaires de cours d'eau :

- La liste 1 : cours d'eau sur lesquels la construction de tout nouvel ouvrage faisant obstacle à la continuité écologique est interdit. Les ouvrages existants et autorisés devront être mis en conformité au renouvellement de leur concession ou de leur autorisation.

- La liste 2 : cours d'eau sur lesquels il convient d'assurer ou de rétablir la libre circulation des poissons et le transit des sédiments, dans les 5 ans qui suivent la publication de la liste des cours d'eau.

Les listes des cours d'eau classés sont issues de concertations menées au niveau des bassins. Elles ont été publiées à des dates différentes, qui impliquent pour les ouvrages en liste 2, une mise en œuvre effective des dispositions pour permettre la continuité écologique entre juillet 2017 et octobre 2018 selon les bassins, pour la France métropolitaine.

Les nouveaux classements ne ciblent pas uniquement les espèces de poissons migratrices amphihalines mais également les espèces holobiotiques (qui accomplissent tout leur cycle de vie en cours d'eau). Pour EDF, ces classements demandent à l'horizon 2018 l'équipement de 60 ouvrages à la montaison et de 75 ouvrages à la dévalaison. Les cours d'eau classés sur lesquels sont implantés des ouvrages EDF sont principalement situés dans les zones amont, à peuplement majoritaire de truite. La truite est donc souvent l'espèce cible pour laquelle des dispositifs doivent être mis en œuvre sur les ouvrages EDF pour permettre ses déplacements. Il est donc nécessaire de connaître le comportement de déplacement de la truite en rivière afin de concevoir des dispositifs efficaces et d'optimiser leur mode d'exploitation.

1.2. Objectifs du document

L'objectif de ce document est de synthétiser les informations disponibles sur le comportement migratoire de la truite commune au cours de son cycle de vie. Trois types de résultats sont présentés ici : (1) une synthèse bibliographique, (2) une analyse des données long terme de suivi de populations de truite à proximité d'ouvrages hydroélectriques ou en contexte naturel et (3) une analyse des piégeages à la dévalaison réalisés dans les années 90 au moulin de Ségrie Fontaine sur la Rouvre (dans l'Orne) et au droit de prises d'eau EDF du gave d'Aspe (dans les Pyrénées Atlantiques).

Ce document constitue une étape préliminaire à la mise en œuvre d'expérimentations et de suivis spécifiques des déplacements de la truite en rivière.

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

2. Synthèse bibliographique sur le comportement migratoire de la truite commune

2.1. Eléments généraux de biologie et d'écologie de la truite

2.1.1. Description de l'espèce

Il existe trois formes écologiques de la truite commune, *Salmo trutta* (Baglinière and Maisse 2002; Keith *et al.* 2011) :

- **la truite résidente, dite de rivière** (*Salmo trutta fario*) qui vit en cours d'eau tout au long de son cycle de vie ;
- **la truite de mer** (*Salmo trutta trutta*) qui, tout comme le saumon, naît en rivière puis met en place des mécanismes d'adaptation à l'eau de mer (smoltification) et rejoint l'estuaire ;
- **la truite de lac** (*Salmo trutta lacustris*) qui grossit en lac et rejoint les tributaires pour se reproduire.

Aucune différenciation génétique n'a été décelée entre individus migrateurs et sédentaires. Le caractère migratoire est partiellement héritable, mais chacune des deux formes peut produire des juvéniles de l'autre forme (Ombredane *et al.* 1996). C'est uniquement après que les juvéniles aient effectué leurs mouvements de dispersion qu'il est possible de faire la distinction morphologique entre ces trois écotypes (Keith *et al.* 2011).

La présente étude se concentre sur la forme résidente de la truite commune, qui effectue des déplacements uniquement en eau douce (*Salmo trutta fario*). La truite de rivière adulte mesure généralement entre 25 et 50 cm et pèse entre 300 et 500 g. Dans la majorité des rivières, sa durée de vie n'excède pas 6 ans (Bruslé and Quignard 2001; Keith *et al.* 2011). La truite de rivière est très étudiée, tant du point de vue génétique qu'écologique. Il s'agit par ailleurs d'une espèce sentinelle qui rend compte de la qualité des eaux grâce à sa sensibilité à la teneur en oxygène et à plusieurs facteurs physiques et chimiques du milieu. Elle présente également des intérêts halieutiques et économiques, la truite étant largement pêchée, élevée en aquaculture et commercialisée en Europe (Bruslé and Quignard 2001).

2.1.2. Distribution géographique et habitat

La répartition originelle de la truite commune correspond aux continents eurasiatique et nord-africain. Elle s'étend de la façade atlantique de la Scandinavie et de l'Islande jusqu'à l'Algérie et la Maroc. Elle s'adapte facilement à différents milieux et possède une forte tolérance vis-à-vis des changements d'habitats, à condition que ses exigences écologiques primaires soient respectées, ce qui explique sa présence actuelle au-delà de son aire de répartition originelle (Bruslé and Quignard 2001; Baglinière and Maisse 2002). L'espèce a été introduite dans au moins 24 pays en dehors de l'Europe (Klemetsen *et al.* 2003). En France, on trouve la truite à la fois dans les rivières de montagne et dans les cours d'eau de plaine, surtout en Bretagne et en Normandie (Bruslé and Quignard 2001). Ces dernières années, une tendance à la baisse des effectifs de truite a été observée en France (Poulet *et al.* 2011) et en Suisse (Burkhardt-Holm and Scheurer 2007).

En règle générale, la truite commune se répartit le long d'un cours d'eau selon ses préférences d'habitat (tableau 1), qui diffèrent selon le stade de vie.

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

Tableau 1. Préférences d'habitat des truites à différents stades de vie

Stade	Habitat
Alevin (0+)	Dans les rivières, les alevins de truite sont mieux représentés en amont qu'en aval et se retrouvent plus fréquemment dans les affluents que dans le cours principal, en particulier dans les cours d'eau de plaine (Maisse and Baglinière 1990; Haury <i>et al.</i> 1991; Bembo <i>et al.</i> 1993; Baglinière and Maisse 2002). Au cours de leur première année, les truites occupent des habitats peu profonds (<30 cm), souvent situés le long du bord de la rivière, avec une vitesse de courant modérée (0,2 à 0,5 m.s ⁻¹) et un substrat de graviers et de galets (Eklöv <i>et al.</i> 1999; Roussel and Bardonnnet 1999; Bruslé and Quignard 2001).
Juvenile (1+)	Les juvéniles se répartissent préférentiellement sur les radiers et les rapides, avec une vitesse de courant supérieure à 40 cm.s ⁻¹ , une hauteur d'eau de 10 à 40 cm et une granulométrie grossière (Baglinière and Maisse 2002).
Adulte (>1+)	Les truites adultes recherchent une hauteur d'eau d'environ 50 cm, des températures comprises entre 7°C et 19°C (optimum), des vitesses de courant moyennes (<30 cm.s ⁻¹) permettant une bonne oxygénation de l'eau (besoins en oxygène >5,5 mg.L ⁻¹), une eau non polluée avec un pH proche de la neutralité et la possibilité d'atteindre des zones de frayère (Haury <i>et al.</i> 1991; Bruslé and Quignard 2001; Baglinière and Maisse 2002). Elles préfèrent les substrats de pierres pour se cacher, mais elles se retrouvent également sur des substrats plus fins (gravier, sable, limon et boue) (Heggenes <i>et al.</i> 1999).

2.1.3. Biologie et écologie

Stade alevin (0+)

L'éclosion de l'alevin de truite a lieu entre 350 et 420 degrés-jours après la ponte, à une taille de 15 à 25 mm (Bruslé and Quignard 2001). L'alevin se nourrit plusieurs semaines sur le vitellus qu'il porte sous son ventre, puis il émerge du gravier à une taille d'environ 20 mm, 400 degrés jour après l'éclosion (Kottelat and Freyhof 2007; Keith *et al.* 2011). Le taux de survie depuis l'œuf fertilisé jusqu'à l'alevin émergent varie de 1,3% à 14,7% selon Baglinière and Maisse (2002). En milieu semi-naturel, et dans le cas d'une compétition directe, les alevins issus d'œufs de plus grande taille possèdent un avantage en termes de croissance et de survie (Einum and Fleming 1999). La période de post-émergence constitue une phase critique au cours de laquelle le nombre d'alevins chute fortement. Cette mortalité est renforcée par des conditions environnementales défavorables (Cattanéo *et al.* 2002).

La survie entre les stades alevin et juvénile est essentiellement déterminée par la quantité d'habitat favorable aux alevins (Lobon-Cervia and Rincon 2004; Lobon-Cervia 2007; Lobon-Cervia 2009). Les petits cours d'eau, qui répondent en général aux préférences d'habitats des stades précoces de truite, constituent souvent une source d'individus pour le cours principal et/ou les sections aval (Schager *et al.* 2007). La survie des alevins dépend également de la température, du débit et de la concentration en oxygène. Des concentrations élevées en oxygène (moyenne de 8,6 mg.L⁻¹) permettent un bon développement et une meilleure survie des alevins (Eklöv *et al.* 1999), de même qu'une température comprise entre 12°C et 18,5°C (Bovee 1978). De nombreux auteurs ont montré que les pics de débits réduisent la densité de jeunes de l'année (Allen 1951; Nehring and Anderson 1993; Latterell *et al.* 1998; Lagarrigue *et al.* 2002), en particulier les forts débits survenant de l'incubation à la post-émergence (Cattanéo *et al.* 2002; Sabaton *et al.* 2008; Hayes *et al.* 2010). Enfin, des mécanismes densité-dépendants (compétition territoriale, limitation en disponibilité alimentaire) régulent également la cohorte des alevins (Elliott 1990; Elliott 1994; Milner *et al.* 2003). Alonso *et al.* (2011) et Richard *et al.* (2013) ont observé une mortalité densité-dépendante des alevins de truite uniquement lors de faibles débits. Certains auteurs montrent que les variations de densité des populations de salmonidés sont principalement liées à une mortalité densité-dépendante uniquement en cas d'habitat favorable et de fortes densités de populations (Alonso-González *et al.* 2008; Nicola *et al.* 2008).

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

Stade juvénile (1+)

Passé leur première année, les juvéniles de truite (1+) se déplacent vers des habitats de type radier et plat courant le jour pour s'alimenter, et des habitats de type profond la nuit, qui constituent des postes de repos (Roussel and Bardonnnet 2002). Les juvéniles de truite s'alimentent de larves d'insectes principalement en journée (Roussel and Bardonnnet 1999; Baglinière and Maisse 2002), avec des proies plus grandes qu'au stade alevin (Rincón and Lobón-Cerviá 1999). Le taux de croissance annuel des 1+ est estimé à 27,5% sur l'Oir et à 29,5% sur La Roche (cours d'eau bretons) (Gouraud *et al.* 1998). Les variations du taux de croissance des truites 1+ sont principalement liées aux variations de température de l'eau et à la disponibilité en nourriture. En Bretagne, ce taux augmente à partir de la fin de l'hiver et passe par un maximum à la fin du printemps pour ensuite diminuer jusqu'à atteindre un minimum à la fin de l'été. En automne, le taux de croissance augmente à nouveau (Maisse and Bagliniere 1991). Dans les Pyrénées, la variabilité saisonnière du taux de croissance est légèrement différente : la croissance est la plus élevée entre février (ou mars) et juillet, peu élevée entre juillet et septembre et la plus faible entre septembre et février (ou mars) (Lagarrigue *et al.* 2001).

Les valeurs de survie mentionnées dans la littérature sur des cours d'eau de 0,5 à 3 m de large varient entre 17% et 45% (Egglshaw and Shackley 1977; Mortensen 1977; Maisse and Bagliniere 1991; Elliott 1994). Dieterman and Hoxmeier (2011) estiment une survie de 46% entre les individus 0+ de l'automne 2007 et les individus 1+ du printemps 2008 sur des cours d'eau du Minnesota. Des taux de survie annuels ont pu être estimés sur la population de truite des ruisseaux de Kernec et de Talascorn : le taux de survie des 1+ est variable mais pour l'ensemble du bassin, il est probablement supérieur à 50% (Baglinière and Maisse 2002). Cette valeur de 50% est également utilisée par Daufresne and Renault (2006) pour la construction d'un modèle de dynamique de population.

Stade adulte (>1+)

Une fois adultes, les truites préfèrent les secteurs plus profonds (Heggenes 2002). La plupart des truites sont matures à l'âge de 2 ans, pour une taille d'environ 20 cm (Maisse and Bagliniere 1991). Sur la Neste d'Oueil, un sous affluent de la Garonne dans les Pyrénées, Gouraud (1999) estime les taux de survie de 57% entre 2+ et 3+, 28% entre 3+ et 4+ et 39% entre 4+ et 5+. L'adéquation de l'habitat avec les besoins de la truite est un facteur important pour la survie de la truite. En particulier, la présence d'abris (roches ou végétation) a un effet positif sur la survie et la croissance des truites (Bruslé and Quignard 2001).

La reproduction de la truite se déroule en rivière à partir de la fin de l'automne ou du début de l'hiver (Baglinière *et al.* 1989; Bruslé and Quignard 2001; Roussel and Bardonnnet 2002). La ponte a lieu sur des frayères, zones de graviers ou petits galets avec une température de 5 à 10°C, une bonne oxygénation du substrat (Bruslé and Quignard 2001), une granulométrie comprise entre 8 et 128 mm (Ottaway and Clarke 1981), une vitesse de courant de 15 à 75 cm.s⁻¹ et une hauteur d'eau comprise entre 6 et 82 cm (Shirvell and Dungey 1983).

Pour l'ensemble des stades de développement, les paramètres clé de régulation sont l'habitat (substrat, hydraulique, température, qualité d'eau), l'hydrologie et la connectivité (Gouraud *et al.* 2014).

2.2. Déplacements de la truite au cours de son cycle de vie

Bien que la truite commune *Salmo trutta fario* ait fréquemment été décrite comme une espèce effectuant des déplacements limités (Gerking 1959), des suivis en télémétrie ont par la suite remis en cause cette hypothèse (Gowan *et al.* 1994).

2.2.1. La dispersion des alevins (0+)

A l'émergence, certains alevins se laissent entraîner par le courant vers l'aval, sur des distances plus ou moins importantes (Heland 1980). Sur la rivière Bellbekken en Norvège, Vollestad *et al.* (2012) observent par exemple une dévalaison des 0+ sur une distance moyenne de 200 mètres. Par la suite, les alevins développent une aptitude à la nage statique leur permettant de devenir sédentaires, et une hiérarchisation de l'habitat par compétition se met en place. Les alevins qui émergent tardivement et trouvent l'espace occupé ainsi que certains alevins qui ne réussissent pas à établir leur territoire sont alors contraints de dévaler (Cuinat 1971; Heland 1980). Les alevins effectuent principalement des

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

migrations de dévalaison, la montaison restant exceptionnelle et ne concernant qu'une fraction des alevins sédentaires (Heland 1980; Lucas *et al.* 2001). Au début du printemps, les 0+ se dispersent depuis les zones amont et les sous-affluents fortement peuplés vers l'aval ou vers le cours d'eau principal (Baglinière *et al.* 1989). La dévalaison des alevins prend place en mars, avril ou mai et concerne entre 1% et 20% des individus selon l'année (Cuinat and Héland 1979). Un phénomène de dévalaison est également observé en automne, bien que de moindre importance que la migration printanière (Baglinière and Maisse 2002). En plus de ces phénomènes de dévalaison, des déplacements nyctéméraux et latéraux entre le chenal et les berges ont lieu (Roussel and Bardonnnet 2002).

Cuinat and Héland (1979) ne trouvent pas d'effet des facteurs abiotiques sur la dévalaison des alevins dans un affluent de la Nivelle, à l'exception du rythme nyctéméral ; les mouvements de dévalaison en post-émergence ayant exclusivement lieu durant la nuit (Heland 1980; Roussel and Bardonnnet 2002). Crisp and Hurley (1991) ont cependant montré que des modifications de vitesse de courant (diminution de 25 cm.s^{-1} à $7,5 \text{ cm.s}^{-1}$ ou augmentation au-delà de 25 cm.s^{-1}) étaient associées à un taux de déplacement plus élevé que dans des conditions de vitesse constante. Ce type de dévalaison est lié à la capacité de nage des alevins. Ainsi, Heggenes and Traaen (1988) montrent que deux semaines après l'émergence, les vitesses critiques à atteindre pour provoquer le déplacement des alevins sont assez basses (jusqu'à $0,27 \text{ m.s}^{-1}$) et atteignent $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ après huit semaines. Par ailleurs, il existe également des déplacements liés à la disponibilité en nourriture et à la capacité d'accueil du milieu. Ce phénomène de dévalaison densité-dépendant est par exemple pris en compte dans le modèle de dynamique de population développé par Gouraud (1999).

2.2.2. Les mouvements des juvéniles (1+)

Les juvéniles (1+) effectuent des migrations vers l'aval des cours d'eau, vers des habitats de type radier, généralement au printemps (Baglinière *et al.* 1989). Ils peuvent parcourir plusieurs centaines de mètres voire même plusieurs dizaines de kilomètres (Gowan *et al.* 1994; Ovidio *et al.* 1998). Il est important de garder à l'esprit que les âges de maturité sexuelle diffèrent selon les individus et la localisation géographique (Gouraud *et al.* 1999). Ainsi, il est possible que des individus 2+ non matures effectuent une migration de dévalaison propre aux juvéniles de truites, tout comme des individus 1+ matures pourraient entamer leur migration de reproduction.

La dévalaison des juvéniles n'a pas lieu sur tous les cours d'eau. Baglinière *et al.* (1989) étudient la dynamique de population de la truite dans deux cours d'eau en Bretagne, le Kernec et le Talascorn et ne détectent de la migration chez les alevins et les juvéniles que sur le Kernec. Les juvéniles représentent 90% des individus des stades précoces (0+ et 1+) ayant effectué une migration sur ce cours d'eau. Les individus des zones amont du cours d'eau migrent généralement en automne ou en hiver, tandis que la migration des juvéniles des zones centre et aval du cours d'eau a lieu principalement au printemps. Une corrélation positive significative est observée entre le nombre d'individus 0+ présents sur un des sites d'études et le nombre d'individus 1+ migrants. Dieterman and Hoxmeier (2011) ont obtenu des taux d'immigration des individus 1+ variant entre 0 et 77% lors d'une étude sur des cours d'eau du sud-est du Minnesota. Le taux d'immigration était plus important pour les cours d'eau connectés à des affluents que pour les cours d'eau isolés, sans relation avec la saison. Sur le Lignon du Forez, Gouraud *et al.* (2008) constatent l'immigration d'individus 1+ lorsque le débit journalier dépasse $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Bembo *et al.* (1993) ont mené une étude sur la rivière Usk, au sud du pays de Galle, qui révèle une différence de distribution de classes d'âge entre le cours d'eau principal et les affluents. Les résultats de piégeage et les distributions de classes d'âge ont montré que l'environnement des affluents joue un rôle de nurserie pour les jeunes truites. Les alevins et les 1+ sont numériquement dominants dans les affluents, tandis que les plus gros individus se trouvent dans le cours d'eau principal. Le Grwyne, affluent de la rivière Usk, se caractérise par une migration vers l'aval des juvéniles de truite au cours de la période de piège au printemps, d'avril à juin. Enfin, la migration a lieu la nuit d'après les résultats d'un suivi sur 48h (Bembo *et al.* 1993). Ce phénomène de migration vers le cours d'eau principal est en accord avec d'autres études (Kelly-Ouinn and Bracken 1988; Maisse and Baglinière 1990). Le suivi continu pendant deux ans des échanges entre l'affluent de la Roche et le cours principal de l'Oir a montré des dévalaisons de juvéniles de truite d'octobre à mai et des migrations de reproduction pour les adultes de novembre à mars. Ces migrations ne semblent pas déclenchées par les paramètres du

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

milieu mais davantage liées à la saison. En revanche, elles peuvent être stoppées par de forts débits ou de trop faibles températures (Gouraud 1999).

Le métabolisme a un effet sur les déplacements : les juvéniles à croissance forte ont un métabolisme élevé, et le milieu n'est plus apte à satisfaire leurs besoins, ce qui provoque des migrations (Forseth *et al.* 1999; Cucherousset *et al.* 2005; Cucherousset *et al.* 2006). Acolas *et al.* (2012) étudient la migration vers l'aval des juvéniles de truite, sur le cours d'eau de La Roche, un affluent de la rivière Oir en Normandie. Les résultats montrent que la croissance agit directement sur la probabilité de migration des juvéniles (1+), tandis que la taille du corps agit plus fortement sur la survie. Le modèle multi états de marquage/recapture utilisé montre que la croissance individuelle des 1+ en automne est un bon indicateur de la probabilité pour les juvéniles de quitter leur aire de naissance.

2.2.3. La mobilité des adultes (>1+)

Pour les individus adultes, les patrons de mobilité et les stratégies d'occupation de l'espace sont très variables au cours du cycle annuel (Ovidio 1999). Les patrons de déplacements sont dictés par des besoins biologiques (nutrition, reproduction...) et influencés par des fluctuations environnementales (température, débit...).

La migration de reproduction

Les truites sont relativement mobiles toute l'année, mais les mouvements de grande amplitude sont peu fréquents en dehors de la période de reproduction. Les mouvements migratoires en période de reproduction peuvent être continus ou discontinus, et peuvent s'étaler sur plus de 40 jours (Rustadbakken *et al.* 2004). Ces déplacements ont lieu principalement la nuit (Ovidio 1999), mais peuvent être diurnes lors de périodes d'augmentation du débit (Rustadbakken *et al.* 2004). La migration de montaison vers les frayères a lieu à l'automne (Ovidio *et al.* 1998). Les migrations de reproduction se font sur de différentes distances, certaines truites pouvant parcourir de 5 à 28 km à une vitesse moyenne de 0,7 à 1,5 km.jour⁻¹ (Ovidio *et al.* 1998; Arnekleiv and Rønning 2004), tandis que d'autres utilisent des sites de reproduction à proximité de leur habitat estival, sur le cours d'eau principal ou dans de petits affluents (Ovidio 1999; Arnekleiv and Rønning 2004). Les femelles entament une migration vers l'aval peu après la ponte, tandis que les mâles demeurent plus longtemps sur place afin de s'accoupler avec d'autres femelles (Klemetsen *et al.* 2003). La migration de dévalaison post-reproductive a lieu de novembre à janvier. Elle est très rapide (jusqu'à 9 km.jour⁻¹) et l'existence d'un homing post-reproducteur très précis a été démontré (Meyers *et al.* 1992; Ovidio 1999; Kyle *et al.* 2000).

Les migrations de reproduction peuvent être stimulées par des augmentations de débit (Allan 1978; Bagliniere *et al.* 1987), des variations de température (Clapp *et al.* 1990) ou par la combinaison des deux facteurs au sein d'une fenêtre thermique de 10 à 14°C (Ovidio *et al.* 1998; Ovidio 1999). Saraniemi *et al.* (2008) ont trouvé que la distance journalière minimale couverte par la truite commune était positivement corrélée au débit journalier, à la température de l'air, et à la température de l'eau. Bagliniere *et al.* (1987) observent des distances de migration maximales de 700m sur le Scorff en Bretagne. Les migrations sont déclenchées par les crues, et n'ont pas lieu si les températures sont en dessous de 6°C en conditions hydrologiques normales.

La migration pour la recherche d'habitat favorable à l'alimentation, repos)

Au cours d'une année d'étude, Bridcut and Giller (1993) observent des mouvements de truites entre différents habitats sur un site. Ils émettent l'hypothèse que ces truites se déplacent de leur habitat de refuge (faible courant) vers leur habitat d'alimentation (plus fort courant). Cette hypothèse est en accord avec les résultats de Wysujack *et al.* (2009) et Olsson *et al.* (2006) qui montrent qu'une faible disponibilité en nourriture a tendance à augmenter les déplacements.

Le métabolisme semble également être un élément déclencheur de ce type de migration. Forseth *et al.* (1999) ont travaillé sur les allocations d'énergie de la truite commune à différentes tailles aux âges 2+ et 3+ avec une méthode de traceur ¹³Cs pour mesurer la consommation en nourriture. Ils trouvent que les individus à croissance rapide migrent plus tôt. Ils supposent alors que les truites à croissance rapide, avec un métabolisme plus élevé, sont plus limitées par les ressources de nourriture que les truites à plus faible croissance, et qu'elles doivent donc quitter leur habitat juvénile plus tôt pour des raisons énergétiques. Ce résultat est cohérent avec ceux présentés plus haut sur le stade

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

juvénile (Acolas *et al.* 2012). La densité locale, au-delà d'un certain seuil, est aussi un facteur entraînant l'augmentation des mouvements chez les adultes (Jenkins Jr 1969; Hesthagen 1988).

Certains auteurs ont observé des déplacements liés à la recherche de refuges thermiques lors de l'augmentation de la température en été et de sa diminution en hiver (Clapp *et al.* 1990; Meyers *et al.* 1992). Tandis que d'autres au contraire, ne constataient pas de déplacement vers des refuges thermiques dans les affluents proches, même lorsque la température dépassait le seuil de 19°C (Burrell *et al.* 2000; Kyle *et al.* 2000).

Par ailleurs, des déplacements vers des habitats améliorés par la création de pools et d'abris ont été observés (Burgess and Bider 1980; Burgess 1985). Ces déplacements peuvent se faire sur de longues distances, jusqu'à 2 km lors d'une expérimentation où des structures en bois ont été posées dans une rivière du Colorado (Riley and Fauch 1995). Lors d'un suivi dans le Wyoming, Young (Young 1994) a observé des aires d'activité très variables d'un individu à l'autre, avec des déplacements jusqu'à 96 km en amont. Dans l'ensemble de ces expérimentations, le sens de migration choisi par le poisson semble se produire aléatoirement vers l'aval ou vers l'amont.

Le tableau 2 synthétise les informations recueillies sur les phénomènes de migration de la truite de rivière. La figure 1 présente la répartition de ces phénomènes de migration au cours de l'année.

Tableau 2. Récapitulatif des caractéristiques de migration de la truite aux stades alevin, juvénile et adulte (a : migration de reproduction, b : déplacements pour la recherche d'habitat)

Stade	Alevin (0+)	Juvénile (1+)	Adulte (>1+)
Période	Printemps et parfois automne.	Généralement printemps et parfois automne/hiver en zones amont	a) Montaison de Septembre à Novembre puis dévalaison de Novembre à Janvier b) Tout au long de l'année
Fonction associée	a) Dérive passive b) Dévalaison active	Recherche de nourriture et d'habitat approprié	a) Migration de reproduction b) Déplacements entre habitats de refuge et d'alimentation
Distance de migration	200m pour 1 référence (Vollestad <i>et al.</i> 2012)	Centaines de mètres à dizaines de kilomètres	a) Jusqu'à 96 km vitesse moyenne de 0,7 à 1,5 km.jour ⁻¹
Proportion de migrants	Entre 1% et 20%	Entre 0 et 77%	
Sens de migration	De l'amont et des affluents vers l'aval. Des zones à fortes densités vers les zones à faibles densités.	Principalement vers l'aval	a) Montaison puis dévalaison b) D'un habitat de refuge (faible courant) vers un habitat d'alimentation (plus fort courant)
Facteurs impliqués	- Densité de 0+ en été - Densité dépendance plus faible quand forts débits - Modification de la vitesse de courant	- Croissance forte et métabolisme élevé - Densité de 0+ - Connectivité - Débit	a) Présence de crues Effet combiné du débit et de la température de l'eau b) Faible disponibilité en nourriture. Métabolisme élevé et croissance rapide. Effet seuil de la densité locale.

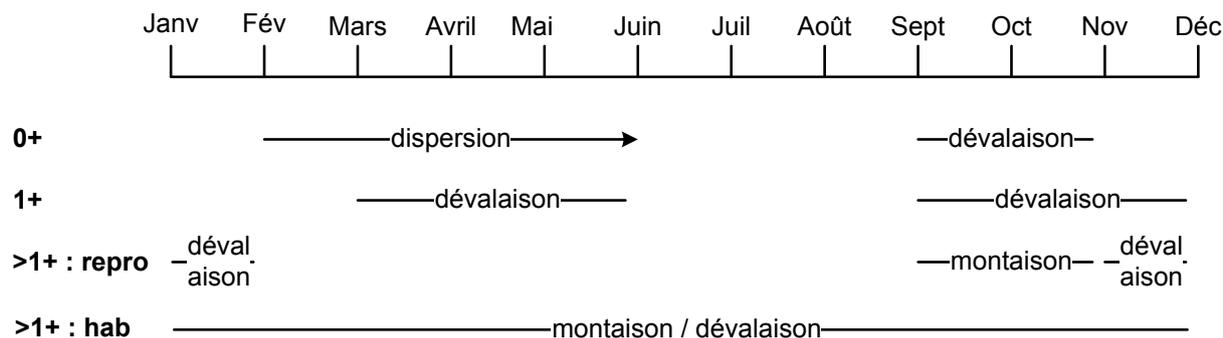


Figure 1. Répartition des phénomènes de migration au cours de l'année selon les classes d'âge

2.2.4. L'influence des barrages sur les déplacements

La migration de reproduction peut être impactée par la fragmentation des cours d'eau. En effet, la présence de barrages limite la migration vers les zones amont (Gosset *et al.* 2006). Le débit est alors un facteur important pour permettre aux truites de les franchir (Ovidio *et al.* 1996). Le franchissement des barrages lors de la dévalaison pour les stades précoces ou pour les adultes pose également problème. Des mortalités peuvent être causées par le passage des truites par les turbines hydrauliques, les déversoirs ou les évacuateurs de crues, etc... Elles peuvent être directes (blessures, chocs, variations brutales de vitesse et de pression) ou indirectes par une augmentation de la vulnérabilité à la prédation suite à la désorientation des individus (Larinier and Travade 1999).

Ces impacts des barrages sur la migration des poissons justifient l'installation de dispositifs de franchissement. Lors de la montaison, les individus nagent activement contre le courant, le plus souvent sur le fond du lit du cours d'eau. Ce phénomène est utilisé pour inciter les individus à passer en amont d'un ouvrage grâce à l'ouverture d'une voie d'eau par un système qui transfère les individus en amont. Ces dispositifs, appelés « passes à poissons », peuvent être des ouvrages de génie civil (succession de bassins reliés par des déversoirs ou des orifices), ou des aménagements semi naturels (rampes rugueuses ou cours d'eau de contournement) (Hefti 2012).

Les dispositifs de dévalaison ont pour but de limiter le passage des poissons dans les prises d'eau en permettant de contourner l'aménagement et d'atteindre l'aval en subissant un impact minimum (Hefti 2012). La mise en place d'une grille devant la prise d'eau bloquant physiquement le passage des individus, associée à un exutoire de dévalaison, est une solution couramment utilisée pour permettre aux salmonidés de dévaler (Larinier and Travade 1999). Lorsqu'un barrage est souvent sujet à des surverses, la dévalaison est facilitée et peut même être permanente (Hefti 2012). Sur le Lignon du Forez, les surverses au-dessus du barrage lors des forts débits permettent aux juvéniles de truite de dévaler et d'alimenter la population située dans le TCC (Gouraud *et al.* 2008).

3. Analyse des déplacements de la truite à partir de données de pêche électrique

3.1. Description du jeu de données à disposition

Le jeu de données analysé est constitué de pêches électriques EDF ou ONEMA. Ce sont des pêches complètes à 2 passages, réalisées une fois par an la plupart du temps autour du mois de septembre, sur des stations de France métropolitaine où domine la truite commune. Quatre grands contextes géographiques sont représentés (les Alpes, les Pyrénées, le Massif-Central et le massif armoricain) à travers 58 stations situées sur 24 cours d'eau différents (figure 2).

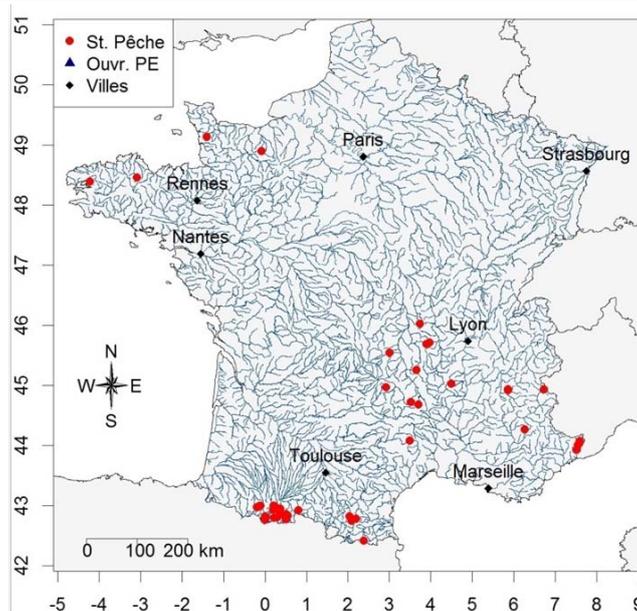


Figure 2. Localisation des stations de pêche électrique analysées

La période d'échantillonnages analysée est de 1995 à 2013. Ces stations peuvent être situées dans différents types de tronçons :

- en tronçon court-circuité (TCC) par un ouvrage hydroélectrique, soumis à un débit réservé ;
- en tronçon témoin (TEM), situé en amont proche d'un TCC, dans un cours d'eau équipé mais dont les débits ne sont que faiblement influencés ;
- en tronçon naturel (NAT) sans modification de débit.

Un certain nombre d'informations liées à la station sont disponibles : la distance à la source, l'altitude, la pente, la largeur moyenne et pour certaines stations, les valeurs de SPU pour les différents stades au débit de base (débit réservé pour les stations en TCC et module pour les autres stations).

Plusieurs stations bénéficient également de chroniques journalières de débit et température, issus d'enregistreurs ou parfois pour la température, de prédictions à partir des températures de l'air obtenues par Météo France pondérées des trois jours précédents.

3.2. Méthodes d'analyse mises en œuvre

3.2.1. Le taux de survie apparent 0+/1+

Les données de pêche électriques permettent d'accéder aux densités de truite présentes sur chaque station pour chacune des classes d'âge (alevins, juvéniles et adultes). La plupart des échantillonnages sont réalisés entre début août et fin octobre (figure 3).

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

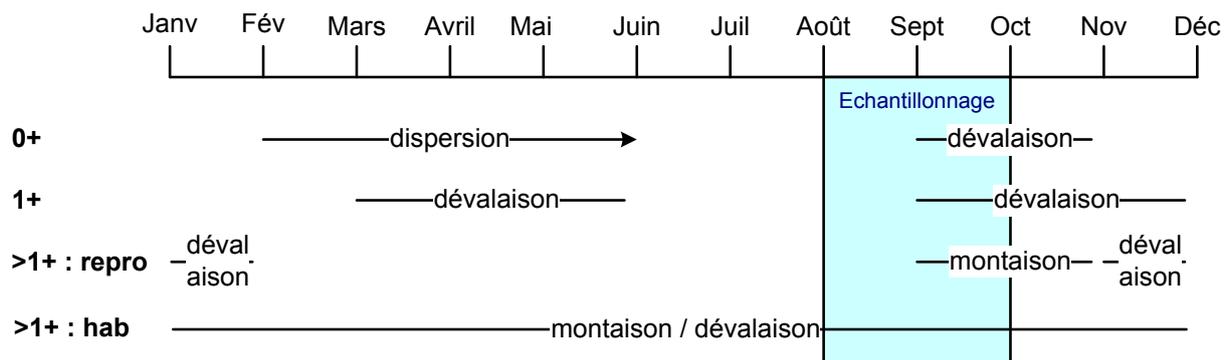


Figure 3. Position des échantillonnages par rapport aux phénomènes de migration ayant lieu au cours de l'année selon les classes d'âge

Des phénomènes de montaison pour la reproduction peuvent avoir lieu au cours de la période d'échantillonnage, ce qui rend difficiles leurs analyses sur les données à disposition. Par contre, ces données permettent d'étudier le rapport entre densité de 0+ une année et densité de 1+ l'année suivante. Ce rapport est considéré comme le taux de survie apparent entre ces deux classes d'âge.

Le taux de survie apparent entre 0+ et 1+ classiquement rencontré dans la littérature est d'environ 50% (Egglishaw and Shackley 1977; Mortensen 1977; Baglinière and Maisse 1991; Elliott 1994; Daufresne and Renault 2006; Dieterman and Hoxmeier 2011). Plusieurs hypothèses peuvent être émises pour expliquer un rapport entre densité de 0+ et densité de 1+ supérieur à 50% :

1/ Des phénomènes de migration entrent en jeu entre les deux échantillonnages étudiés : des 0+ et 1+ arriveraient sur la station par dévalaison à l'automne de l'année N ou au printemps de l'année (N+1). Ces jeunes individus pourraient venir des affluents et/ou des secteurs amont du cours d'eau qui ne sont pas échantillonnés.

2/ Il existerait des erreurs dans le découpage en classe d'âge qui sont, pour la plupart des stations, issus de la lecture des histogrammes de taille.

3/ L'estimation de la densité de 0+ pourrait être imprécise du fait d'une moindre efficacité de la pêche électrique sur cette classe d'âge (Gerdeaux 1987).

4/ Il peut également exister des erreurs d'estimation des densités avec la méthode de Carle and Strub (1978) pour laquelle les incertitudes sont plus élevées si la probabilité de capture est faible.

5/ Enfin, certaines stations peuvent être alevinées en 0+ au printemps (pour éviter les fortes mortalités rencontrées entre la période d'incubation et la période post-émergence), voire parfois dès la fin de la période d'ouverture de la pêche (mi-septembre).

Les hypothèses 2, 3 et 4 ne peuvent concerner qu'un nombre réduit d'individus et ne permettent donc pas d'expliquer les forts écarts de densités entre les deux classes d'âge. Enfin, compte tenu de la croissance supérieure des truites issues de l'alevinage par rapport aux truites sauvages (Caudron and Champigneulle 2002; Delacoste 2008), la taille des alevins issus de repeuplement lors des pêches électriques serait plutôt comparable à celle des 1+ issus de la reproduction. Par ailleurs, plusieurs études mentionnent de fortes mortalités chez les individus introduits (Delacoste 2008; Richard 2014). L'hypothèse 5 est donc assez peu probable. La première hypothèse sera donc celle préférentiellement retenue pour expliquer les taux de survie importants entre 0+ et 1+. Il faut pour autant garder en tête que les données étudiées ici (suivi annuel par pêche électrique) ne permettent pas une étude approfondie des seuls phénomènes de migration. L'analyse de ces données ne sera donc qu'exploratoire.

3.2.2. Les analyses mises en œuvre

Les échantillonnages réalisés permettent de calculer 607 taux de survie apparents entre 0+ une année et 1+ l'année suivante. La variabilité de ces taux de survie apparents a été visualisée en

fonction des années, des massifs et des cours d'eau (avec et sans les points extrêmes).

Les taux de survie apparents ont ensuite été mis en relation avec différentes caractéristiques physiques des stations (visualisation par boxplots) : la distance à la source, l'altitude, la pente, la largeur moyenne, la Surface Pondérée Utile (SPU, quantité d'habitat favorable) au débit de base pour les alevins et la SPU au débit de base pour les juvéniles. Ces analyses ont été réalisées sur un jeu de données partiel (498 données de survie) où l'ensemble de ces caractéristiques sont connues.

Enfin, une analyse en composante principale (ACP) a été réalisée sur plusieurs variables quantitatives caractéristiques de l'année. Trois variables concernent des paramètres biologiques : le taux de survie apparent entre 0+ et 1+, le nombre de 0+/ha et le nombre de 1+/ha. Quatre variables concernent les descripteurs du débit et de la température : le débit journalier dépassé 10% du temps au cours du printemps (1^{er} mars au 30 juin) et au cours de l'automne (12 septembre au 30 novembre) et la température journalière dépassée 10% du temps au cours du printemps (1^{er} mars au 30 juin) et au cours de l'automne (12 septembre au 30 novembre). Ces valeurs ont été centrées et réduites par station afin de pouvoir représenter l'ensemble des stations sur un même graphique. Des regroupements par massif, par type de tronçon et par année ont été représentés. Ces analyses ont concerné un jeu de données partiel où les débits et températures étaient connus (384 données de survie apparente).

3.3. Résultats

3.3.1. La variabilité interannuelle du taux de survie apparent 0+/1+

La variabilité du taux de survie apparent entre 0+ et 1+ selon les années sur l'ensemble du jeu de données est présentée figure 4. La figure 5 présente les mêmes données sans les points extrêmes.

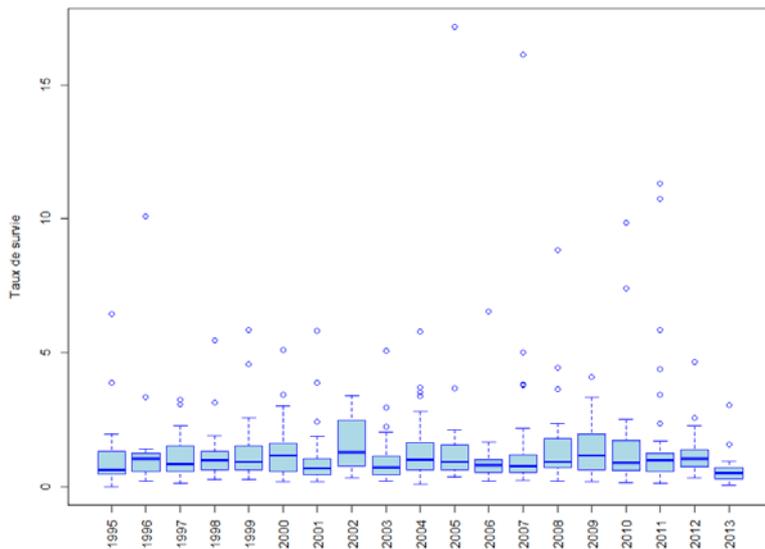


Figure 4. Taux de survie 0+/1+ selon les années

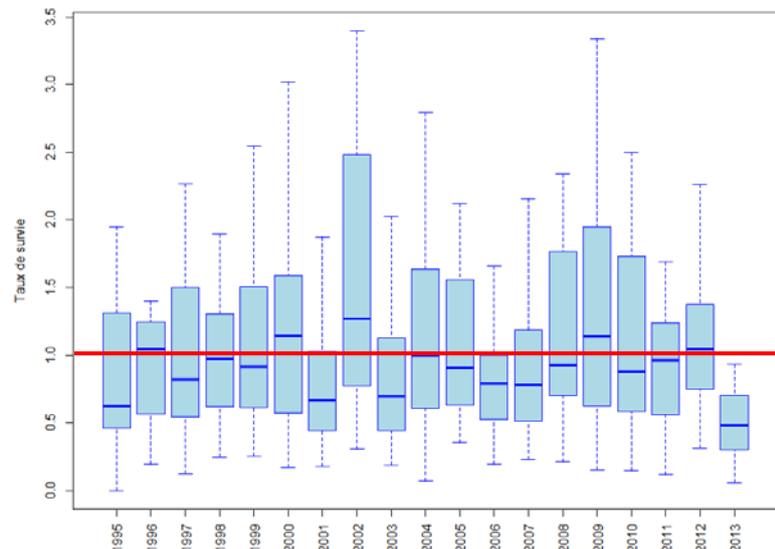


Figure 5. Taux de survie 0+/1+ selon les années, sans les points extrêmes - ligne rouge : survie de 1 pour 1

La variabilité du taux de survie apparent entre 0+ et 1+ selon les massifs est présentée figure 6. La figure 7 présente les mêmes données sans les points extrêmes.

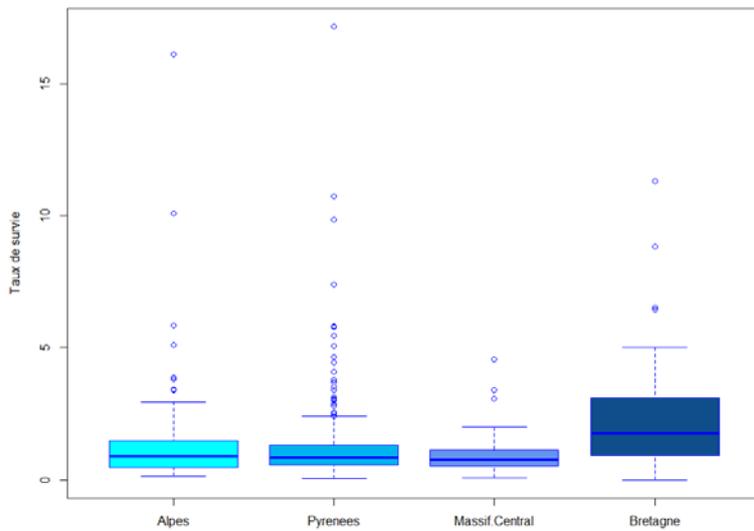


Figure 6. Taux de survie 0+/1+ selon les massifs

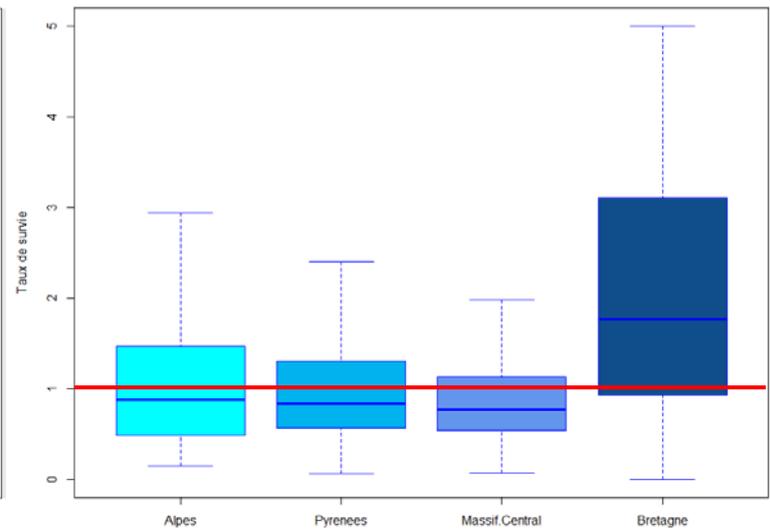


Figure 7. Taux de survie 0+/1+ selon les massifs, sans les points extrêmes - ligne rouge : survie de 1 pour 1

Enfin, la variabilité du taux de survie apparent entre 0+ et 1+ selon les massifs et les cours d'eau est présentée figure 8. La figure 9 présente les mêmes données sans les points extrêmes.

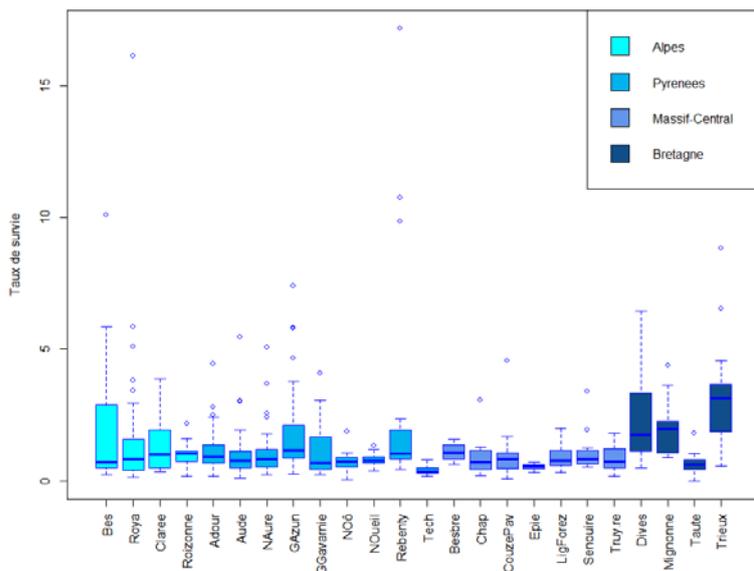


Figure 8. Taux de survie 0+/1+ selon les massifs et les cours d'eau

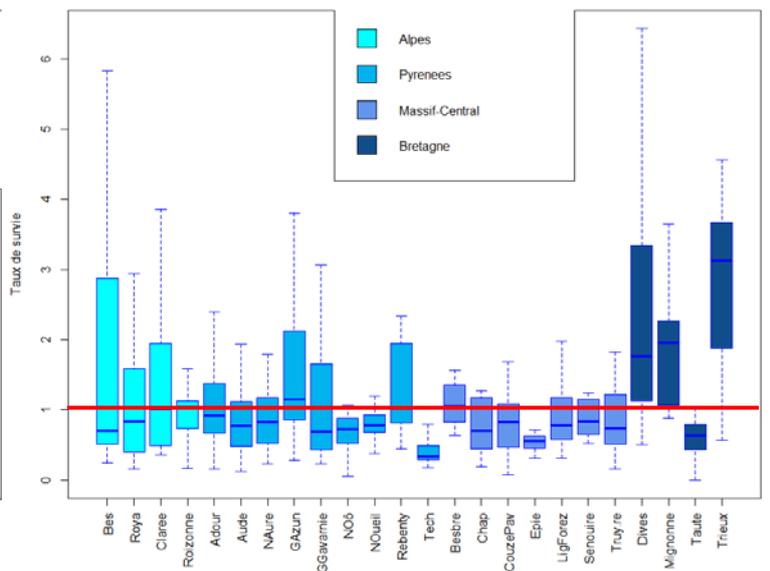


Figure 9. Taux de survie 0+/1+ selon les massifs et les cours d'eau, sans les points extrêmes - ligne rouge : survie de 1 pour 1

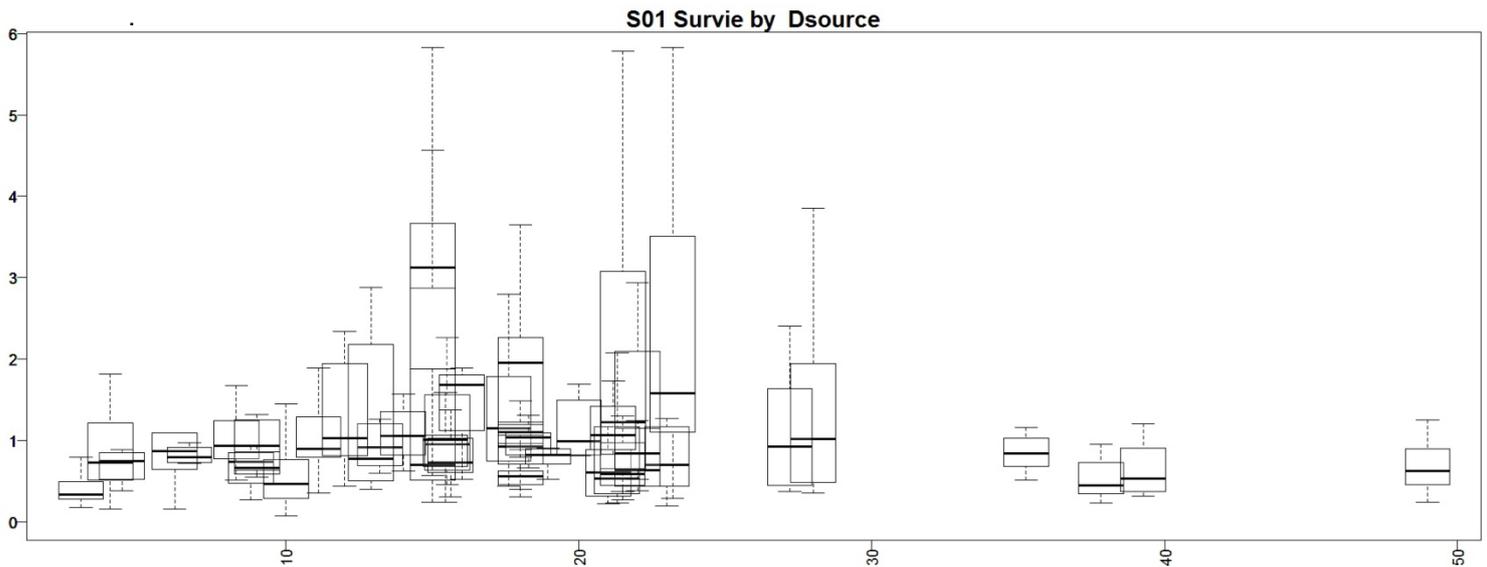
Sur le jeu de données d'étude (607 données de survie), les taux de survie apparents entre 0+ et 1+ sont particulièrement élevés (survie médiane de 0.87). Seuls 21% des échantillonnages ont un taux survie entre 0+ et 1+ inférieur à 50% et plusieurs échantillonnages ont des taux de survie apparents supérieur à 1 (davantage de 1+ une année que de 0+ l'année précédente).

L'ensemble des années, massifs et cours d'eau sont concernés par ces taux de survie apparents élevés. Les taux de survie apparents les plus élevés sont observés sur le massif Bretagne-Normandie avec 90% des échantillonnages qui ont une survie supérieure à 50% (contre 85% à 87% pour les autres massifs). Ces taux élevés observés en Bretagne sont en accord avec le fonctionnement

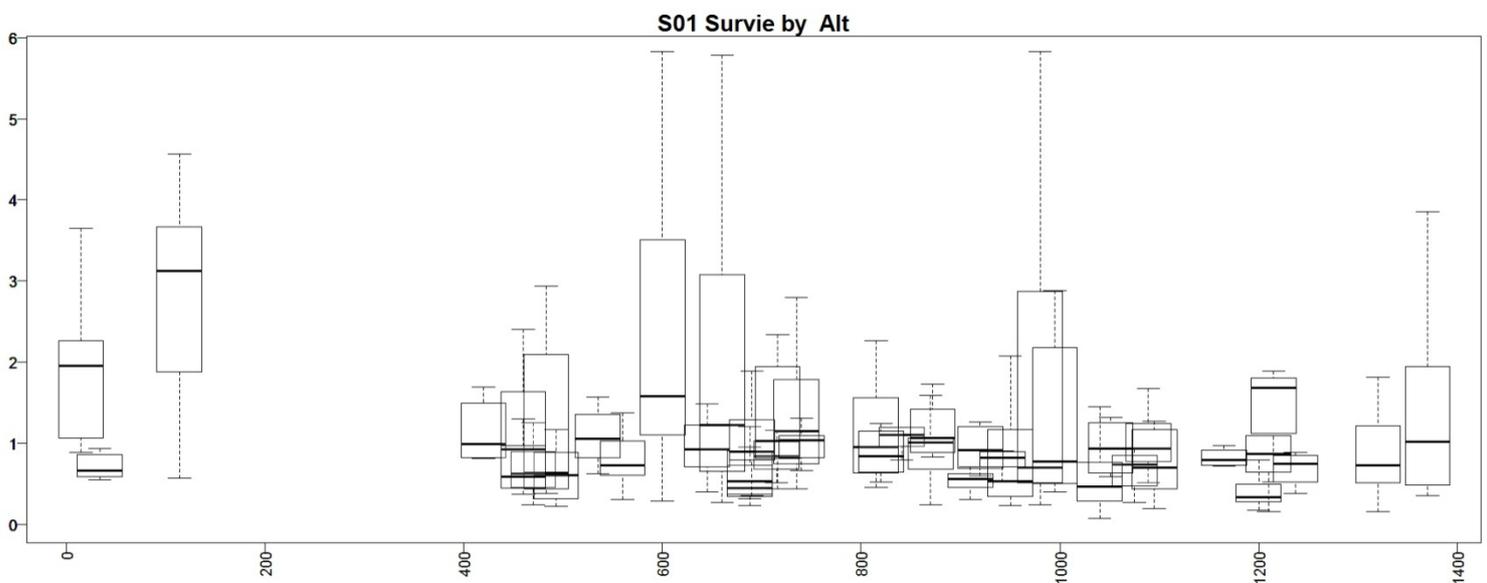
régulièrement mentionné dans ces rivières : des ruisseaux pépinières ensemencent le cours principal (Baglinière et al. 1989).

3.3.2. Mise en relation des taux de survie apparents 0+/1+ avec différentes variables

Des boxplots des taux de survie apparents en fonction de différentes caractéristiques physiques des stations (distance à la source, altitude, pente, largeur moyenne, SPU pour les alevins et SPU pour les juvéniles) ont été réalisés sur un jeu de données où l'ensemble de ces caractéristiques étaient connues, soient 498 taux de survie apparents 0+/1+ (figure 10).

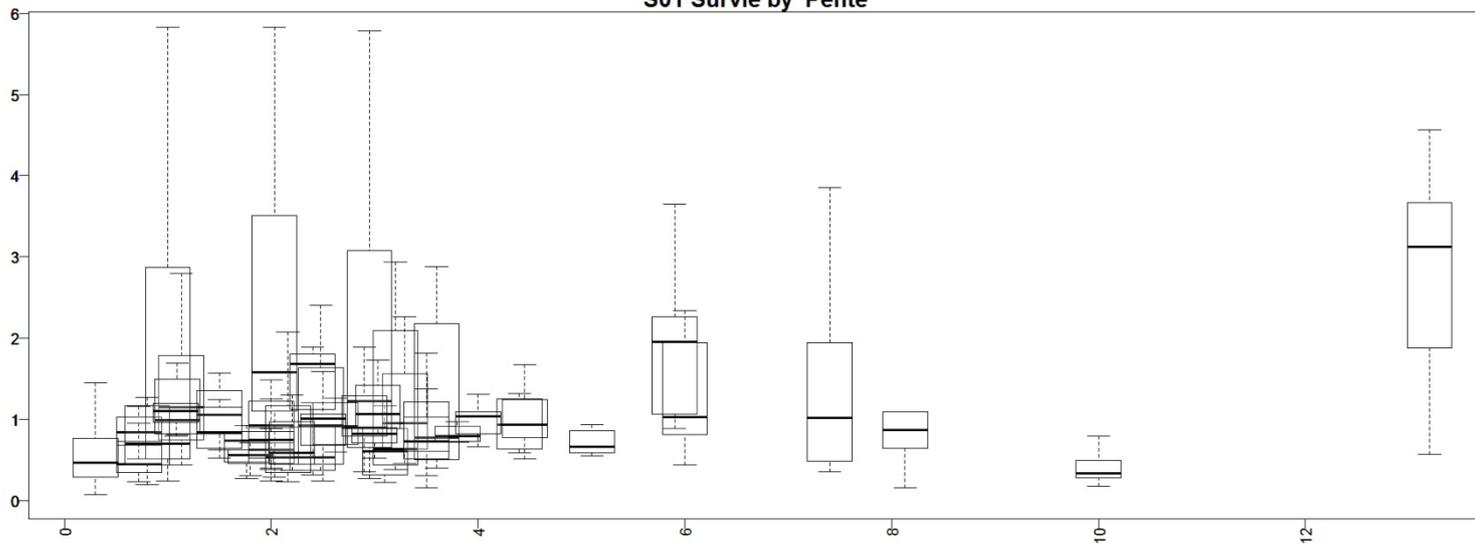


Relation survie apparente 0+/1+ et distance à la source

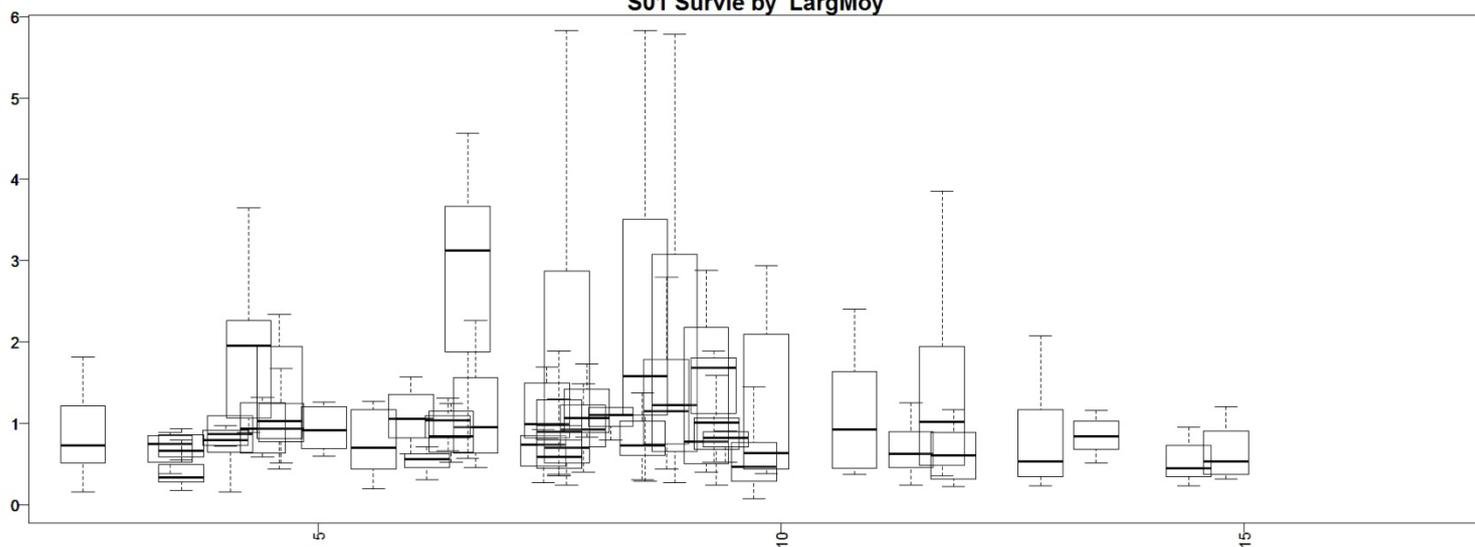


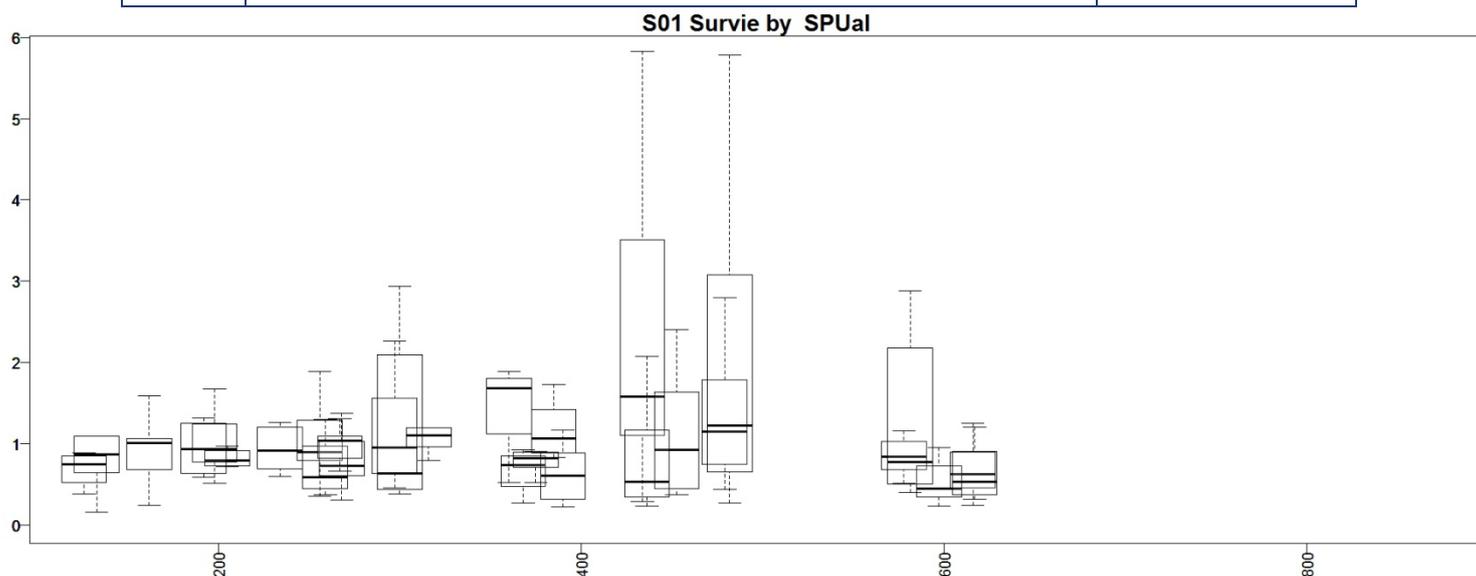
Relation survie apparente 0+/1+ et altitude

S01 Survie by Pente

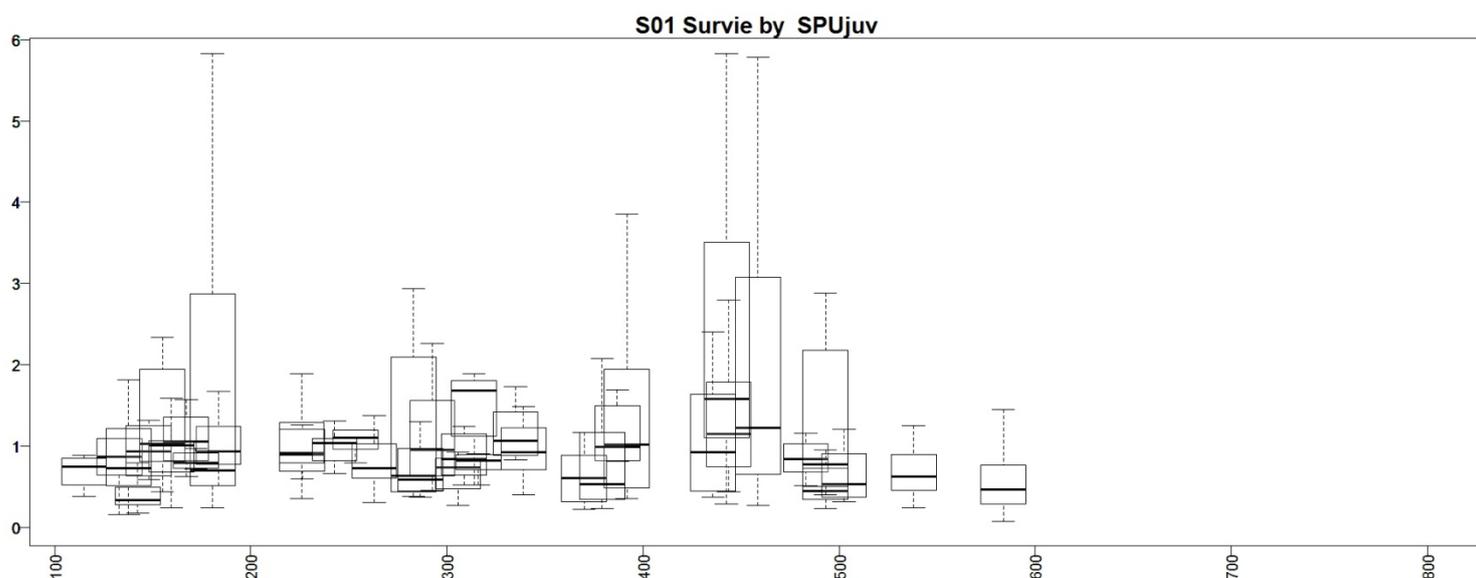
*Relation survie apparente 0+/1+ et pente*

S01 Survie by LargMoy

*Relation survie apparente 0+/1+ et largeur moyenne de la station*



Relation survie apparente 0+/1+ et SPU au débit de base pour les alevins



Relation survie apparente 0+/1+ et SPU au débit de base pour les juvéniles

Figure 10. Taux de survie 0+/1+ selon différentes caractéristiques physiques des stations (distance à la source, altitude, pente, largeur moyenne, SPU pour les alevins et SPU pour les juvéniles)

Aucune relation ne semble exister entre les variables stationnelles testées et le taux de survie apparent entre 0+ et 1+. Le taux de survie apparent 0+/1+ ne semble donc pas directement lié à ces caractéristiques physiques.

Une analyse en composante principale (ACP) a été réalisée sur plusieurs variables quantitatives caractéristiques de l'année : le taux de survie apparent entre 0+ et 1+ (S01), le nombre de 0+/ha (Nha_0), le nombre de 1+/ha (Nha_1), le débit journalier dépassé 10% du temps au cours du printemps (Qcr90_Printemps) et au cours de l'automne (Qcr90_Autom) et la température journalière dépassée 10% du temps au cours du printemps (Tcr90_Printemps) et au cours de l'automne (Tcr90_Autom). Les valeurs de débit et température ont été centrées et réduites par station afin de pouvoir représenter l'ensemble des stations sur un même graphique.

Les deux premiers axes de l'ACP représentent 38% de la variabilité. La figure 11 présente la projection des variables sur les axes 1 et 2. Trois figures présentent ensuite la projection des individus sur les axes 1 et 2, en les regroupant par massif (figure 12), par type de tronçon (figure 13) et par année (figure 14).

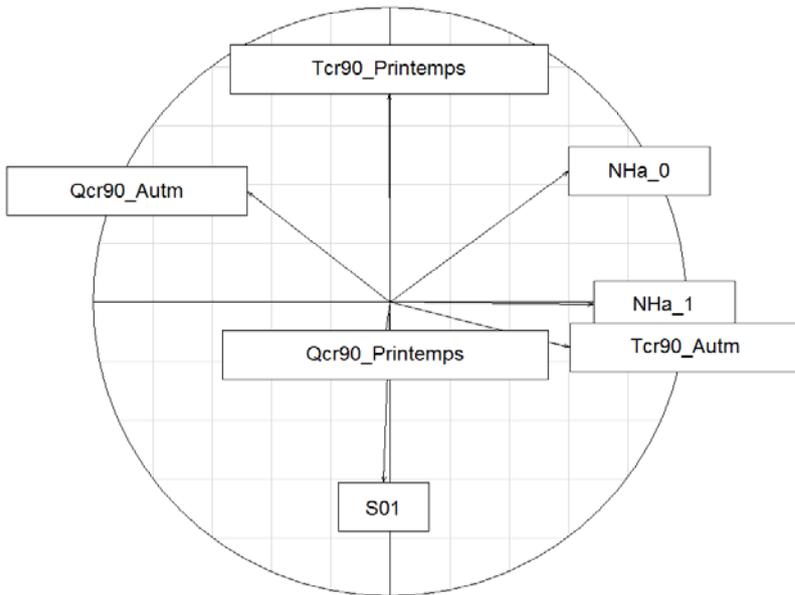


Figure 11. Représentation des variables sur les axes 1 et 2 de l'ACP

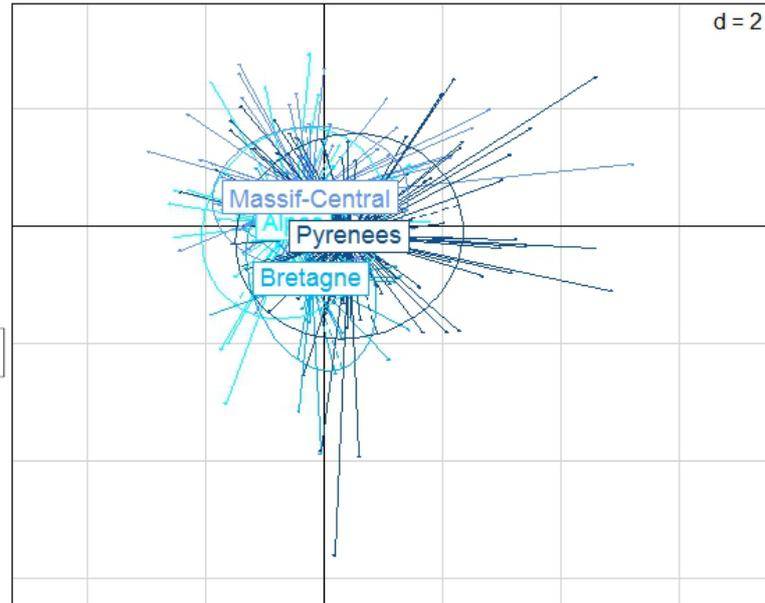


Figure 12. Représentation des individus regroupés par massif sur les axes 1 et 2 de l'ACP

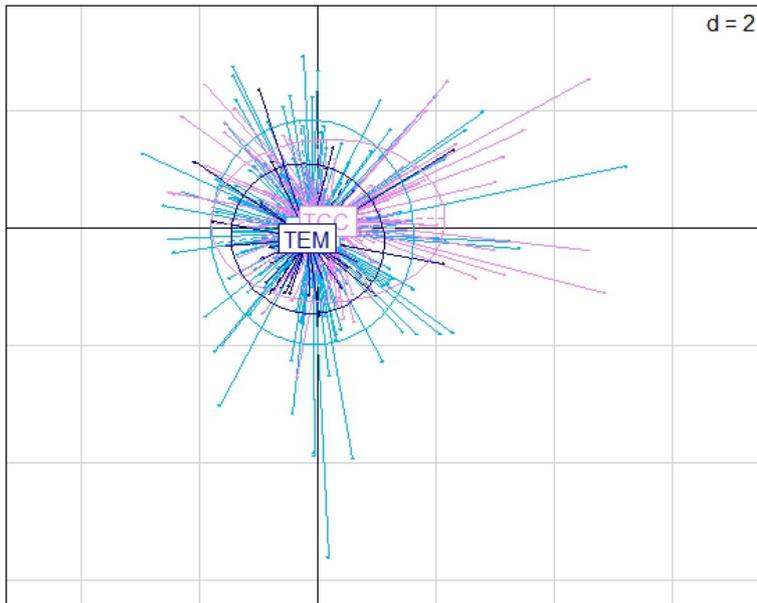


Figure 13. Représentation des individus regroupés par type de tronçon sur les axes 1 et 2 de l'ACP

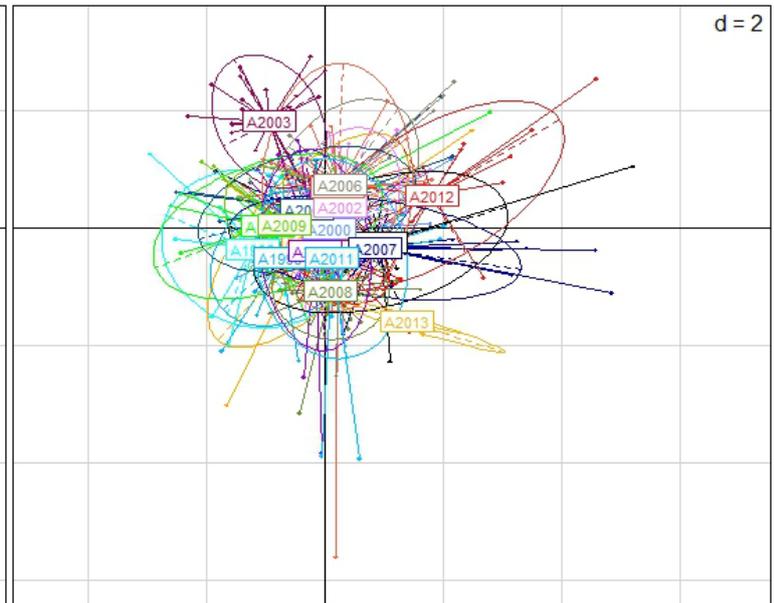


Figure 14. Représentation des individus regroupés par année sur les axes 1 et 2 de l'ACP

La survie entre les 0+ une année et les 1+ l'année suivante est opposée aux années où la température fut élevée au printemps (fortes valeurs de Tcr90) et est positivement corrélée au débit de

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

printemps (valeur du Qcr90). Par contre, il ne semble pas y avoir de lien avec les densités de 0+ et de 1+ et avec les descripteurs de débit et température calculés à l'automne. Ces résultats ne sont pas très tranchés. Ils sont difficiles à mettre en relation avec ceux issus de la bibliographie : il existe une légère relation avec les débits au printemps mais aucun lien avec les autres caractéristiques testées supposées influencer sur les phénomènes de migration (les températures et la densité de 0+ et de 1+ en place).

Les regroupements des échantillons par massif, type de tronçon ou année ne montrent aucune structuration des données en fonction de ces spécificités.

Les données de suivis annuels en pêche électrique mis à disposition par EDF et l'Onema permettent de s'intéresser aux migrations des jeunes stades de truite, à travers le taux de survie apparent entre 0+ une année et 1+ l'année suivante. Des taux de survie apparents 0+/1+ très élevés (médiane supérieure à 0.87 sur plus de 600 données analysées) ont été observés. Ils sont bien supérieurs aux taux de survie classiquement rencontrés dans la littérature entre ces deux classes d'âge, de l'ordre de 0.50. Les quatre massifs français étudiés sont concernés, le massif armoricain étant celui où les taux de survie apparents 0+/1+ sont les plus élevés.

Les analyses exploratoires menées sur le taux de survie 0+/1+ n'ont pas révélé de relation nette avec les différentes variables testées (stationnelles et interannuelles). Il est probable que de nombreux phénomènes entrent en jeu dans l'année qui s'écoule entre chaque inventaire. Dans ce contexte, les seuls phénomènes de migration sont difficiles à analyser.

4. Analyse des déplacements de la truite à partir de données de piégeage en dévalaison

Le travail d'analyses des données de piégeages en dévalaison présenté ci-dessous a été réalisé par Vincent Cornu au pôle écohydraulique de l'Onema à Toulouse. Il a été réalisé dans le cadre de l'accord cadre EDF-ONEMA.

4.1. Moulin de Ségrie Fontaine

4.1.1. Caractéristiques de l'aménagement

Le moulin de Ségrie Fontaine se situe sur la Rouvre dans le département de l'Orne. Le régime hydrologique de la Rouvre est de type pluvial, avec des hautes eaux en hiver, lorsque les pluies sont abondantes et un étiage en fin d'été. Le module de la Rouvre au niveau de la station hydrologique de Ségrie Fontaine est de $3.5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (calculé sur 17 ans, banque hydro).

Le système de piégeage à la remontée a été aménagé dans l'ancienne dérivation motrice du Moulin de Ségrie-Fontaine. Il consistait en une cage-nasse relevable, installée en tête d'une courte passe à poissons à ralentisseurs de fond suractifs. Ce système ne devenait plus guère attractif lors des crues qui transitaient très majoritairement par le seuil-déversoir amont, aujourd'hui effacé (2003) dans le cadre du programme de restauration de la continuité écologique. La même cage-nasse servait aussi au piégeage à la dévalaison, les individus étant guidés vers une goulotte par une barrière de louveres dont l'efficacité avait été testée à 70% sur les smolts de saumon Atlantique.

4.1.2. Période d'observation

Le suivi du dispositif de piégeage a été réalisé de 1990 à 2003 de manière discontinue (figure 15). Durant ces 13 années, 2532 jours ont été suivis représentant 49.5% du temps.

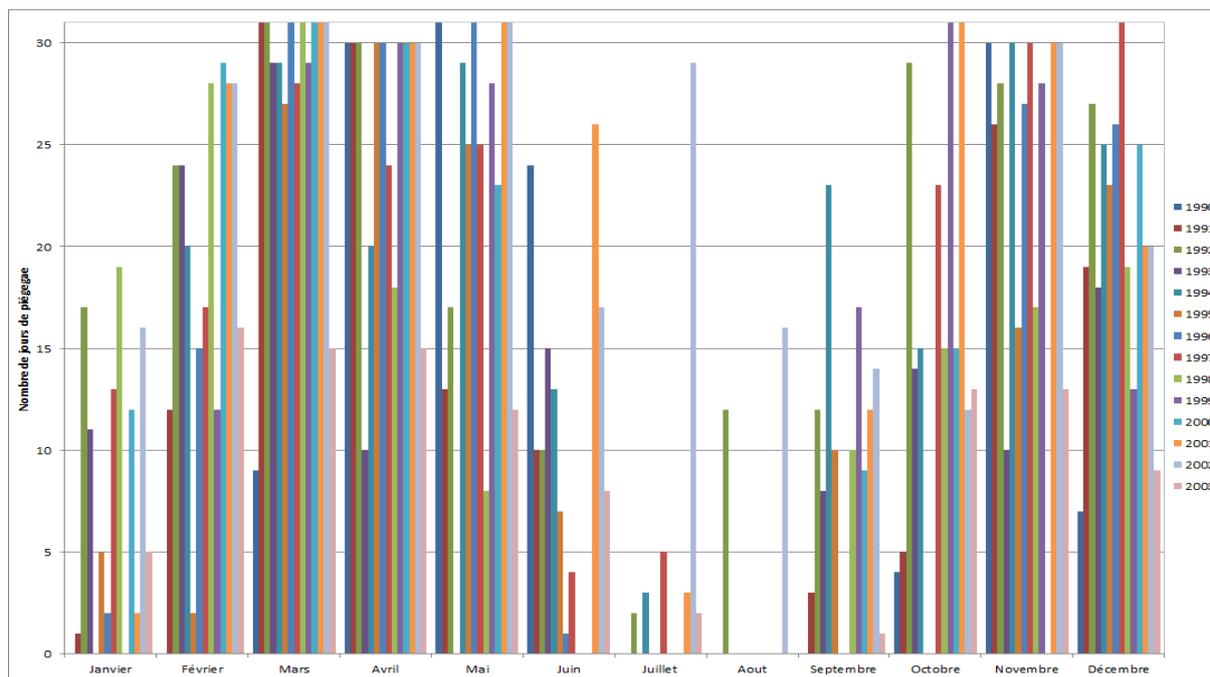


Figure 15 : Nombre de jours de piégeage par mois durant les 13 années de suivi

Les piégeages ont majoritairement été réalisés durant les mois de février, mars, avril, mai, octobre, novembre et décembre. En période de piégeage le système était relevé une fois par jour, le matin.

4.1.3. Caractéristiques des individus contrôlés

Il est probable que l'efficacité du dispositif varie avec les débits entonnés par la prise d'eau. De même, il est probable que l'efficacité du dispositif varie avec la taille des individus. Les données traitées ci-après sont donc à considérer avec précaution, celles-ci ne concernant peut-être qu'une partie de la population migrante lors de la période d'observation.

Pendant les 13 années de piégeage 19 espèces ont été recensées et 14175 poissons ont été contrôlés.

Durant le suivi la distinction de différentes formes écologiques de truites commune (truite commune (notée TRF), truite commune brillante (TRFB), truite présnolt (TPS) et truite smolt (TS)) a été réalisée en utilisant les critères morphologiques définis par Tanguy *et al.* (1993) (tableau 1). Une distinction similaire a aussi été menée pour les juvéniles de saumon atlantique.

Tableau 1 : Caractéristiques externes des différents types morphologiques de truite

		PARRS		SMOLTS	
		Type 1 "Truite fario" (TRF)	Type 2 "Truite fario" brillante (TRB)	Type 3 Truite pré-smolt (TPS)	Type 4 Truite smolt (TS)
Robe		sombre dos brun et ventre jaunâtre	assez claire légèrement brillante dos brun et ventre blanchâtre	argentée très brillante	argentée très brillante
« Tâches de doigts » sur le flanc		foncées, très visibles et régulières	visibles mais estompées	invisibles	invisibles
Points rouges		très visibles, auréole claire	très visibles	visibles	invisibles
Nageoires	Adipeuse	liseré rouge	liseré rouge	liseré rouge	liseré rouge
	Ventrales			plus ou moins décolorées	entièrement décolorées
	Anale	liseré noir et blanc	liseré noir et blanc		
	Caudale	liseré rouge	liseré rouge	sans liseré rouge	sans liseré rouge
Autres critères				ligne latérale ressortie	ligne latérale ressortie

Nous nous sommes intéressés uniquement aux deux formes de truites de rivière (TRF et TRFB). Pour chaque individu, on dispose de sa date de piégeage, de sa longueur totale et de son poids.

Truite commune :

1052 truites communes ont été contrôlées durant les 13 années de suivi (figure 16). 1050 des 1052 individus piégés ont été mesurés. La taille des poissons s'étend de 38 mm à 459 mm (moyenne= 181 mm, écart type = 63 mm). Les individus contrôlés sont donc un mélange d'individus immatures et potentiellement matures.

Les truites communes sont contrôlées tout au long de l'année dans le piège à dévalaison. Il y a deux périodes d'activité qui concentrent la majorité des passages.

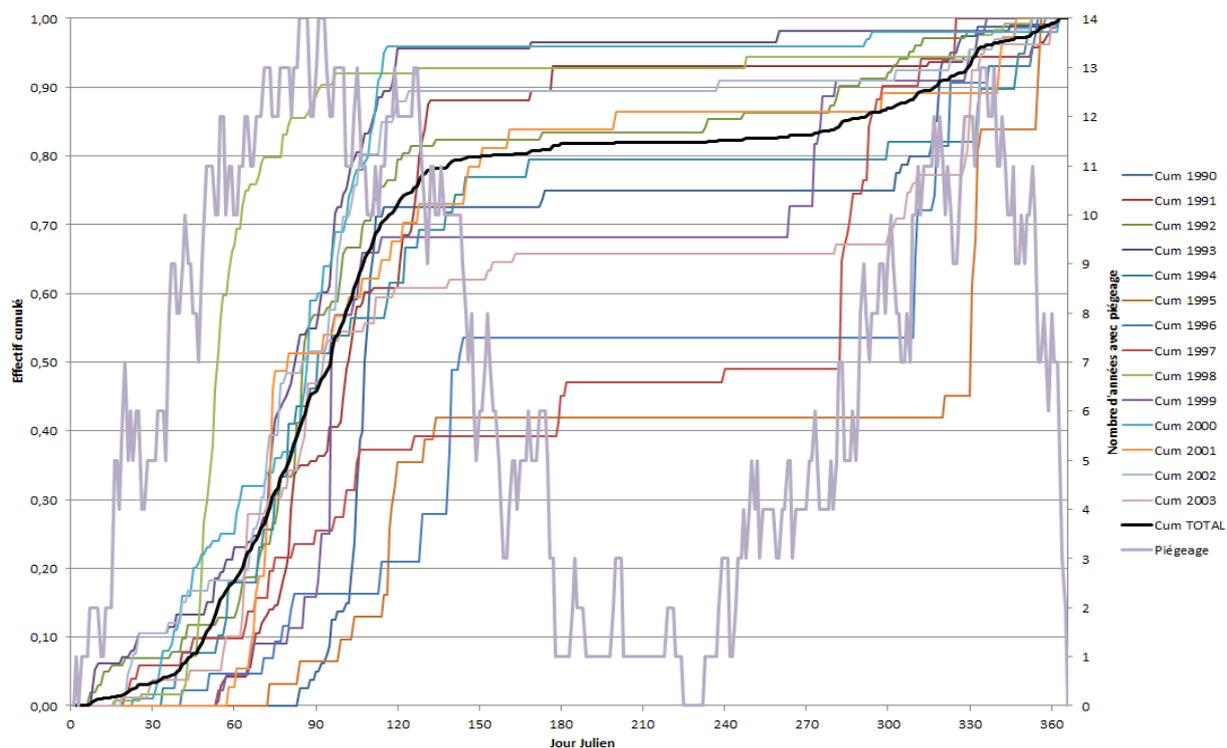


Figure 16 : Passages cumulés des truites communes dans le piège à dévalaison de Ségrie Fontaine tout au long de l'année de 1990 à 2003. La courbe violette représente l'intensité journalière de piégeage sur les 13 années cumulées

La première période d'activité, qui est la plus importante, se déroule de mi-février à mi-mai (printanier). Durant ces 3 mois plus de 70% de l'effectif annuel est contrôlé. En fonction des années, les passages enregistrés à la station peuvent aller jusqu'à 10 poissons par jour.

La seconde période d'activité se déroule d'octobre à décembre (automnal). Durant ces 3 mois 17% de l'effectif annuel est contrôlé. Les passages journaliers sont moins intenses que pour la période précédente et peuvent aller jusqu'à 5 poissons par jour.

Il convient de rester prudent quant à l'interprétation de ces résultats, car le nombre de jours de piégeage pendant une période, est lié au nombre de poissons piégés. Si le premier pic de migration semble correspondre à un mouvement impliquant un nombre important de poissons, on peut se demander si le second pic n'est pas lui le reflet d'un bruit de fond migratoire que l'on détecte avec la ré-intensification du piégeage après la période estivale.

La taille des poissons étant dépendante de leur âge, il est délicat d'analyser ce paramètre en intégrant le résultat sur une année entière. Il a donc été décidé d'effectuer cette analyse pour les deux principales périodes d'activité définies précédemment.

Pic printanier :

Durant les 13 années, de suivi 803 individus ont été piégés au cours des mois de février à mai, 801 ont été mesurés (figure 17). La taille des individus mesurés pendant cette période s'étale de 94 mm à 459 mm.

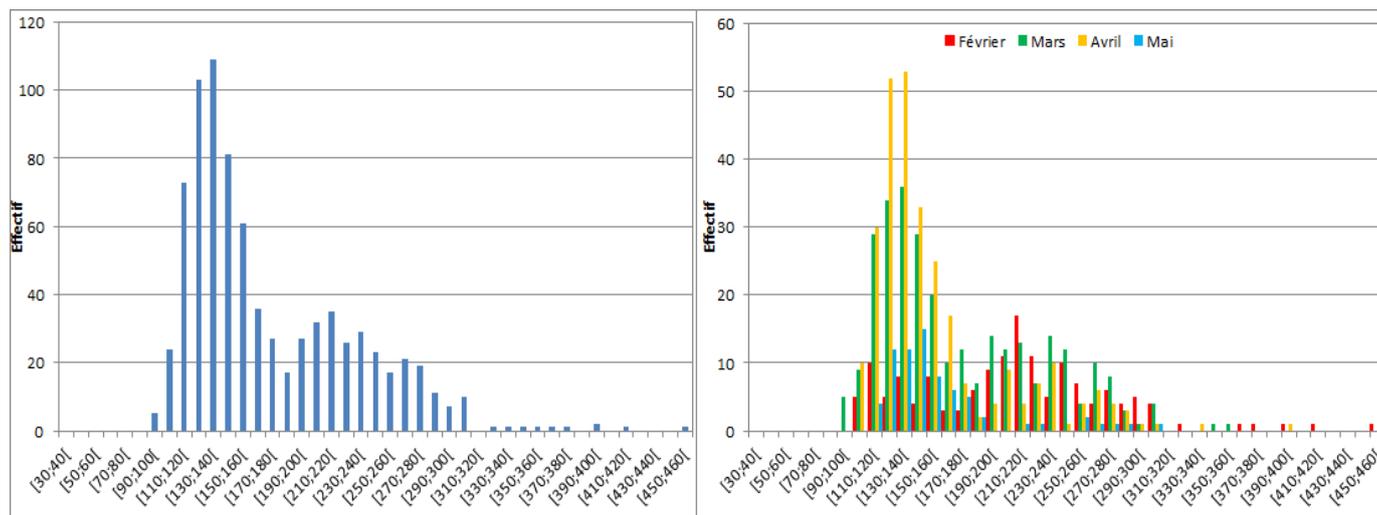


Figure 17 : A gauche, effectif de truites communes piégées au cours du printemps des années 1990 à 2003 représenté en classes de taille; et à droite, effectif de truites communes piégées au cours du mois de février, mars, avril et mai des années 1990 à 2003 représenté en classes de taille

Il y a une multimodalité de la distribution de la taille des individus qui montre que l'échantillon se divise en plusieurs cohortes qui se chevauchent. On distingue très nettement la première cohorte constituée d'individus ayant une taille centrée sur la gamme [130-140[mm. La seconde cohorte est également bien distincte, elle est centrée sur la gamme [210-220[mm. La dernière cohorte discernable est centrée sur la gamme [260-270[mm. Les effectifs sont ensuite trop faibles pour arriver à distinguer clairement d'autres cohortes avec précision.

Une estimation de la taille des truites de la Rouvre en fonction de leur âge a été réalisée à l'aide de 9 pêches électriques réalisées sur ce cours d'eau entre 1990 et 1993 (annexe 1). Selon cette estimation, la taille des individus 1+ au printemps s'étale de 130 mm à 190 mm, celle des individus 2+ de 210 mm à 250 mm et celles des 3+ de 255 mm à 290 mm. L'effectif piégé au printemps serait donc majoritairement composé d'individus 1+ et à moindre mesure d'individus 2+ et 3+.

En s'intéressant à la répartition mensuelle des passages par classe de taille on remarque que la majorité de l'effectif piégé en février est composé d'individus 2+ tandis que pour les mois de mars, avril et mai ce sont les individus 1+ qui sont les plus représentés. Il est probable qu'une partie des individus contrôlés en février soient des géniteurs dévalant vers les zones occupées avant la migration de reproduction.

Pic automnal :

Durant les 13 années de suivi, 175 individus ont été piégés au cours des mois de février à mai, ils ont tous été mesurés (figure 18). La taille des individus mesurés pendant cette période s'étale de 72 mm à 450 mm.

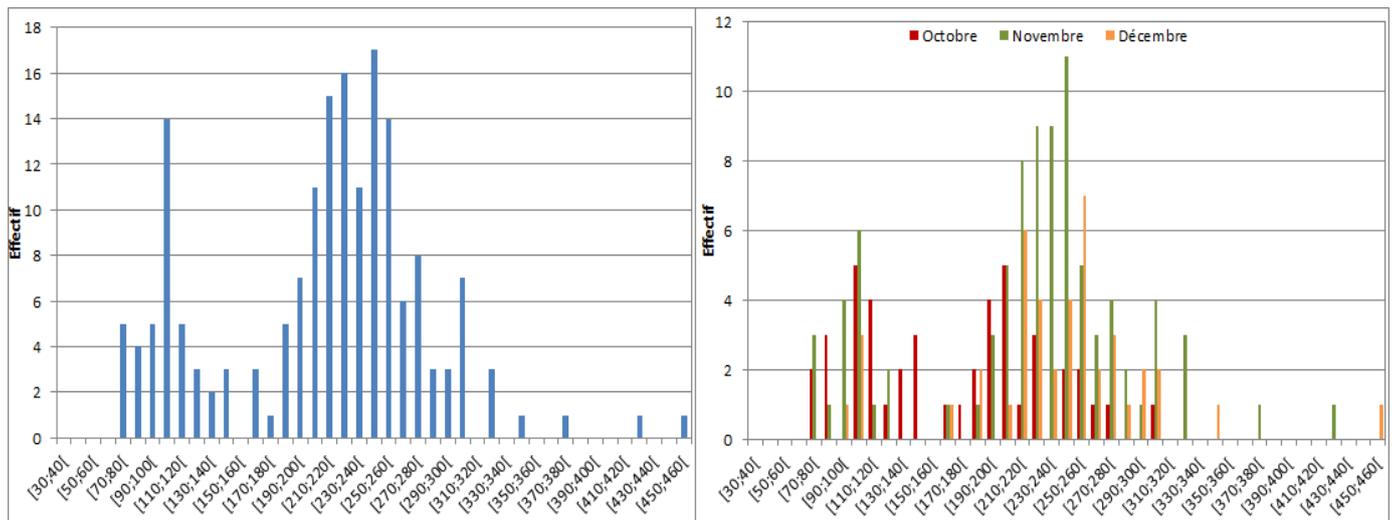


Figure 18 : A gauche, effectif de truites communes piégées au cours de l'automne des années 1990 à 2003 représenté en classes de taille; et à droite, effectif de truites communes piégées au cours du mois d'octobre, novembre et décembre des années 1990 à 2003 représenté en classes de taille

Là aussi l'échantillon se divise en plusieurs cohortes qui se chevauchent. On distingue très nettement la première cohorte constituée d'individus ayant une taille centrée sur la gamme [100-110[mm. La division des autres cohortes est plus délicate. On distingue deux pics centrés sur les gammes [210-220[mm et [240-250[mm que l'on peut soit attribuer à deux cohortes différentes soit attribuer à une même cohorte. Les effectifs sont ensuite trop faibles pour arriver à distinguer clairement d'autres cohortes avec précision.

Grâce à l'estimation de la taille des truites de la Rouvre en fonction de leur âge (annexe 1), la taille des individus 0+ à l'automne est évaluée entre 85 mm à 160 mm, celle des individus 1+ entre 185 mm à 235 mm et celles des 2+ de 240 mm à 280 mm. L'effectif piégé en automne serait donc majoritairement composé d'individus 1+ et/ou 2+ et, à moindre mesure, d'individus 0+.

En s'intéressant à la répartition mensuelle des passages par classe de taille, on remarque que la majorité de l'effectif piégé en octobre est composée d'individus 0+ et 1+, pour le mois de novembre les individus 0+, 1+ et 2+ sont tous représentés avec une majorité de 1+ et 2+ et pour le mois de décembre ce sont surtout les individus 1+ et 2+ qui sont majoritaires. Il est probable qu'une partie des individus contrôlés en novembre et décembre soient des géniteurs dévalant vers les zones occupées avant la migration de reproduction.

Truite commune brillante :

2259 truites communes brillantes ont été contrôlées durant les 13 années de suivi (figure 19). 2253 des 2259 individus piégés ont été mesurés. La taille des poissons s'étend de 95 mm à 396 mm (moyenne= 152 mm, écart type = 30 mm). Les individus contrôlés sont donc un mélange d'individus immatures et potentiellement matures.

Les truites communes brillantes ont été contrôlées quasiment exclusivement durant les mois de février à mai, 97% des individus sont passés dans la fenêtre s'étendant du 1 mars au 15 mai. Il est probable que le phénomène de brillance de leur robe soit lié à la saison, un peu de la manière dont se déroule la smoltification des salmonidés migrateurs.

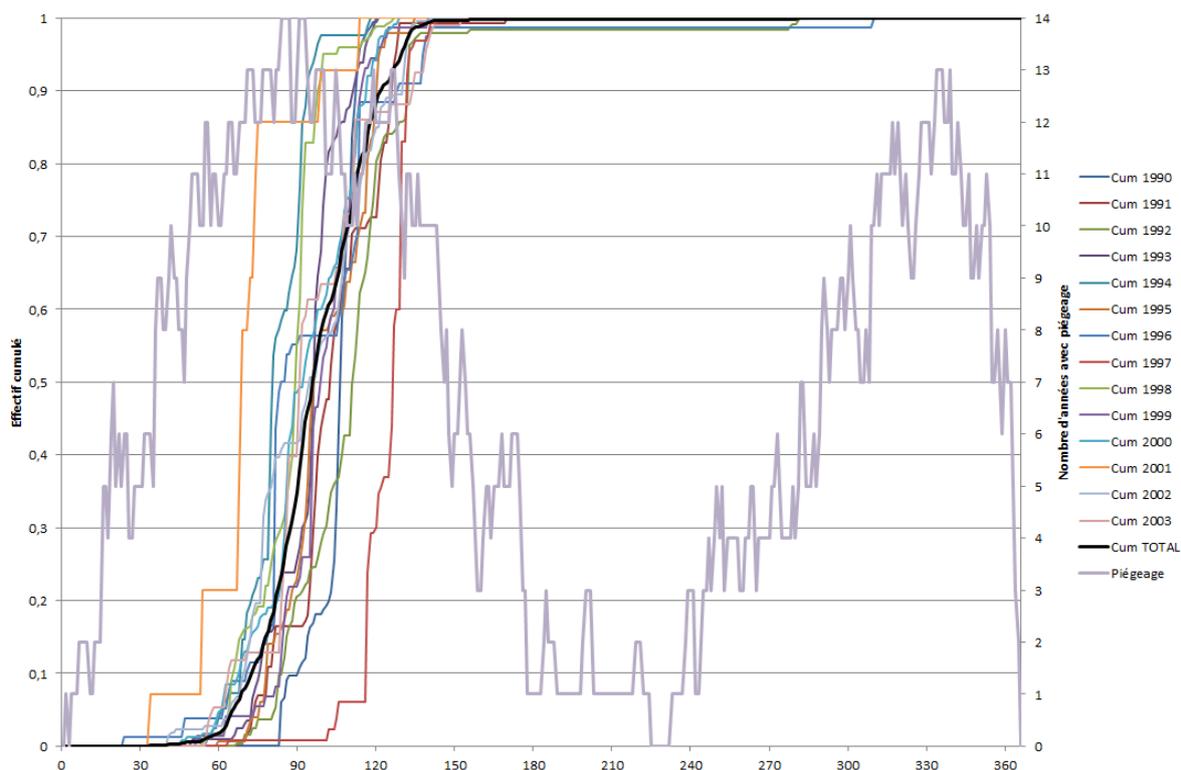


Figure 19 : Passages cumulés des truites communes brillantes dans le piège à dévalaison de Ségrie Fontaine tout au long de l'année de 1990 à 2003. La courbe violette représente l'intensité de piégeage journalière sur les 13 années cumulées

La distribution de la taille des individus est de forme unimodale qui montre qu'une cohorte domine largement l'échantillon (figure 20). Cette cohorte est constituée d'individus ayant une taille centrée sur la gamme [130-140] mm. D'autres cohortes sont aussi présentes mais les effectifs sont trop faibles pour arriver à les distinguer clairement.

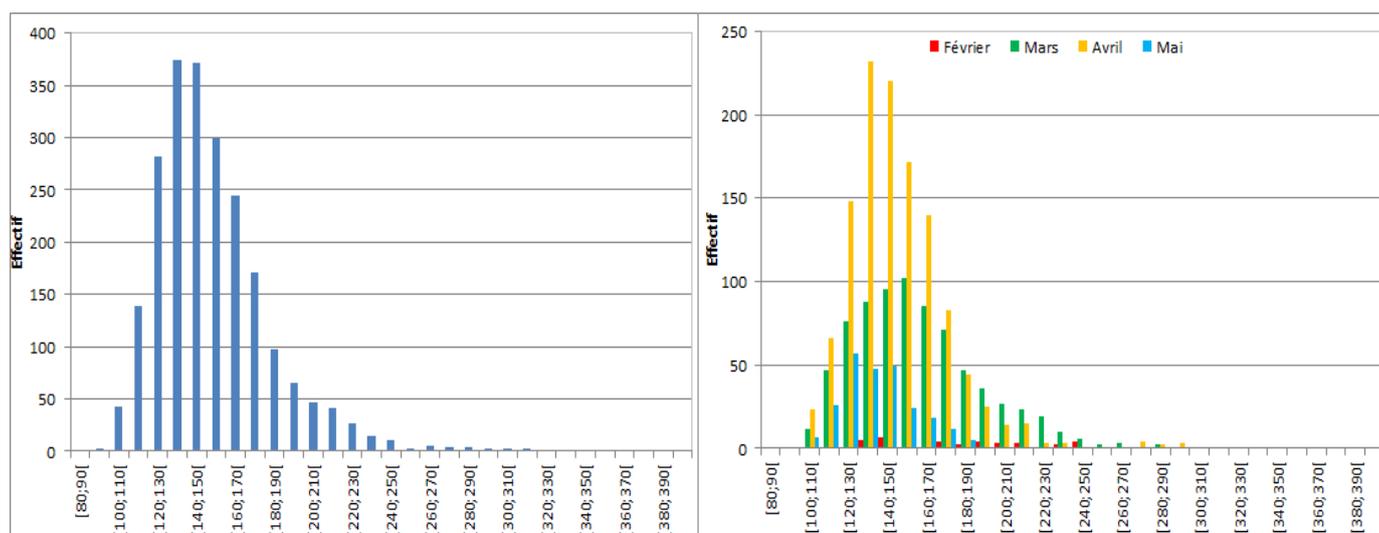


Figure 20 : A gauche, effectif de truites communes brillantes piégées au cours des années 1990 à 2003 représenté en classes de taille; et à droite, effectif de truites communes piégées au cours du mois de février, mars, avril et mai des années 1990 à 2003 représenté en classes de taille

Selon l'estimation de la taille des truites de la Rouvre en fonction de leur âge (annexe 1), les individus capturés ici sont majoritairement des 1+.

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

En s'intéressant à la répartition mensuelle des passages par classe de taille, on remarque que la majorité de l'effectif piégé en février est composé d'individus > 1+. On remarque que la taille des individus 1+ des mois de mars, avril et mai diminue avec le temps.

Passage en fonction des paramètres environnementaux

Les chroniques de passage des truites communes et truites communes brillantes sont données en annexe 2 pour les années où l'on dispose des données du débit de la Rouvre à Ségrie Fontaine (de 1997 à 2003).

Le débit semble avoir une influence sur le passage des poissons. Aucune règle stricte ne se dégage mais on remarque que les passages des poissons peuvent se concentrer lors et/ou après des périodes d'augmentation du débit. Ce ne sont pas forcément les plus grosses augmentations qui provoquent les passages les plus importants. Il est possible qu'il y ait un effet de seuil (augmentation relative) à partir duquel le débit puisse concentrer les déplacements.

4.2. Aménagement de l'usine hydroélectrique de Soeix

Les données traitées dans cette partie sont issues des travaux de Larinier *et al.* (1993), Larinier *et al.* (1994) et Travade *et al.* (1996), qui n'avaient analysé dans le détail que les saumons.

4.2.1. Caractéristiques de l'aménagement

L'usine de Soeix se situe sur le Gave d'Aspe. Le régime hydrologique du Gave est de type pluvio-nival, caractérisé par des hautes eaux en hiver et au printemps et un étiage de juillet à octobre. Le module du Gave d'Aspe à proximité de l'usine est de $24 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. L'aménagement hydroélectrique de Soeix se compose d'un barrage poids de 28,6 m de longueur et de 7 m de hauteur court-circuitant 500 m du Gave d'Aspe.

La largeur de la prise d'eau de l'usine est voisine de 15 m, l'espacement des barreaux de la grille de la prise d'eau est de 3,5 cm.

L'exutoire de dévalaison est constitué d'une vanne de dégrèvement surmonté d'un clapet situé en rive gauche, à proximité du plan de grille de la prise d'eau.

4.2.2. Période d'observation

Le suivi de l'exutoire de l'usine hydroélectrique de Soeix a été réalisé de 1992 à 1994. Il avait pour but de vérifier l'efficacité du dispositif pour le saumon atlantique durant la période de dévalaison des smolts (migration printanière). Devant les résultats obtenus, diverses modifications du dispositif ont été effectuées entre les différentes années du suivi.

Les débits moyens mensuels des périodes où les suivis ont été réalisés (mars, avril et mai) sont respectivement de 33, 43 et $54 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Durant ces périodes d'observation une quantité importante de truite commune a été recensée.

4.2.3. Caractéristiques des individus contrôlés

Les caractéristiques de l'exutoire de dévalaison ayant été modifiées au cours des années et son efficacité variant probablement en fonction des débits turbinés par l'usine, l'efficacité du dispositif est de ce fait variable à la fois au cours d'une même année d'observation mais également entre les différentes années de suivi. De même, il est probable que l'efficacité du dispositif varie avec la taille des individus. Les données traitées ci-après sont donc à considérer avec précaution, celles-ci ne concernant peut-être qu'une partie de la population migrante lors de la période d'observation.

Trois formes écologiques de truite ont été observées : la truite commune (TRF), la truite smoltifiée (TRFS) et la truite de mer (TRM). L'identification de ces différentes formes écologiques a parfois été réalisée en utilisant des critères morphologiques.

Les données traitées ci-après regroupent les biométries effectuées sur le site de Soeix ainsi que sur le site de Gurmençon (situé à l'amont de Soeix, utilisé pour se procurer des individus sauvages de saumon atlantique en migration, pour le suivi de leur comportement à Soeix).

4.2.3.1. Suivi de l'année 1992

En 1992, le piégeage n'a été réalisé qu'à l'usine de Soeix.

Truite commune (TRF)

Du 11 mars au 19 mai ce sont 337 TRF qui ont été piégées à Soeix. La biométrie a été réalisée sur 110 individus. Leur taille totale varie de 11.5 cm à 44.5 cm, moyenne et médiane sont proches (respectivement 19.1 cm et 18.8 cm) (figure 21). Le coefficient de condition moyen calculé pour 102 individus est de 1.00.

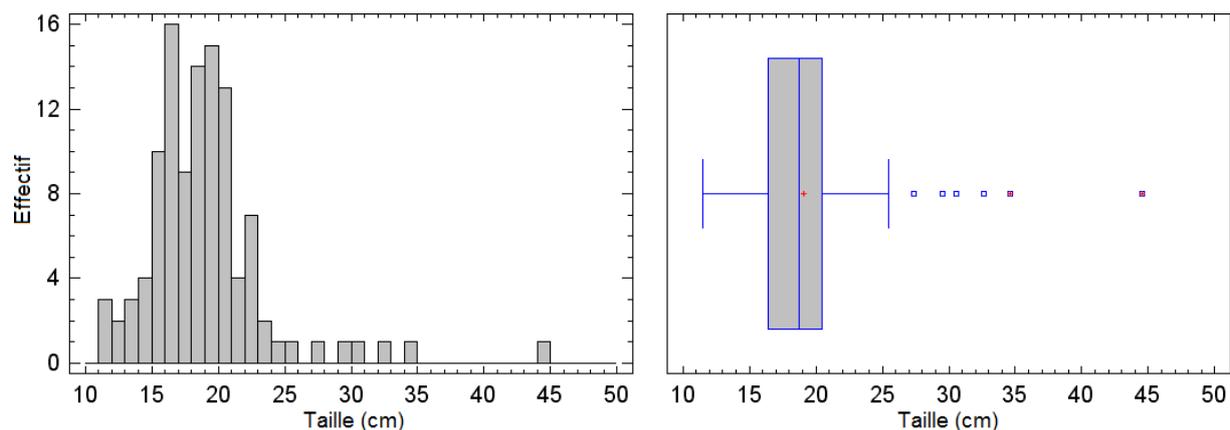


Figure 21. Histogramme de fréquence et boîte à moustache de la longueur totale des TRF piégés à Soeix en 1992

La classe de taille la plus représentée est [16;17] cm avec 16 individus puis [19;20] cm avec 15 individus. Le modèle décrit en annexe 1 pour estimer la taille des individus en fonction de leur âge donne une taille moyenne des individus à 1 an de 16.5 cm et des individus à 2 ans de 22.4 cm. Selon cette estimation, la majorité des individus contrôlés à Soeix serait des individus de 1 an, dans une moindre mesure des individus de 2 ans et quelques individus plus âgés.

Truite smoltifiée (TRFS)

Du 11 mars au 19 mai, ce sont 143 TRFS qui ont été piégées à Soeix. La biométrie a été réalisée sur 32 individus. Leur taille totale varie de 16 cm à 31.2 cm, moyenne et médiane sont proches de 22.6 cm (figure 22). Le coefficient de condition n'a pas été calculé.

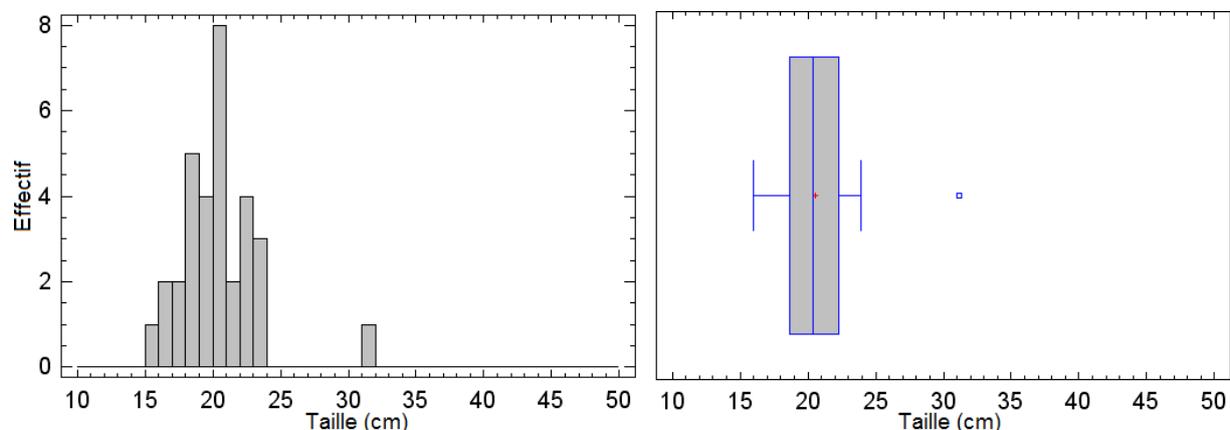


Figure 22. Histogramme de fréquence et boîte à moustache de la longueur totale des TRFS piégés à Soeix en 1992

La classe de taille la plus représentée est [20;21] cm avec 8 individus. Aucune donnée ne permet de

connaître la relation taille/âge des TRFS sur le Gave d'Aspe.

La taille des TRFS est significativement supérieure à la taille des TRF (ANOVA, $F=44.97$, $p<0.01$).

Truite de mer (TRM)

Du 11 mars au 19 mai, ce sont 31 TRM qui ont été piégées à Soeix. La biométrie a été réalisée sur 21 individus. Leur taille totale varie de 16.5 cm à 38.5 cm, moyenne et médiane sont proches (respectivement 25.9 cm et 25.4 cm) (figure 23), le coefficient de condition moyen calculé pour 16 individus est de 0.88.

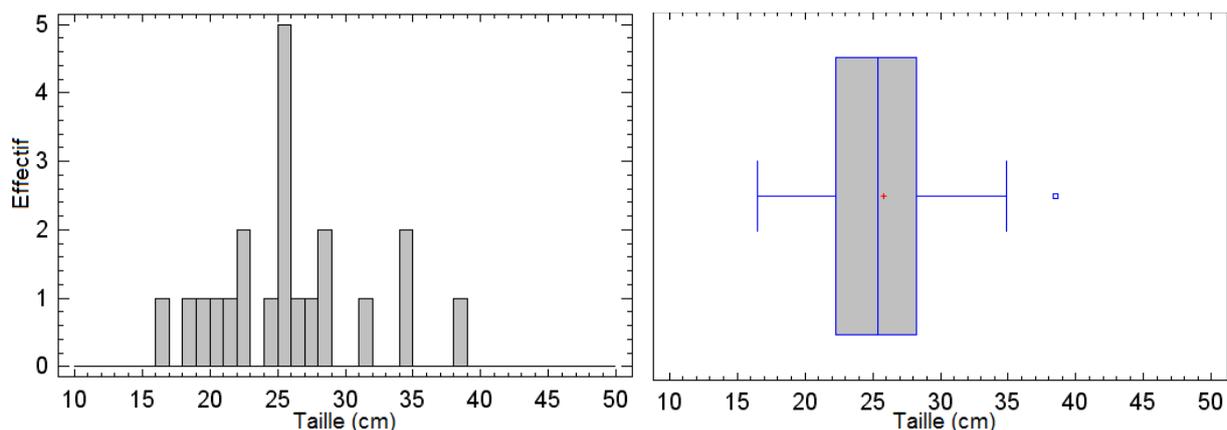


Figure 23. Histogramme de fréquence et boîte à moustache de la longueur totale des TRM piégés à Soeix en 1992

La classe de taille la plus représentée est [25;26] cm avec 5 individus. Aucune donnée ne permet de connaître la relation taille/âge des TRM sur le Gave d'Aspe.

La taille des TRM piégées est significativement supérieure à celle des TRF et TRFS (ANOVA, $F=20.41$, $p<0.01$). De plus, le coefficient de condition des TRM est significativement inférieur à celui des TRF (ANOVA, $F=15.55$, $p<0.01$).

Passages en fonction des paramètres environnementaux

Le débit du gave d'Aspe a varié de $5.2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ le 14 mars à $68.2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ le 2 mai (figure 24). Le régime hydraulique du Gave d'Aspe a été marqué par 4 crues où le débit du cours d'eau a dépassé ponctuellement les $55 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ avec des pics marqués les 5, 19, 24 avril et 2 mai. La température a varié de 7°C le 25 mars à 10.8°C le 13 mai. L'effectif journalier de truites a varié de 0 à 76 individus la journée du 18 avril (13 TRF, 58 TRFS et 5 TRM).

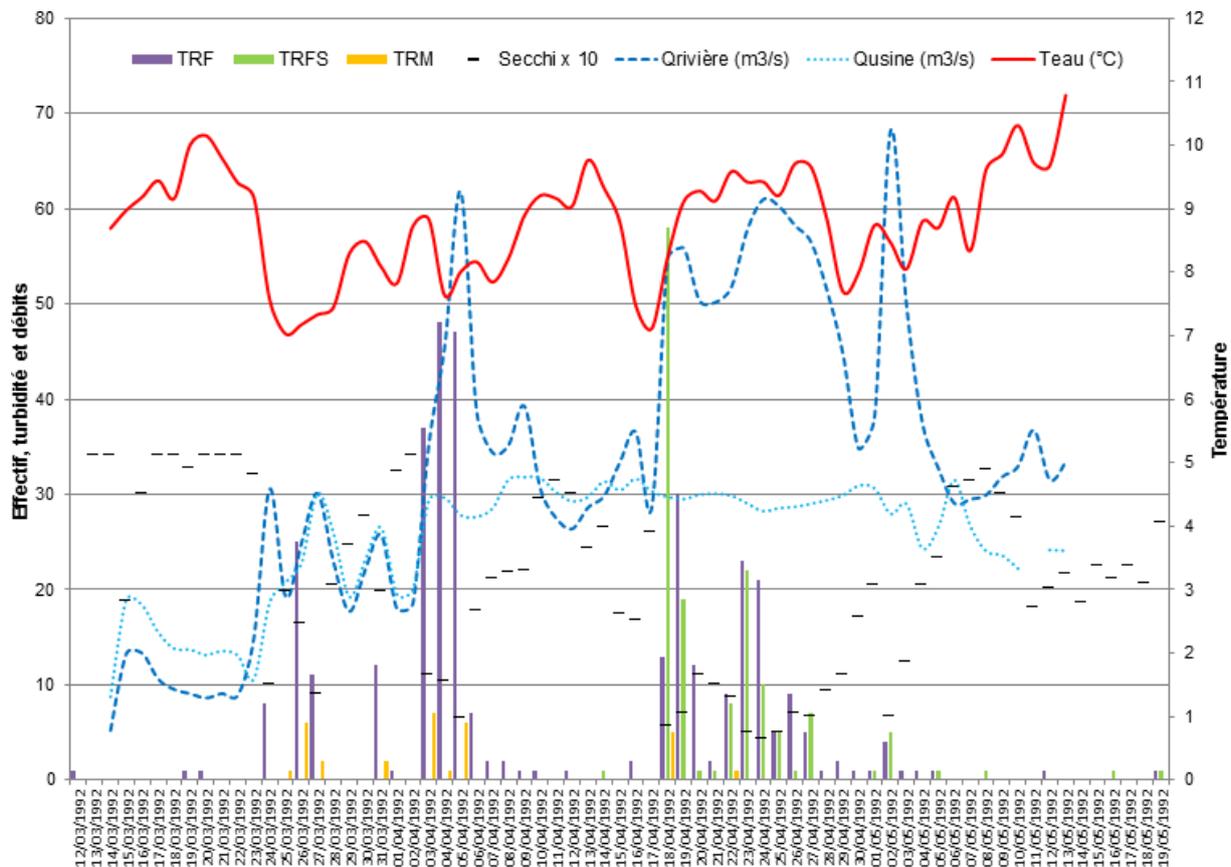


Figure 24. Evolution des captures de TRF, TRFS et TRM en fonction des paramètres environnementaux durant le suivi de l'année 1992 à Soeix

Les passages des TRF et TRM sont répartis tout le long de la période d'observation alors que les TRFS ne sont contrôlées qu'à partir du 14 avril.

Les principaux pics de passage sont observés essentiellement durant les périodes d'augmentation du débit et de baisse de la turbidité : du 3 au 5 avril ($+43.2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) ; les 18 et 19 avril ($+27. \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) et du 22 au 24 avril ($+10.8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Les augmentations de température supérieures à 0.5°C entre deux jours consécutifs ne semblent pas déclencher de mouvements sauf si elles sont couplées à une augmentation significative du débit.

4.2.3.2. Suivi de l'année 1993

A partir de l'année 1993 le piégeage a été réalisé à Soeix et Gurmençon et seules deux formes de truites ont été consignées (TRF et TRM), le classement en TRFS étant très dépendant de l'opérateur.

Truite commune

Du 23 mars au 12 mai, ce sont 287 TRF qui ont été piégées à Soeix et 125 TRF à Gurmençon. La biométrie n'a été réalisée qu'à Gurmençon sur 94 individus. Leur taille totale varie de 13.2 cm à 49 cm avec une taille moyenne de 24.7 cm et une médiane de 19.8 cm (figure 25). Le coefficient de condition moyen calculé pour 78 individus est de 0.91.

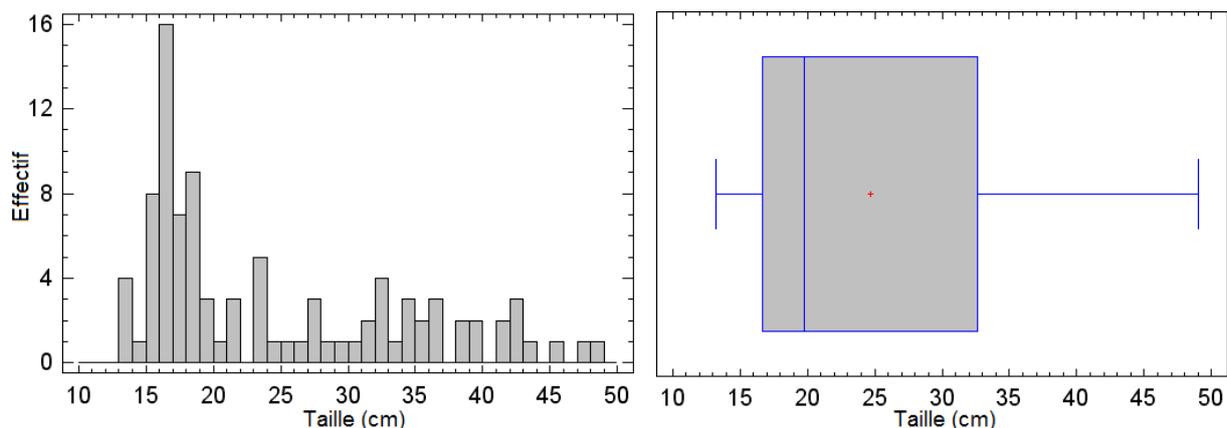


Figure 25. Histogramme de fréquence et boîte à moustache de la longueur totale des TRF piégés à Gurmençon en 1993

La classe de taille la plus représentée est [16;17] cm avec 16 individus. La majorité des individus contrôlés à Soeix serait des individus de 1 an et dans une moindre mesure, des individus de 2 ans et plus.

Truite de mer

Du 23 mars au 12 mai ce sont 232 TRM qui ont été piégées à Soeix et 243 TRM à Gurmençon. La biométrie n'a été réalisée qu'à Gurmençon sur 158 individus. Leur taille totale varie de 17.3 cm à 49 cm, moyenne et médiane sont proches de 25.2 cm (figure 26). Le coefficient de condition moyen calculé pour 115 individus est de 0.85.

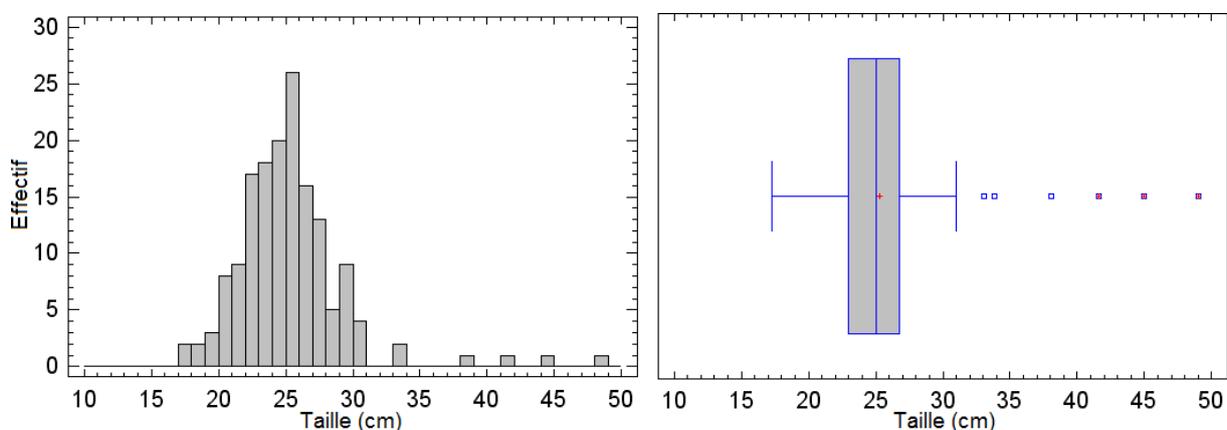


Figure 26. Histogramme de fréquence et boîte à moustache de la longueur totale des TRM piégés à Gurmençon en 1993

La classe de taille la plus représentée est [26;27] cm avec 26 individus.

La taille des TRM piégées est significativement supérieure à celle des TRF (Kruskal-Wallis, $p < 0.05$). De plus, le coefficient de condition des TRM est significativement inférieur à celui des TRF (ANOVA, $F = 27.24$, $p < 0.01$).

Passage en fonction des paramètres environnementaux

Le débit du gave d'Aspe a varié de $11.8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ les 28 et 30 mars à $44.6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ le 2 mai (figure 27). Le régime hydraulique du Gave d'Aspe a été marqué par 3 crues où le débit du cours d'eau a dépassé ponctuellement les $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ avec des pics marqués les 4, 7 et 24 avril. La température a varié de 8.1°C les 26 et 27 mars à 10.8°C le 6 mai. L'effectif journalier de truites a varié de 0 à 89 individus la journée du 7 avril (47 TRF et 42 TRM).

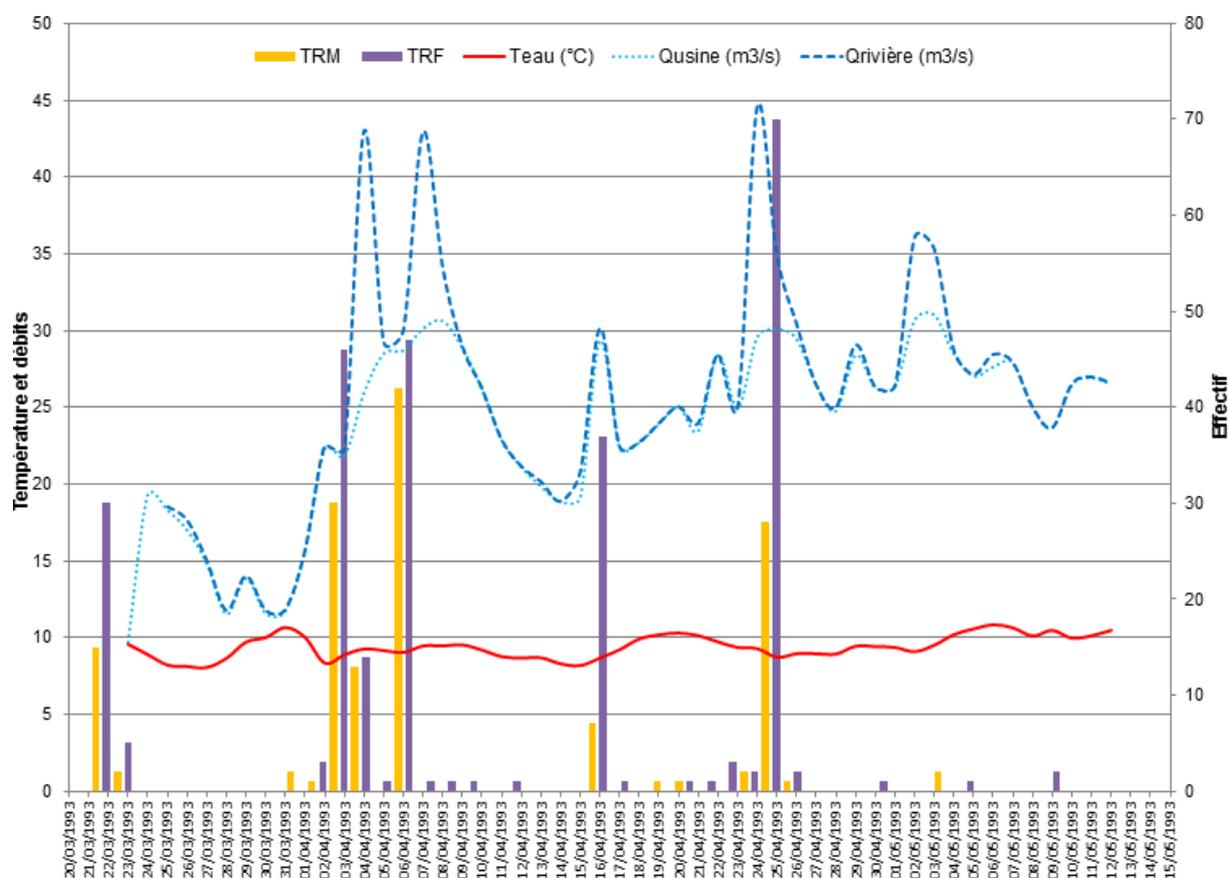


Figure 27. Evolution des captures de TRF et TRM en fonction des paramètres environnementaux durant le suivi de l'année 1993 à Soeix

Les principaux pics de passage sont observés durant les périodes d'augmentation du débit : le 4 avril ($+20.7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) ; le 7 avril ($+13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), le 16 avril ($+9.4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) et le 24 avril ($+19.6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Les augmentations de température supérieures à 0.5°C entre deux jours consécutifs ne semblent pas déclencher de mouvements sauf si elles sont couplées à une augmentation significative du débit.

88% des truites ont dévalé durant la nuit contre 12% la journée.

4.2.3.3. Suivi de l'année 1994

Truite commune

Du 11 mars au 6 mai, ce sont 355 TRF qui ont été piégées à Soeix et 80 TRF à Gurmençon. La biométrie a été réalisée sur 214 individus à Soeix et 58 individus à Gurmençon. Leur taille totale varie de 11.3 cm à 46 cm à Soeix et de 12.9 cm à 40 cm à Gurmençon (figure 28), le coefficient de condition moyen calculé pour 212 individus est de 0.91 à Soeix et de 0.90 pour 40 individus à Gurmençon.

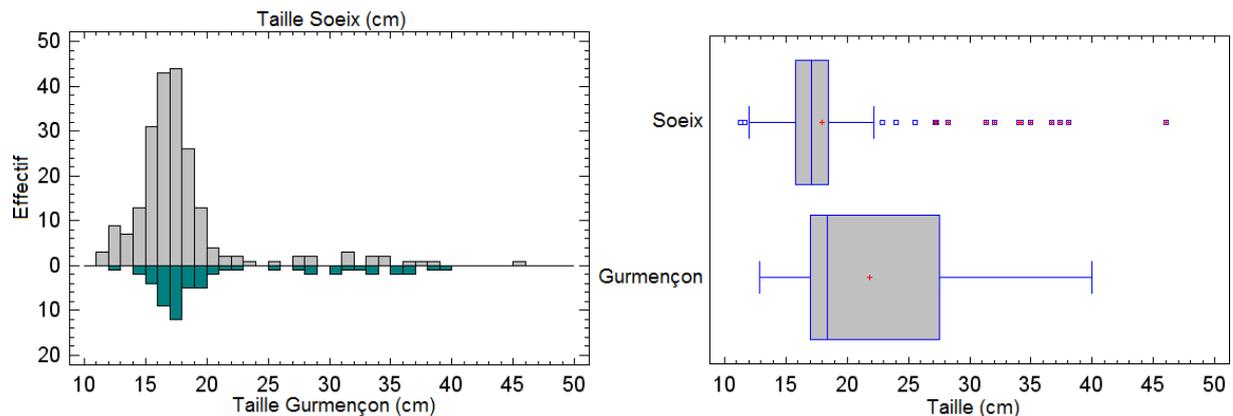


Figure 28. Histogramme de fréquence et boîte à moustache de la longueur totale des TRF piégés à Soeix et à Gurmençon en 1994

Les deux classes de taille les plus représentées pour les deux sites sont [16;17] cm et [17;18] cm. La majorité des individus contrôlés dans les deux sites serait des individus de 1 an et, dans une moindre mesure, des individus de 2 ans et plus.

Les TRF capturées à Soeix sont plus petites que celles capturées à Gurmençon (Kruskal-Wallis, $p < 0.01$), ceci peut être expliqué par un écartement inter-barreaux plus petit à Soeix (3.5 cm) qu'à Gurmençon (4.5 cm). Par contre, il n'y a pas de différence significative du coefficient de condition entre les individus capturés dans les deux sites (ANOVA, $F = 0.51$, $p = 0.47$).

Truite de mer

Du 11 mars au 6 mai, ce sont 227 TRM qui ont été piégées à Soeix et 169 TRM à Gurmençon. La biométrie a été réalisée sur 181 individus à Soeix et 134 individus à Gurmençon. Leur taille totale varie de 15.9 cm à 31.5 cm à Soeix (moyenne = 23.6 cm et médiane = 23.7 cm) et de 15.9 cm à 31.5 cm à Gurmençon (moyenne = 24.5 cm et médiane = 24.6 ; figure 29). Le coefficient de condition moyen calculé pour 166 individus est de 0.84 à Soeix et de 0.86 pour 134 individus à Gurmençon.

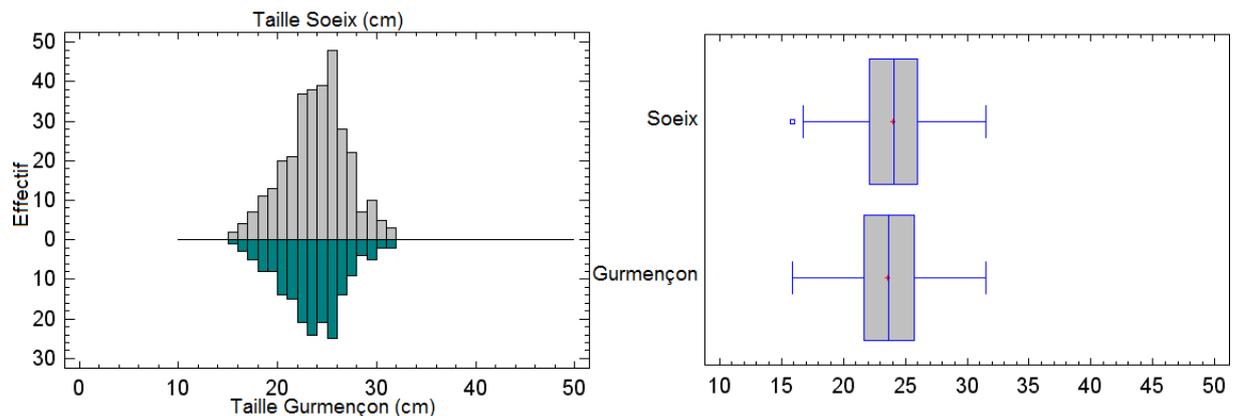


Figure 29. Histogramme de fréquence et boîte à moustache de la longueur totale des TRM piégés à Soeix et à Gurmençon en 1994

La classe de taille la plus représentée pour les deux sites est [25;26] cm.

Il n'y a pas de différence de taille entre les truites piégées à Soeix et à Gurmençon (ANOVA, $F = 5.95$, $p < 0.05$; analyse par paires). Mais, il y a des différences significatives du coefficient de condition entre les individus capturés dans les deux sites (ANOVA, $F = 4.46$, $p < 0.05$).

La taille des TRM piégées est significativement supérieure à celle des TRF pour les deux sites (ANOVA, $F = 79.86$, $p < 0.01$; analyse par paires, $p < 0.05$). De plus, le coefficient de condition des TRM est significativement inférieur à celui des TRF pour les deux sites (ANOVA, $F = 30.49$, $p < 0.01$; analyses par paires, $p < 0.05$).

Passage en fonction des paramètres environnementaux

Le débit du gave d'Aspe a varié de $25.3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ le 24 mars à $114 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ le 7 avril (figure 30). Le régime hydraulique du Gave d'Aspe a été marqué par 3 crues où le débit du cours d'eau a dépassé $60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ avec des pics marqués les 7, 24 avril et 4 mai. La température a varié de 7.1°C le 3 avril à 10.3°C le 27 avril. L'effectif journalier de truites a varié de 0 à 75 individus la journée du 4 avril (46 TRF et 29 TRM).

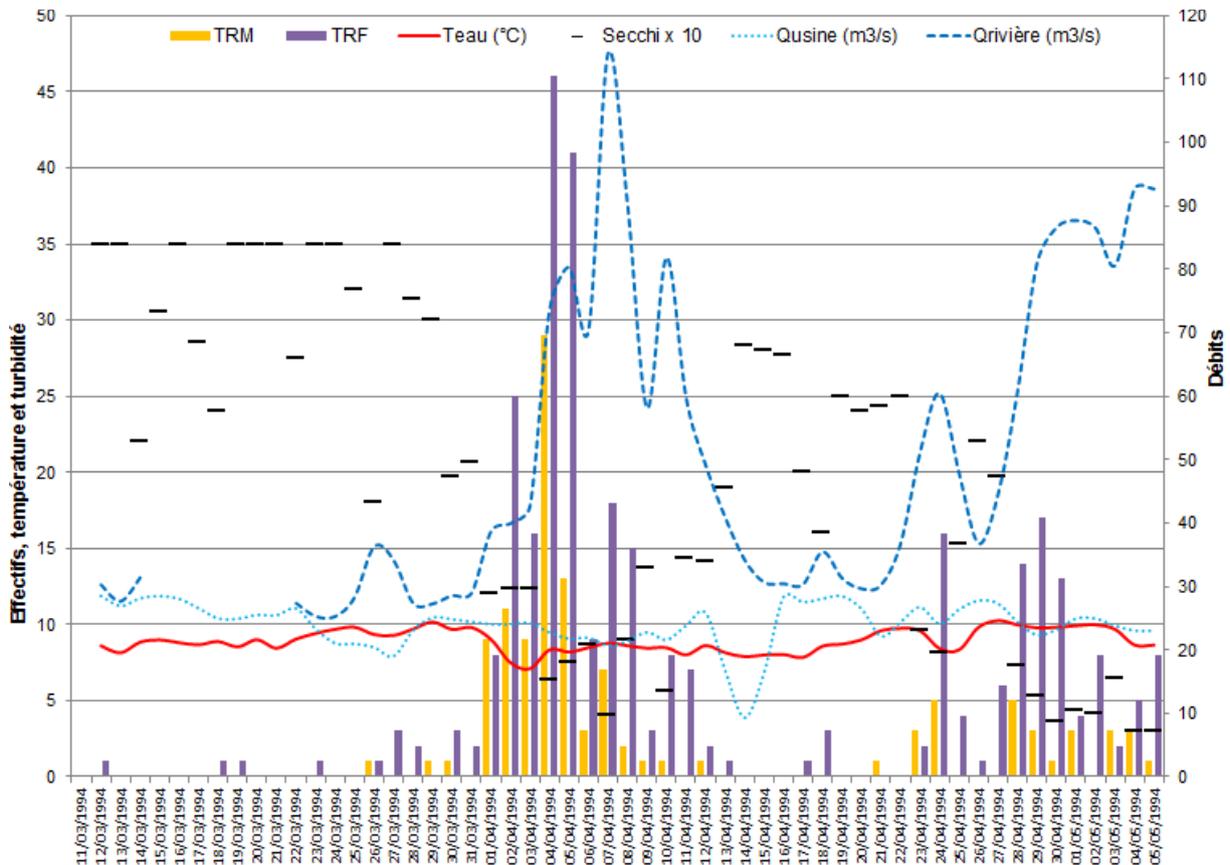


Figure 30. Evolution des captures de TRF et TRM en fonction des paramètres environnementaux durant le suivi de l'année 1994 à Soeix

Les principaux pics de passage sont observés durant les périodes d'augmentation du débit et de baisse de la turbidité : du 1 au 5 avril ($+51.4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) ; le 7 avril ($+43.6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), du 23 au 24 avril ($+23.8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) et du 28 au 30 avril ($+42 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Les augmentations de température supérieures à 0.5°C entre deux jours consécutifs ne semblent pas déclencher de mouvement sauf si elles sont couplées à une augmentation significative du débit.

4.2.4. Bilan

Durant ces trois années de suivi, trois formes de truite en mouvement ont été recensées dans le Gave d'Aspe : truite commune, truite smoltifiée et truite de mer. La distinction entre ces trois formes s'est faite par des critères morphologiques notamment la forme du corps et la coloration de la livrée. La classification en truite smoltifiée a été abandonnée après la première année de suivi, les individus pouvant être à différents stades de smoltification leur différenciation est très dépendante de l'opérateur.

La majorité des passages (80%), toutes formes confondues, a lieu du 24 mars au 24 avril (figure 31).

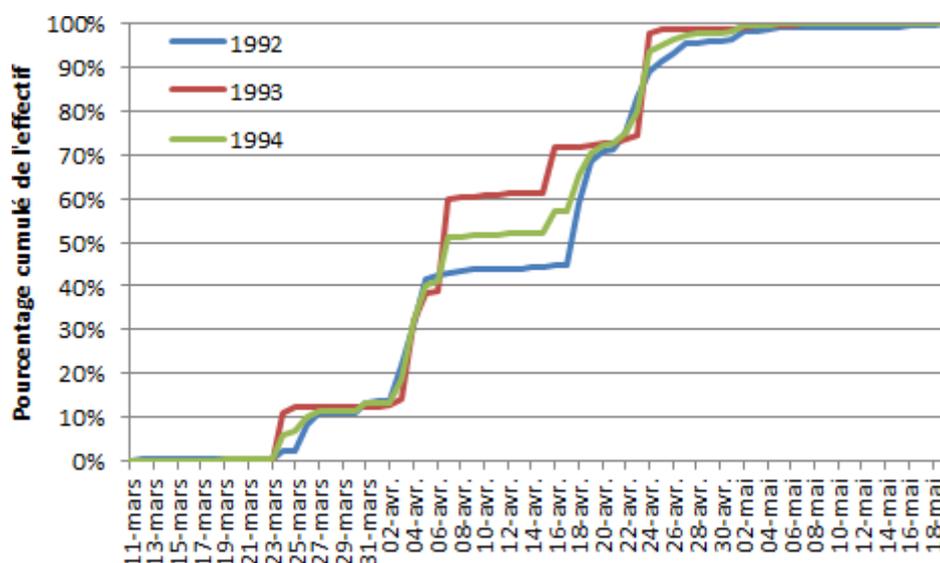


Figure 31. Passage cumulé des truites contrôlées dans l'exutoire de Soeix pour les années 1992, 1993 et 1994

Les principaux pics de migration ont été rencontrés lors d'épisodes de crue, quand le débit du Gave d'Aspe augmente de plus de $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ entre deux jours consécutifs. L'influence des variations de la température sur le déclenchement de la migration n'a pas été clairement démontrée ici. Les observations effectuées durant le suivi de 1993 montre que la migration est principalement nocturne, avec plus de 80% des individus contrôlés la nuit.

Durant ces trois années, la biométrie de 476 TRF et 494 TRM a été réalisée. La taille des TRF oscille entre 11.3 et 49 cm (moyenne = 20.1 cm, médiane = 17.7 cm) et celle des TRM entre 15.9 et 49 cm (moyenne = 24.5 cm, médiane = 24.5 cm, figure 32).

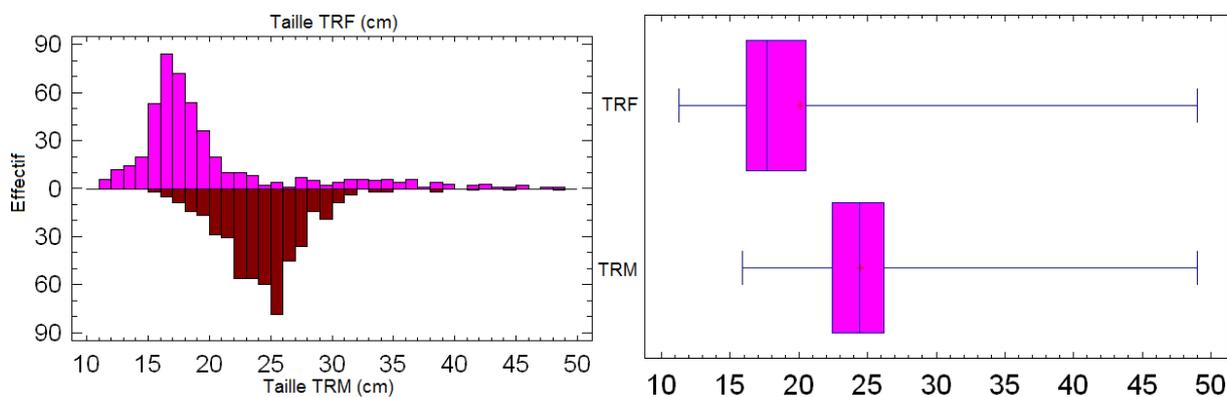


Figure 32. Bilan des tailles des TRF et TRM mesurées durant les suivis de 1992 à 1994

La classe de taille la plus représentée pour les TRF est [16;17] cm avec 84 individus et celle pour les TRM est [25;26] cm avec 79 individus.

La taille des TRM est significativement supérieure à celles des TRF (Kruskal-Wallis, $p < 0.01$). La majorité des TRF contrôlées sont des individus d'un an. Les TRM ayant une taille supérieure aux TRF (intermédiaire = 6.8 cm), on peut penser que leur dévalaison concerne majoritairement des individus immatures de 2 ans ou plus ainsi que des géniteurs en retour vers l'océan.

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

4.3. Aménagement de l'usine hydroélectrique de Bedous

Les données traitées dans cette partie sont issues des travaux de Chanseau *et al.* (1998).

4.3.1. Caractéristiques de l'aménagement

L'usine de Bedous se situe sur le Gave d'Aspe. Le régime hydraulique du Gave est de type pluvio-nival, caractérisé par des hautes eaux en hiver et au printemps et un étiage de juillet à octobre. Le module du Gave d'Aspe à proximité de l'usine est de $22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. L'aménagement hydroélectrique de Bedous se compose d'un barrage mobile de 56 m de longueur. L'eau est acheminée par un canal d'amenée de forme trapézoïdale de 250 m de longueur vers une prise d'eau d'une galerie de 12 km jusqu'à l'usine hydroélectrique d'Asasp. L'usine est équipée de deux turbines Francis à axe vertical sous 100 m de chute environ.

La largeur de la prise d'eau est voisine de 15 m, l'espacement des barreaux de la grille de la prise d'eau est de 3 cm.

L'exutoire de dévalaison est situé en rive droite, à un mètre en amont du plan de grille.

4.3.2. Période d'observation

Le suivi de l'exutoire de l'usine hydroélectrique de Bedous a été réalisé au printemps 1998. Il avait pour but de vérifier l'efficacité du dispositif pour le saumon atlantique durant la période de dévalaison des smolts (migration printanière).

Les débits moyens mensuels des périodes de dévalaison des smolts (mars, avril et mai) sont respectivement 27, 35 et $43 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Durant ces périodes d'observation une quantité importante de truite commune a été recensée.

4.3.3. Caractéristiques des individus contrôlés

Il est probable que l'efficacité du dispositif varie avec les débits entonnés par la prise d'eau. De même il est probable que l'efficacité du dispositif varie avec la taille des individus. Les données traitées ci-après sont donc à considérer avec précaution, celles-ci ne concernant peut-être qu'une partie de la population migrante lors de la période d'observation.

Durant l'année de suivi, la distinction de différentes formes écologiques de truites (truite commune (notée TRF), truite smoltifiée (TRFS), truite de mer (TRM)) a été réalisée en utilisant des critères morphologiques.

Truite commune

Du 16 mars au 14 mai, ce sont 477 TRF qui ont été piégées. La biométrie a été réalisée sur 438 individus. Leur taille totale varie de 102 mm à 500 mm, moyenne et médiane sont proches avec respectivement 176 mm et 168 mm (figure 33). Le coefficient de condition moyen calculé pour 102 individus est de 0.94.

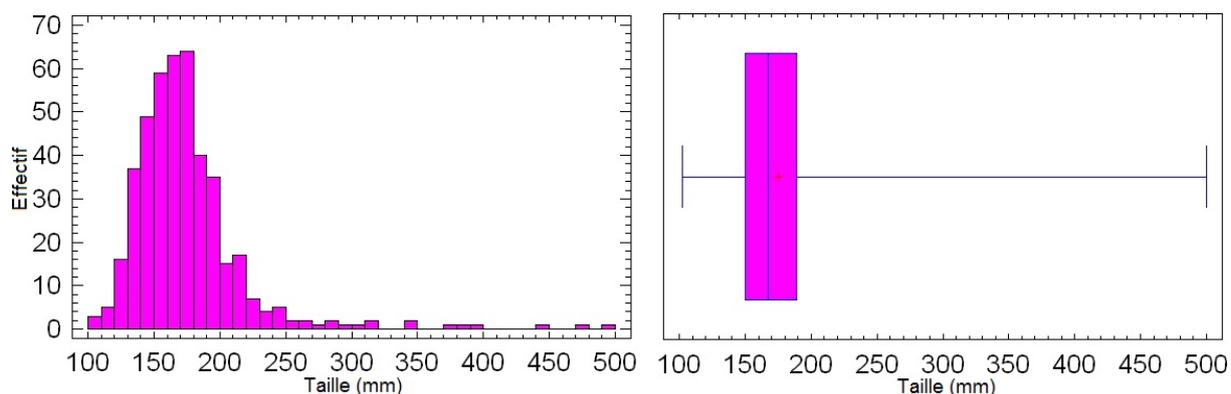


Figure 33. Histogramme de fréquence et boîte à moustache de la longueur totale des TRF piégés à Bedous en 1998

La classe de taille la plus représentée est [17;18] cm avec 64 individus puis [16;17] cm avec 63 individus. Selon le modèle décrit en annexe 3, la majorité des individus contrôlés à Bedous serait des individus de 1 an, dans une moindre mesure des individus de 2 ans et quelques individus plus âgés.

Truite smoltifiée

Du 16 mars au 14 mai, ce sont 39 TRFS qui ont été piégées. La biométrie a été réalisée sur tous les individus. Leur taille totale varie de 162 mm à 331 mm, moyenne et médiane sont proches avec respectivement 229 mm et 226 mm (figure 3422). Le coefficient de condition moyen calculé sur 38 individus est 0.87.

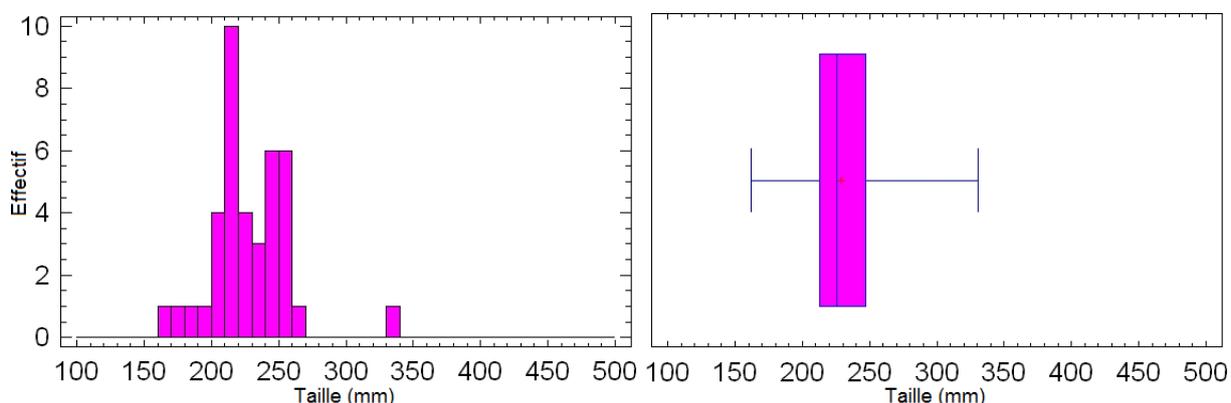


Figure 34. Histogramme de fréquence et boîte à moustache de la longueur totale des TRFS piégés à Bedous en 1998

La classe de taille la plus représentée est [22;24] cm avec 10 individus. Aucune donnée ne permet de connaître la relation taille/âge des TRFS sur le Gave d'Aspe.

La taille des TRFS est significativement supérieure à la taille des TRF (Mann-Whitney, $W=15382$, $p<0.01$).

Truite de mer

Seulement deux individus de TRM ont été recensés, leurs tailles sont de 233 mm et 245 mm pour un coefficient de condition moyen de 0.87.

Passage en fonction des paramètres environnementaux

Le débit du gave d'Aspe a varié de $11.5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ le 14 avril à $26.5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ le 23 avril (figure 35). La température a varié de 6°C le 12 avril à 9°C le 13 mai. L'effectif journalier de truites a varié de 0 à 65 individus la journée du 22 avril (56 TRF et 9 TRFS).

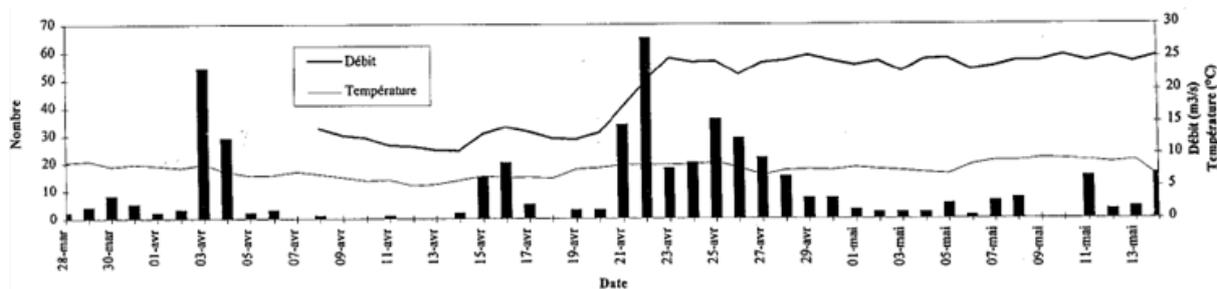


Figure 35. Evolution des captures de truites en fonction des paramètres environnementaux durant le suivi de l'année 1994 à Bedous

Trois pics migratoires peuvent être individualisés : un premier compris entre le 3 et le 4 avril, le second situé entre le 15 et le 16 avril et le troisième qui présente le pic migratoire le plus prononcé et qui s'étend du 21 au 28 avril. Le premier et le deuxième pic de migration interviennent en même temps qu'une augmentation du débit et de la température de l'eau, le troisième pic migratoire, quant à lui, survient lors d'une augmentation de débit, les températures demeurant relativement constantes (Chanseau *et al.* 1998).

87.4% des truites ont dévalé durant la nuit contre 12.6% la journée.

4.4. Bilan des observations par piégeage

La dévalaison est constatée dans différents contextes hydrogéographiques. Dans tous les cas différentes formes de truites ont été recensées : truite commune, truite commune blanchissante (ou smoltifiée) et truite de mer. Les formes truite commune et truite de mer sont facilement différenciables notamment avec le calcul du coefficient de condition (forme plus élancée chez la truite de mer).

La dévalaison concerne toutes les classes d'âge avec une prédominance pour les 1+.

La dévalaison est rencontrée principalement durant la période printanière et dans une moindre mesure en automne (seule la Rouvre a été suivie à cette période). Des mouvements ont toutefois lieu en dehors de ces fenêtres mais on dispose de très peu de données pour pouvoir les caractériser.

L'effet de l'hydrologie sur le déclenchement de la dévalaison semble variable en fonction des populations, les principaux mouvements ont été rencontrés lors de périodes d'augmentation du débit mais des mouvements existent également en dehors de ces épisodes.

La dévalaison semble se dérouler principalement la nuit, avec plus de 80% des individus passant de nuit lorsque ce contrôle a été effectué.

Des truites ont été capturées au niveau de prises d'eau alors que les espacements inter-barreaux ne constituaient pas une barrière physique pour arrêter les poissons et les guider jusqu'à l'exutoire. Il est donc probable qu'un plan de grille puisse jouer un rôle de barrière comportementale. Il a aussi été constaté, sur deux sites de piégeage proches et sur le même cours d'eau (même population) qu'une diminution de l'espacement inter-barreaux (de 4.5 à 3.5 cm) entraînait une diminution de la taille des individus contrôlés.

5. Conclusions et perspectives

La synthèse bibliographique permet d'apporter de premiers éléments de connaissances sur la migration de la truite commune en rivière. Les jeunes stades (0+ et 1+) effectuent des migrations vers l'aval, au printemps ou à l'automne. Les adultes (>1+) quant à eux peuvent migrer vers l'amont sur de longues distances pour se reproduire, avec une dévalaison et un homing post reproducteur très précis parfois. Des déplacements d'adultes de truite pour des besoins d'alimentation où liées à la recherche de refuges thermiques en été peuvent également avoir lieu, aussi bien vers l'amont que vers l'aval.

L'analyse des données long terme a permis de mettre en évidence des taux de survie apparents 0+/1+ particulièrement élevés sur le jeu de données à disposition (plus de 600 taux de survie

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

calculés). L'ensemble des massifs, cours d'eau et années sont concernés. Ces taux globalement élevés sur ce jeu de données pourraient s'expliquer par des zones sources mal échantillonnées par les inventaires stationnelles classiques. Ces zones de production de 0+ pourraient en effet être très localisées tout ensemencant un large linéaire.

Il est difficile de relier ces taux de survie apparents aux caractéristiques testées, aussi bien celles liées à la station que celles liées à l'année. Contrairement à certains résultats (Lobon-Cervia and Rincon 2004; Lobon-Cervia 2007; Lobon-Cervia 2009), il n'existe pas de relation entre le taux de survie apparent et l'habitat dans notre jeu de données. Nous n'avons pas non plus mis en évidence de migrations plus fortes sur les stations amont, comme observé sur d'autres sites (Schager et al. 2007). Les résultats de la thèse de V. Bret (fin en 2016) qui travaille sur la modélisation de la dynamique de population de truite sur ce jeu de données, permettront de mieux appréhender la part des différents mécanismes sur la structuration des populations (migration, survie...).

Enfin, l'analyse des données de piégeage a permis de mettre en évidence que tous les stades de truites sont concernés par la dévalaison, même si le stade 1+ domine. La dévalaison a lieu principalement au printemps et dans une moindre mesure à l'automne. Ce phénomène se déroule principalement la nuit et semble lié à des variations de débit, sur les trois sites étudiés. La relation au débit semble à moduler selon le contexte car ce n'est pas ce qui avait été observé sur les relations entre l'Oir et la Roche (dévalaison liée à la saison, les forts débits auraient plutôt pour effet de stopper les migrations, voir Gouraud 1999). La variabilité interannuelle du phénomène est notable. Un effet de barrière comportementale est pressenti au niveau des plans de grille des prises d'eau mais il doit être confirmé par d'autres investigations.

Des expérimentations spécifiques devront maintenant être mises en œuvre pour affiner les connaissances sur les périodes de migration pour chaque stade de développement et sur les facteurs environnementaux impliqués. Il existe également très peu de connaissances sur la part des phénomènes de migration dans la dynamique de population en fonction des contextes. Des modèles de viabilité des populations seraient à développer pour tester le rôle des flux de migration sur la taille de la population.

6. Références

- Acolas, M. L., J. Labonne, J. L. Baglinière and J. M. Roussel (2012). "The role of body size versus growth on the decision to migrate: a case study with *Salmo trutta*." *Naturwissenschaften* **99**(1): 11-21.
- Allan, J. D. (1978). "Trout predation and the size composition of stream drift." *Limnology and Oceanography* **23**(6): 1231-1237.
- Allen, K. R. (1951). "The Horokivi stream : a study of a trout population." *New Zealand Marine Department Fisheries Bulletin* **10**: 1-238.
- Alonso-González, C., J. Gortázar, D. Baeza Sanz and D. García de Jalón (2008). "Dam function rules based on brown trout flow requirements: design of environmental flow regimes in regulated streams." *Hydrobiologia* **609**(1): 253-262.
- Alonso, C., D. García de Jalón, J. Álvarez and J. Gortázar (2011). "A large-scale approach can help detect general processes driving the dynamics of brown trout populations in extensive areas." *Ecology of Freshwater Fish* **20**(3): 449-460.
- Arnekleiv, J. V. and L. Rønning (2004). "Migratory patterns and return to the catch site of adult brown trout (*Salmo trutta* L.) in a regulated river." *River Research and Applications* **20**(8): 929-942.
- Baglinière, J. L. and G. Maisse (1991). *La truite - Biologie et écologie*, INRA Editions.
- Baglinière, J. L. and G. Maisse (2002). "La biologie de la truite commune (*Salmo trutta* L.) dans la rivière Scorff, Bretagne : une synthèse des études de 1972 à 1997." *INRA Prod. Anim.* **15**: 319-331.
- Baglinière, J. L., G. Maisse, P. Y. Lebail and A. Nihouarn (1989). "Population dynamics of brown trout, *Salmo trutta* L., in a tributary in Brittany (France) : spawning and juveniles." *Journal of fish biology* **34**(1): 97-110
- Bagliniere, J. L., G. Maisse, P. Y. Lebail and E. Prévost (1987). "Dynamique de la population de truite commune (*Salmo trutta* L.) d'un ruisseau breton (france): les géniteurs migrants." *Acta*

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

- oecologica/oecologica applicata **8**(3): 201-215.
- Bembo, D. G., R. J. H. Beverton, A. J. Weightman and R. C. Cresswell (1993). "Distribution, growth and movement of river usk brown trout (*Salmo trutta*)."
journal of fish biology **43**: 45-52.
- Bovee, K. D. (1978). Probability of Use Criteria for The Family Salmonidae. Washington D.C., Fish and Wildlife Service: 53 p.
- Bridcut, E. E. and P. S. Giller (1993). "Movement and site fidelity in young brown trout *Salmo trutta* populations in a southern Irish stream." Journal of fish biology **43**(6): 889-899.
- Bruslé, J. and J. P. Quignard (2001). Biologie des poissons d'eau douce européens. Paris, Lavoisier.
- Burgess, S. A. (1985). Some effects of stream habitat improvement on the aquatic and riparian community of a small mountain stream. The restoration of rivers and streams. G. (Eds). Boston, Butterworth Publishers: 223-246.
- Burgess, S. A. and J. R. Bider (1980). "Effects of Stream Habitat Improvements on Invertebrates, Trout Populations, and Mink Activity." The Journal of Wildlife Management **44**(4): 871.
- Burkhardt-Holm, P. and K. Scheurer (2007). "Application of the weight-of-evidence approach to assess the decline of brown trout (*Salmo trutta*) in Swiss rivers." Aquatic Sciences **69** 51-70.
- Burrell, K. H., J. J. Isely, D. B. Bunnell, D. H. Van Lear and C. A. Dolloff (2000). "Seasonal Movement of Brown Trout in a Southern Appalachian River." Transactions of the American Fisheries Society **129**(6): 1373-1379.
- Carle, R. T. and M. R. Strub (1978). "A new method for estimating population size from removal data." Biometrics **34**(4): 621-630.
- Cattanéo, F., N. Lamouroux, P. Breil and H. Capra (2002). "The influence of hydrological and biotic processes on brown trout (*Salmo trutta*) population dynamics." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **59**: 12-22.
- Caudron, A. and A. Champigneulle (2002). "Évolution spatio-temporelle de la contribution du repeuplement en truite (*Salmo trutta* L.) réalisé à des stades précoces dans le bassin amont du Fier (74)." Bulletin français de la pêche et de la pisciculture **365/366**: 455-469.
- Chanseau, M., P. Laborie, E. Galiay, D. Barracou, M. Larinier and F. Travade (1998). Expérimentation d'un dispositif de dévalaison pour les smolts de saumon Atlantique. Prise d'eau de Bedous (Gave d'Aspe - 64), GHAAPPE RA98.06.
- Clapp, D. F., R. D. Clark and J. S. Diana (1990). "Range, Activity, and Habitat of Large, Free-Ranging Brown Trout in a Michigan Stream." Transactions of the American Fisheries Society **119**(6): 1022-1034.
- Crisp, D. T. and M. A. Hurley (1991). "Stream channel experiments on downstream movement of recently emerged trout, *Salmo trutta* L., and salmon, *S. salar* L.—11. Effects of constant and changing velocities and of day and night upon dispersal rate." Journal of Fish Biology **39**(3): 363-370.
- Cucherousset, J., D. Ombredane and J. Bagliniere (2006). "Linking juvenile growth and migration behaviour of brown trout (*Salmo trutta*) using individual PIT-tagging." Cahiers de biologie marine **47**(1): 73.
- Cucherousset, J., D. Ombredane, K. Charles, F. Marchand and J.-L. Baglinière (2005). "A continuum of life history tactics in a brown trout (*Salmo trutta*) population." Can. J. Fish. Aquat. Sci. **62**: 1600-1610.
- Cuinat, R. (1971). "Principaux caractères démographiques observés sur 50 rivières à truites françaises. Influence de la pente et du calcium." Annales hydrobiologie **2**(2): 187-207.
- Cuinat, R. and M. Héland (1979). "Observation sur la dévalaison d'alevins de truite commune (*Salmo trutta* F.) dans le Lissugara." Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture **274**: 1-17.
- Daufresne, M. and O. Renault (2006). "Population fluctuations, regulation and limitation in stream-living brown trout." Oikos **113**(3): 459-468.
- Delacoste, M. (2008). Etude du rôle des alevinages vis-à-vis de la population de truites de la Neste d'Aure, Rapport FPD65: 30.
- Dieterman, D. J. and R. J. H. Hoxmeier (2011). "Demography of Juvenile and Adult Brown Trout in Streams of Southeastern Minnesota." Transactions of the American Fisheries Society **140**(6): 1642-1656.
- Egglisshaw, H. J. and P. E. Shackley (1977). "Growth, survival and production of juvenile salmon and trout in a scottish stream, 1966-75." Journal of fish biology **11**: 647-672.
- Einum, S. and I. A. Fleming (1999). "Maternal effects of egg size in brown trout (*Salmo trutta*): norms of reaction to environmental quality." Proceedings - Royal Society of London. Biological Sciences **266**(1433): 2095-2100

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

- Eklöv, A. G., H. M. Greenberg, C. Brönmark, P. Larsson and O. Berglund (1999). "Influence of water quality, habitat and species richness on brown trout populations." Journal of Fish Biology **54**: 33-43.
- Elliott, J. M. (1990). "Mechanisms responsible for population regulation in young migratory trout, *Salmo trutta*. III. The role of territorial behaviour." The Journal of Animal Ecology **59**: 803-818.
- Elliott, J. M. (1994). Quantitative ecology and the brown trout. Oxford GBR, Oxford University Press.
- Forseth, T., T. F. Nesje, B. Jonsson and K. Hårsaker (1999). "Juvenile migration in brown trout: a consequence of energetic state." Journal of Animal Ecology **68**(4): 783-793.
- Gerdeaux, D. (1987). "Revue des méthodes d'estimation de l'effectif d'une population par pêche successives avec retrait programmé d'estimation d'effectif par la méthode de Carle et Strub." Bulletin français de la pêche et de la pisciculture **304**: 13-21.
- Gerking, S. D. (1959). "The restricted movement of fish populations." Biological Reviews **34**(2): 221-242.
- Gosset, C., J. Rives and J. Labonne (2006). "Effect of habitat fragmentation on spawning migration of brown trout (*Salmo trutta* L.)." Ecology of Freshwater Fish **15**(3): 247-254.
- Gouraud, V. (1999). Etude de la dynamique de populations de truites communes (*Salmo trutta* L.) à l'aide d'un modèle déterministe, ENGREF.
- Gouraud, V., J. L. Baglinière, C. Sabaton and D. Ombredane (1998). "Application d'un modèle de dynamique de population de truite commune (*Salmo trutta*) sur un bassin de Basse-Normandie: premières simulations." Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture(350-351): 675-691.
- Gouraud, V., P. Baran, A. Bardonnnet, C. Beaufrère, H. Capra, A. Caudron, M. Delacoste, J. M. Lescaux, M. Naura, M. Oviado, N. Poulet, L. Tissot, C. Sebaston and J.-L. Baglinière (2014). "Sur quelles connaissances se baser pour évaluer l'état de santé des populations de truite commune (*Salmo trutta*)?" Hydroécologie Appliquée: 1-28.
- Gouraud, V., P. Baran, P. Lim and C. Sabaton (1999). Dynamics of a Population of Brown Trout (*Salmo trutta*) and Fluctuations in Physical Habitat Conditions ; Experiments on a Stream in the Pyrenees ; First Results, EDF-R&D.
- Gouraud, V., H. Capra, C. Sabaton, L. Tissot, P. Lim, F. Vandewalle, G. Fahrner and Y. Souchon (2008). "Long-term simulations of the dynamics of trout populations on river reaches bypassed by hydroelectric installations - Analysis of the impact of different hydrological scenarios." River Research and Applications **24**(9): 1185-1205.
- Gowan, C., M. K. Young, K. D. Fausch and S. C. Riley (1994). "Restricted Movement in Resident Stream Salmonids: A Paradigm Lost?" Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **51**(11): 2626-2637.
- Haury, J., D. Ombredane and J. Bagliniere (1991). L'habitat de la truite commune (*Salmo trutta* L.) en cours d'eau. La truite - Biologie et écologie, INRA Editions: 47-96.
- Hayes, J. W., D. A. Olsen and J. Hay (2010). "The influence of natural variation in discharge on juvenile brown trout population dynamics in a nursery tributary of the Motueka River, New Zealand." New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research **44**(4): 247-269.
- Hefti, D. (2012). Migration du poisson vers l'amont et vers l'aval à la hauteur des ouvrages hydroélectriques. Check-list Best practice. Berne, Office fédéral de l'environnement: 79.
- Heggenes, J. (2002). "Flexible Summer Habitat Selection by Wild, Allopatric Brown Trout in Lotic Environments." Transactions of the American Fisheries Society **131**(2): 287-298.
- Heggenes, J., J. L. Baglinière and R. A. Cunjak (1999). "Spatial niche variability for young atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) in heterogeneous streams." Ecology of Freshwater Fish **8**: 1-21.
- Heggenes, J. and T. Traaen (1988). "Downstream migration and critical water velocities in stream channels for fry of four salmonid species." Journal of Fish Biology **32**(5): 717-727.
- Heland, M. (1980). "La dévalaison des alevins de truite commune *Salmo trutta* L." Annls Limnol. **16**: 233-245.
- Hesthagen, T. (1988). "Movements of brown trout, *Salmo trutta*, and juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*, in a coastal stream in northern Norway." Journal of fish biology(32): 639-653.
- Jenkins Jr, T. M. (1969). "Social Structure, Position Choice and Micro-distribution of Two Trout Species (*Salmo trutta* and *Salmo gairdneri*) Resident in Mountain Streams." Animal Behaviour Monographs **2, Part 2**(0): 55-123.
- Keith, P., H. Persat, E. Feunteun and J. Allardi (2011). Les Poissons d'eau douce de France.
- Kelly-Quinn, M. and J. J. Bracken (1988). "Brown trout, *Salmo trutta* L., production in an Irish coastal

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

- stream." Aquaculture Research **19**(1): 69-95.
- Klemetsen, A., P. A. Amundsen, J. B. Dempson, B. Jonsson, N. Jonsson, M. F. O'Connell and E. Mortensen (2003). "Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories." Ecology of Freshwater Fish **12**(1): 1-59.
- Kottelat, M. and J. Freyhof (2007). Handbook of European freshwater fishes, Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof, Berlin, Germany.
- Kyle, H. B., J. J. Isely, D. B. Bunnell Jr., D. H. Van Lear and C. A. Dolloff (2000). "Seasonal Movement of Brown Trout in a Southern Appalachian River." Transactions of the American Fisheries Society **129**(6): 1373-1379.
- Lagarrigue, T. (2000). Croissance de la truite commune (*Salmo trutta* L.) dans les pyrenées françaises, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse.
- Lagarrigue, T., P. Baran, J. M. Lascaux and A. Belaud (2001). "Analyse de la variabilité de la croissance d'une population de truite commune (*Salmo trutta* L.) dans un torrent pyrénéen " Bulletin français de pêche et pisciculture **357-360**: 573-571.
- Lagarrigue, T., R. Céréghino, P. Lim, P. Reyes-Marchant, R. Chappaz, P. Lavandier and A. Belaud (2002). "Diel and seasonal variations in brown trout (*Salmo trutta*) feeding patterns and relationship with invertebrate drift under natural and hydropeaking conditions in a mountain stream." Aquat. Living Resour. **15**: 129-137.
- Larinier, M. and F. Travade (1999). "La dévalaison des migrateurs : problèmes et dispositifs." Bulletin français de la pêche et de la pisciculture **353/354**: 181-210.
- Larinier, M., F. Travade, D. Ingendahl, J. M. Bach and D. Pujo (1993). Expérimentation d'un dispositif de dévalaison pour les juvéniles de saumon Atlantique (année 1992). Usine hydroélectrique de Soeix (Gave d'Aspe – 64). , GHAAPPE RA93.02.
- Larinier, M., F. Travade, D. Ingendahl, J. M. Bach, D. Pujo, D. Barracou and F. Nouel (1994). Expérimentation d'un dispositif de dévalaison pour les juvéniles de saumon Atlantique (année 1993). Usine hydroélectrique de Soeix (Gave d'Aspe – 64). GHAAPPE RA94.02.
- Latterell, J. J., K. D. Fausch, C. Gowan and S. C. Riley (1998). "Relationship of trout recruitment to snowmelt runoff flows and adult trout abundance in six Colorado mountain streams." Rivers **6**: 240-250.
- Lobon-Cervia, J. (2007). "Numerical changes in stream-resident brown trout (*Salmo trutta*): uncovering the roles of density-dependent and density-independent factors across space and time." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **64**(10): 1429-1447.
- Lobon-Cervia, J. (2009). "Recruitment as a driver of production dynamics in stream-resident brown trout (*Salmo trutta*)." Freshwater Biology: 1-13.
- Lobon-Cervia, J. and P. A. Rincon (2004). "Environmental determinants of recruitment and their influence on the population dynamics of stream-living brown trout *Salmo trutta*." Oikos **105**(3): 641-646.
- Lucas, M. C., E. Baras, T. J. Thom, A. Duncan and O. Slavik (2001). Migration of Freshwater Fishes.
- Maise, G. and J. Bagliniere (1991). Biologie de la truite commune (*Salmo trutta* L.) dans les rivières françaises. La truite - Biologie et écologie, INRA Editions: 25-45.
- Maise, G. and J. L. Baglinière (1990). "The biology of brown trout, *Salmo trutta* L., in the River Scorf, Brittany: a synthesis of studies from 1973 to 1984." Aquaculture and Fisheries Management(21): 95-106.
- Meyers, L. S., T. F. Thuemler and G. W. Kornely (1992). "Seasonal Movements of Brown Trout in Northeast Wisconsin." North American Journal of Fisheries Management **12**(3): 433-441.
- Milner, N. J., J. M. Elliott, J. D. Armstrong, R. Gardiner, J. S. Welton and M. Ladle (2003). "The natural control of salmon and trout populations in streams." Fisheries Research **62**(2): 111-125.
- Mortensen, E. (1977). "The population dynamics of young trout (*Salmo trutta* L.) in a Danish brook." Journal of fish biology **10**: 23-33.
- Nehring, R. and R. Anderson (1993). "Determination of population-limiting critical salmonid habitats in Colorado streams using the physical habitat simulation system " Rivers **4**(1): 1-19.
- Nicola, G. G., A. N. A. Almodovar, B. Jonsson and B. Elvira (2008). "Recruitment variability of resident brown trout in peripheral populations from southern Europe." Freshwater Biology **53**(12): 2364-2374.
- Olsson, I. C., L. A. Greenberg, E. Bergman and K. Wysujack (2006). "Environmentally induced migration: the importance of food." Ecology Letters **9**(6): 645-651.
- Ombredane, D., L. Siegler, J. L. Bagliniere and P. Prunet (1996). "Migration et smoltification des

EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

- juvéniles de truite (*Salmo trutta*) dans deux cours d'eau de Basse-Normandie." Cybiuim **20**(3): 27-42.
- Ottaway, E. M. and A. Clarke (1981). "A preliminary investigation into the vulnerability of young trout (*Salmo trutta* L.) and atlantic salmon (*S. salar* L.) to downstream displacement by high water velocities." journal of fish biology **19**: 135-145.
- Ovidio, M. (1999). "Cycle annuel d'activité de la truite commune (*Salmo trutta* L.) adulte: étude par radio-pistage dans un cours d'eau de l'Ardenne belge." Bulletin français de la pêche et de la pisciculture **72**(352): 1-18.
- Ovidio, M., E. Baras, D. Goffaux, C. Birtles and J. C. Philippart (1998). "Environmental unpredictability rules the autumn migration of brown trout (*Salmo trutta* L.) in the Belgian Ardennes." Hydrobiologia **371-372**(0): 263-274.
- Ovidio, M., C. Birtles, E. Baras and J. C. Philippart (1996). A preliminary telemetry investigation on the obstacles to anadromous salmonids migration in spawning streams of the belgian Ardennes (river meuse bassin). the second IAHR symposium on habitat hydraulics, ecohydraulics 2000, INRS-eau,.
- Poulet, N., L. Beaulaton and S. Dembski (2011). "Time trends in fish populations in metropolitan France: insights from national monitoring data." Journal of fish biology: 1-17.
- Richard, A. (2014). Régulation densité-dépendante des juvéniles de truites *Salmo trutta* sous l'effet du rempoissonnement : implications pour la gestion. Doctorat, Université de Grenoble.
- Richard, A., F. Cattaneo and J. F. Rubin (2013). "Biotic and abiotic regulation of a low-density stream-dwelling brown trout (*Salmo trutta* L.) population: effects on juvenile survival and growth." Ecology of Freshwater Fish: n/a-n/a.
- Riley, S. C. and K. D. Fauch (1995). "Trout population response to habitat enhancement in six northern Colorado streams." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **52**: 34-53.
- Rincón, P. A. and J. Lobón-Cerviá (1999). "Prey-size selection by brown trout (*Salmo trutta* L.) in a stream in northern Spain." Canadian Journal of Zoology **77**(5): 755-765.
- Roussel, J.-M. and A. Bardonnnet (1999). "Ontogeny of Diel Pattern of Stream-Margin Habitat Use by Emerging Brown Trout, *Salmo Trutta*, in Experimental Channels: Influence of Food and Predator Presence." Environmental Biology of Fishes **56**(1-2): 253-262.
- Roussel, J. M. and A. Bardonnnet (2002). "Habitat de la truite commune (*Salmo trutta* L.) pendant la période juvénile en ruisseau : préférences, mouvements, variations journalières et saisonnières." Bull. Fr. Pêche Piscic. **365/366**: 435-454.
- Rustadbakken, A., J. H. L'Abée-Lund, J. V. Arnekleiv and M. Kraabøl (2004). "Reproductive migration of brown trout in a small Norwegian river studied by telemetry." Journal of Fish Biology **64**(1): 2-15.
- Sabaton, C., Y. Souchon, H. Capra, V. Gouraud, J. M. Lascaux and L. Tissot (2008). "Long-term brown trout populations responses to flow manipulation." River Research and Applications **24**(5): 476-505.
- Saraniemi, M., A. Huusko and H. Tahkola (2008). "Spawning migration and habitat use of adfluvial brown trout, *Salmo trutta*, in a strongly seasonal boreal river." Boreal environment research **13**: 121-132.
- Schager, E., A. Peter and P. Burkhardt-Holm (2007). "Status of young-of-the-year brown trout (*Salmo trutta fario*) in Swiss streams: factors influencing YOY trout recruitment." Aquatic Sciences - Research across Boundaries **69**: 41-50.
- Shirvell, C. S. and R. G. Dungey (1983). "Microhabitats chosen by brown trout for feeding and spawning in rivers." Transactions of the American Fisheries Society **112**: 355-367.
- Tanguy (1993). La smoltification de la truite de mer (*Salmo trutta*) : caractérisation écophysiological des juvéniles en milieu contrôlé et en milieu naturel, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes.
- Travade, F., M. Larinier, D. Ingendahl, J. M. Bach, D. Pujo and D. Barracou (1996). Expérimentation d'un dispositif de dévalaison pour les juvéniles de saumon Atlantique (année 1994). Usine hydroélectrique de Soeix (Gave d'Aspe – 64). GHAAPPE RA94.02.
- Vollestad, L. A., B. Serbezov, A. Bass, L. Bernatchez, E. M. Olsen and A. Taugbøl (2012). "Small-scale dispersal and population structure in stream-living brown trout (*Salmo trutta*) inferred by mark-recapture, pedigree reconstruction, and population genetics." Canadian bulletin of fisheries and Aquatic Sciences **69**(9): 1513-1524.
- Wysujack, K., L. A. Greenberg, E. Bergman and I. C. Olsson (2009). "The role of the environment in partial migration: food availability affects the adoption of a migratory tactic in brown trout

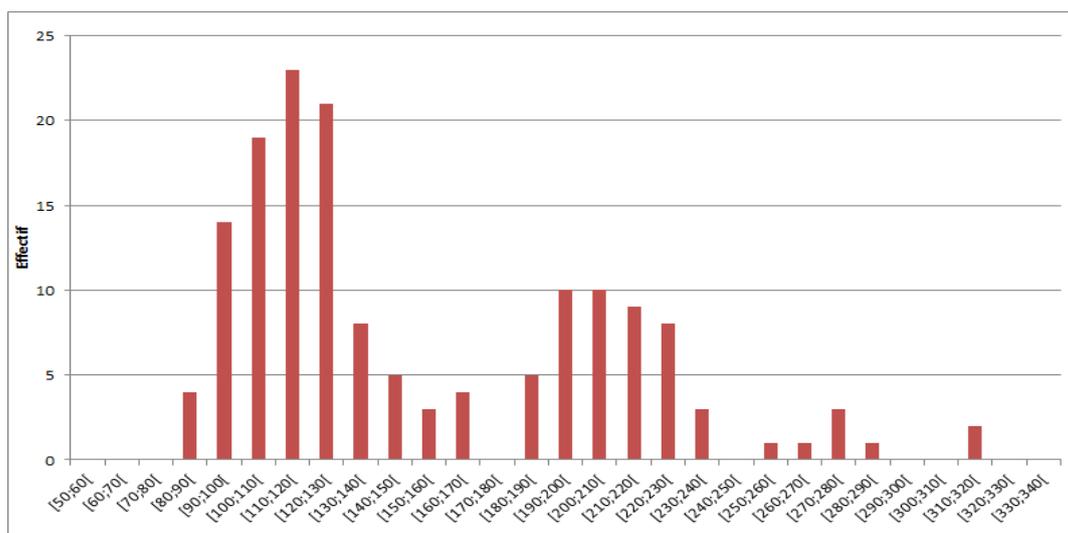
EDF R&D	Etat des connaissances sur la migration de la truite en rivière	H-P76-2014-06075-FR Version 1.0
--------------------	---	--

Salmo trutta." Ecology of Freshwater Fish **18**(1): 52-59.
Young, M. K. (1994). "Mobility of brown trout in south -central Wyoming streams." **72**: 2078-2083.

Annexe 1 : Estimation de la taille des truites communes de la Rouvre en fonction de leur âge

Cette estimation se base sur 9 pêches électriques de l'ONEMA réalisées sur la Rouvre à proximité de Ségrie-Fontaine de 1990 à 1993 au mois d'octobre.

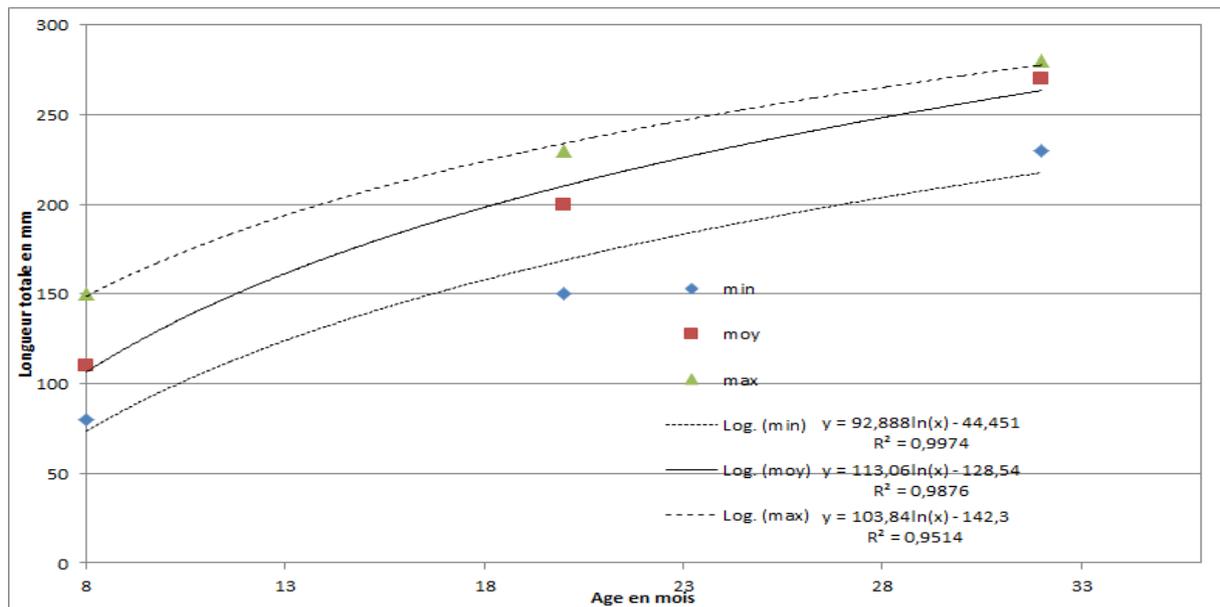
La compilation de la répartition en classe de taille des individus contrôlés est donnée par la figure suivante :



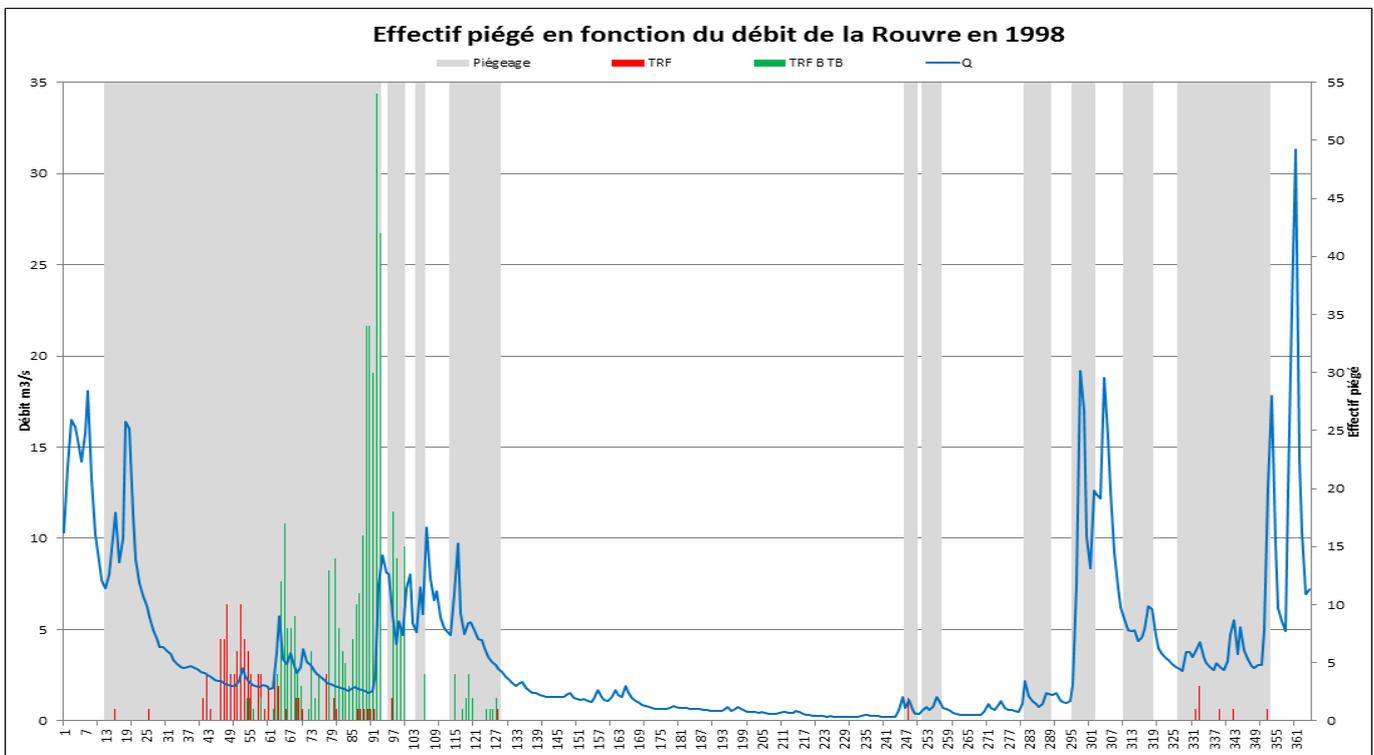
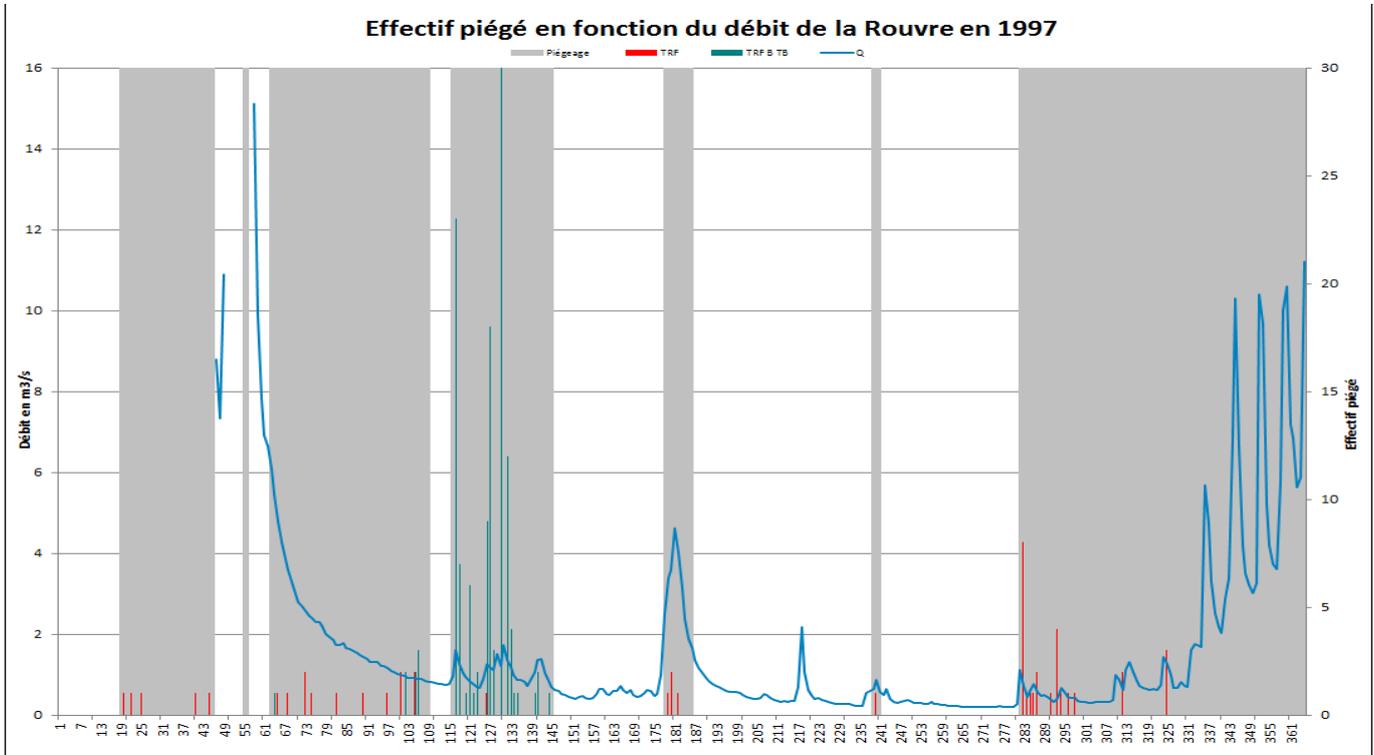
On pose comme hypothèse que le mois de naissance des truites est le mois de mars. Le huitième mois de vie des truites est donc le mois d'octobre. On délimite graphiquement les bornes minimales et maximales des classes des différentes cohortes. Ces bornes sont données par le tableau suivant :

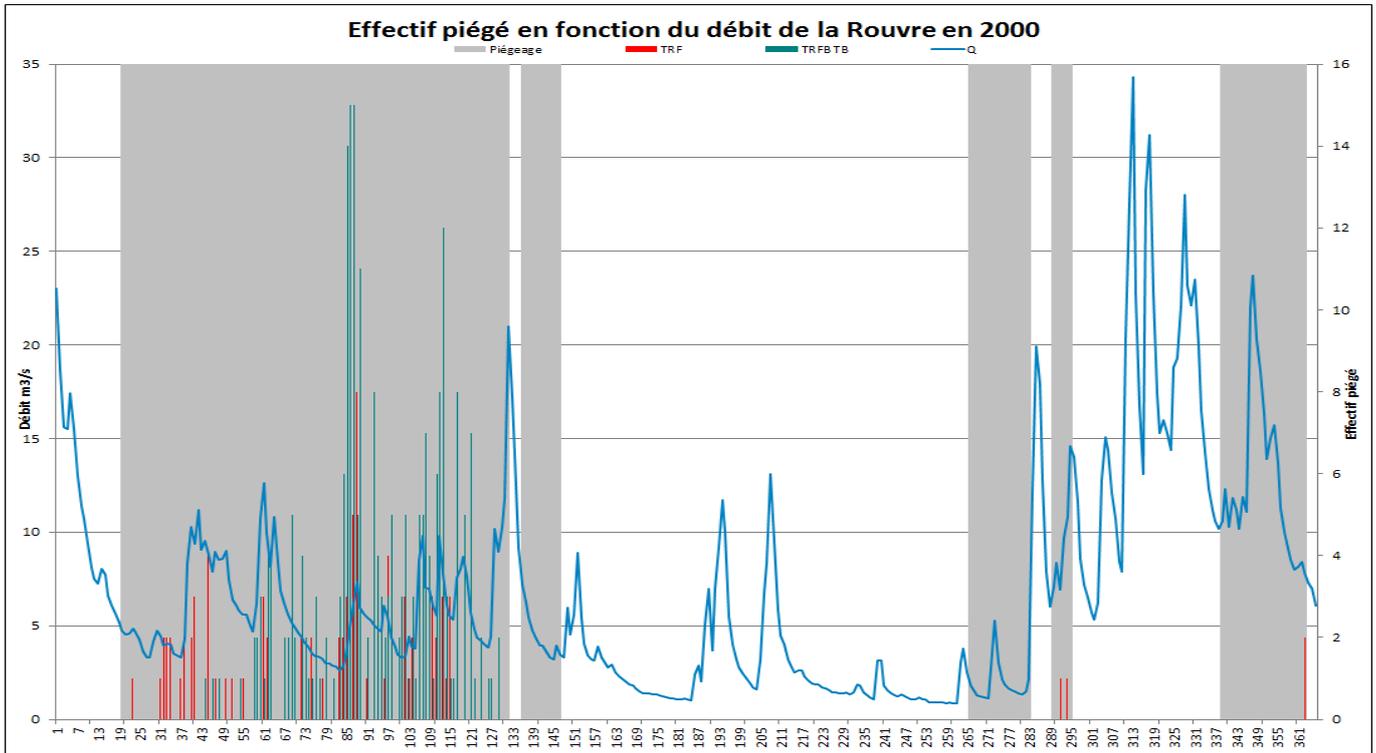
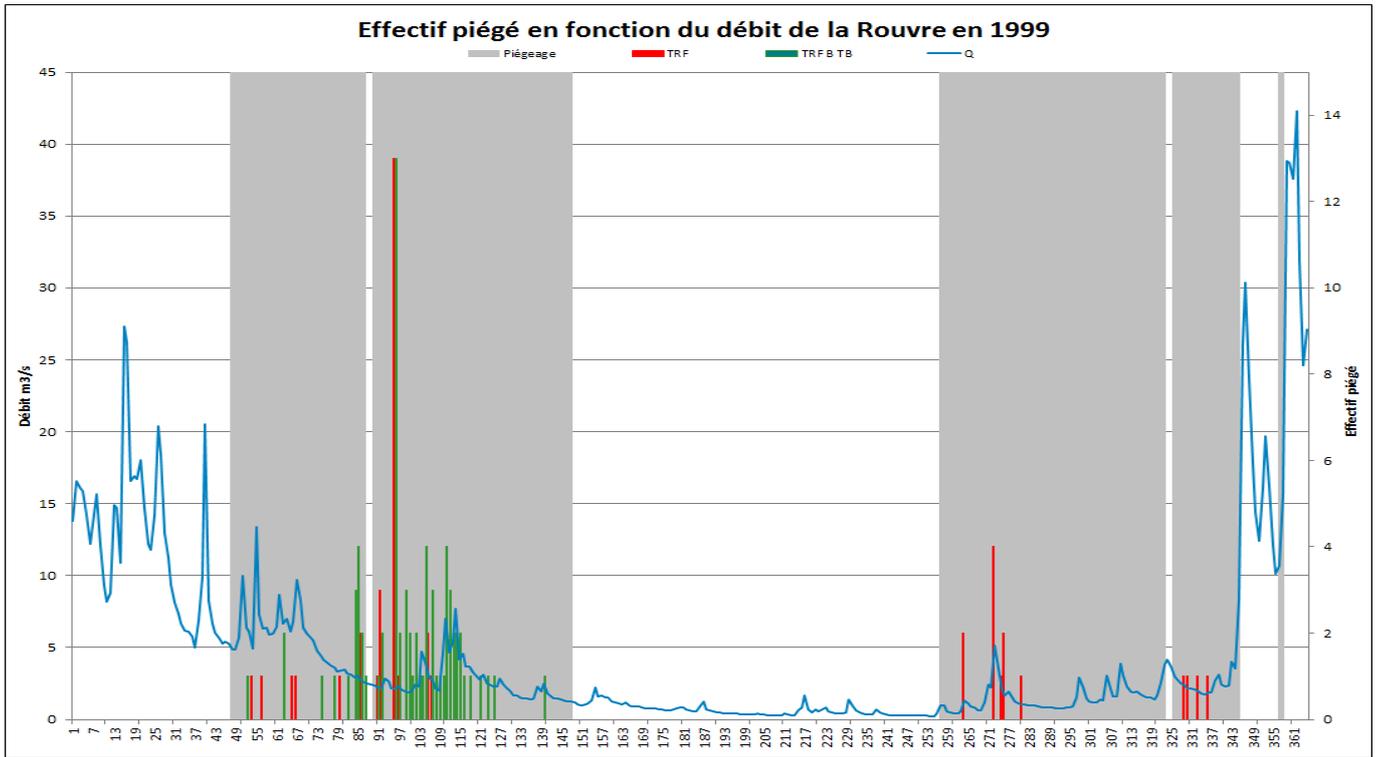
Age en mois	Age en année	Taille en mm		
		min	moy	max
8	0+	80	110	150
20	1+	150	200	230
32	2+	230	270	280

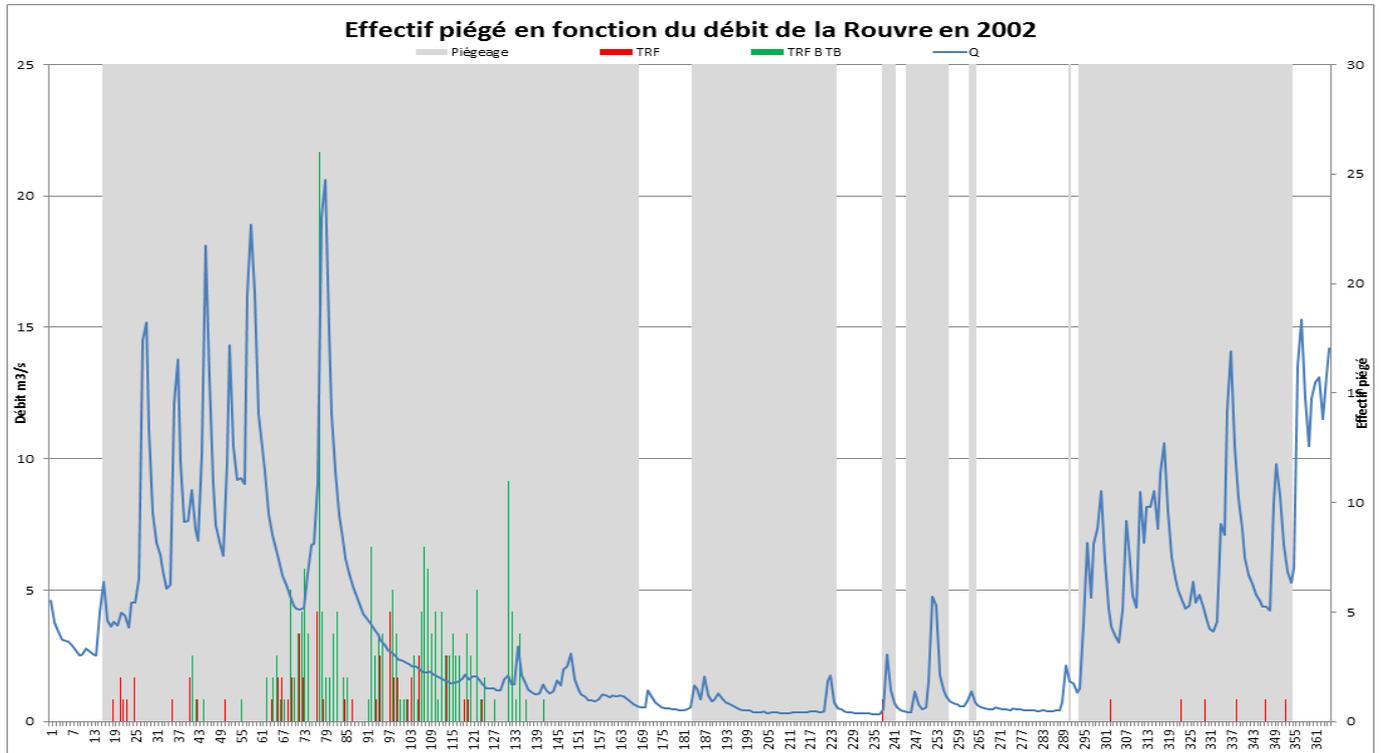
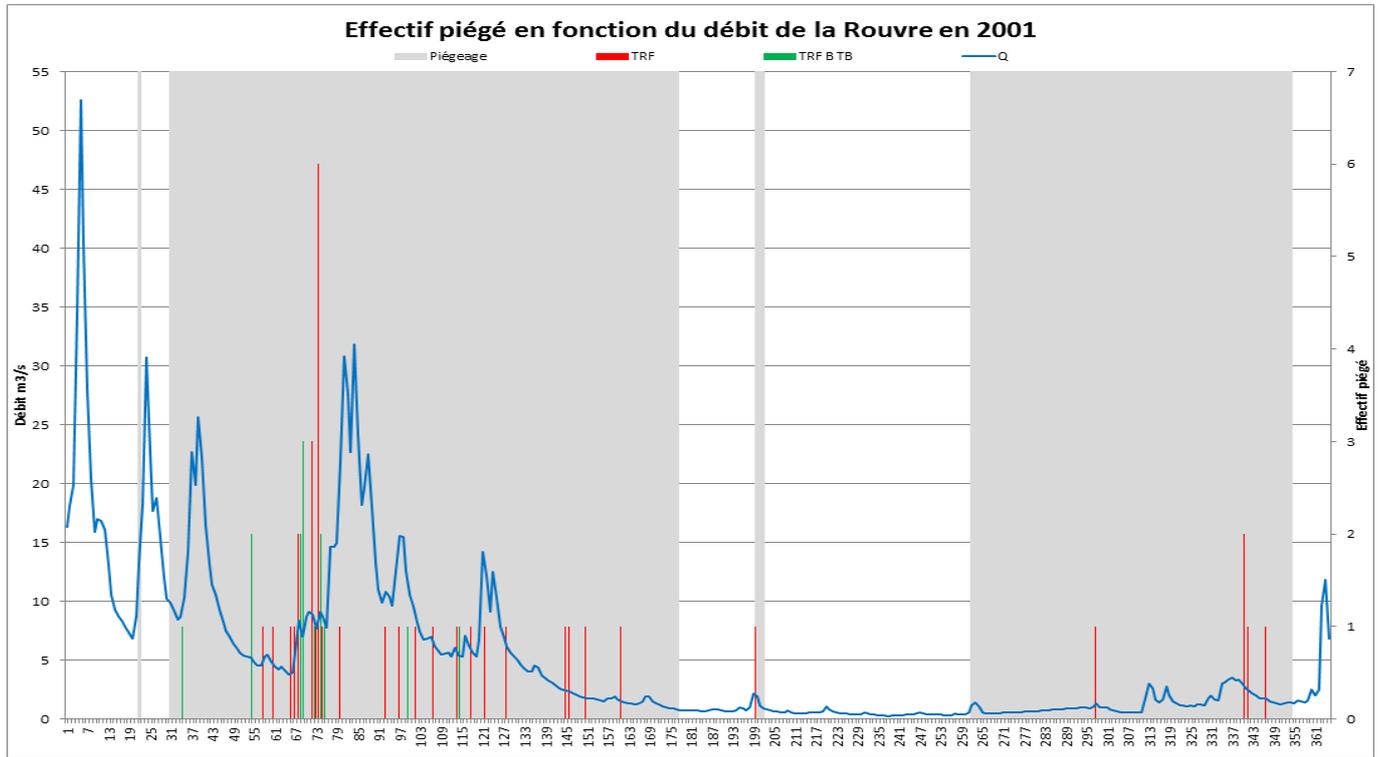
Les courbes de croissance minimale, maximale et moyenne sont ensuite déterminées en utilisant la fonction courbe de tendance logarithmique sous Excel. Les équations des différentes courbes sont utilisées pour estimer la taille des truites à un âge donné :



Annexe 2 : Passage des truites communes et des truites communes blanchissantes en fonction du débit de la Rouvre à Ségrie-Fontaine de 1997 à 2003



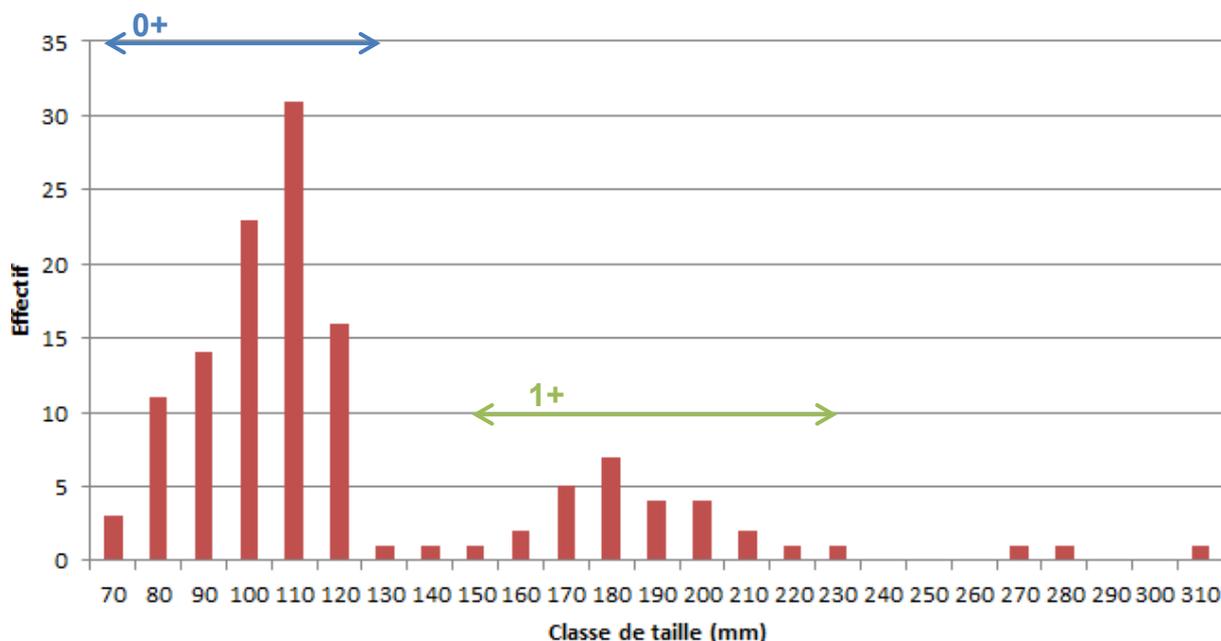




Annexe 3 : Méthode d'estimation de l'âge des individus de truite commune du Gave d'Aspe à proximité de Soeix à partir des pêches électriques de l'ONEMA et de l'estimation de la taille à 3 ans donnée par Lagarrigue (2000)

Les résultats des pêches électriques effectuées sur le Gave d'Aspe à Gurmençon durant les années 2004, 2005 et 2006 servent à déterminer la taille moyenne des individus 0+ et 1+ en automne :

Bilan des pêches ONEMA de 2004 à 2006 sur le Gave d'Aspe à Gurmençon pour la TRF



D'après l'histogramme des classes de taille on estime la taille moyenne des individus 0+ à 110 mm (70 mm < Lt0+ < 130 mm) et 1+ à 180 mm (150 mm < Lt1+ < 230 mm).

Le modèle donnée par LAGARRIGUE (2000) sert à estimer la taille des individus de trois ans en fonction de l'altitude :

$$Lt_3 = - 59.38 \times \ln (ALT) + 588.74$$

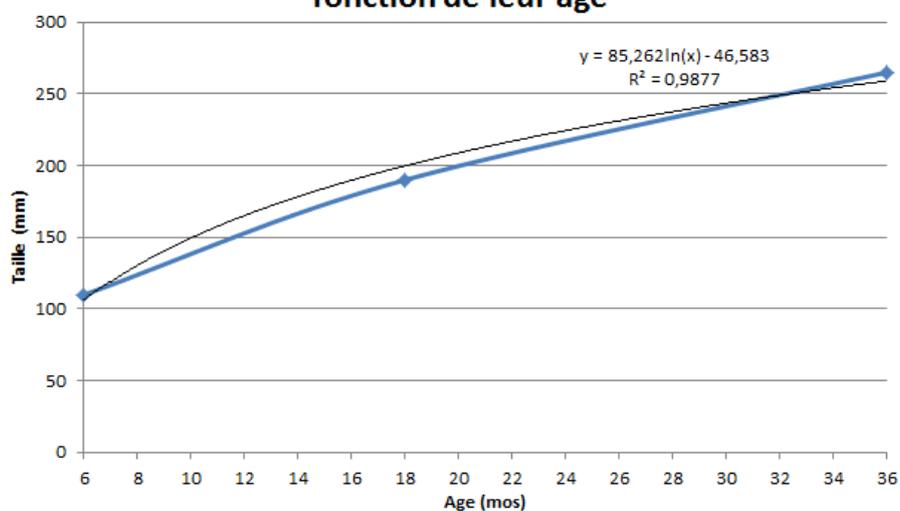
Avec : ALT : altitude du site en m,

T3 : Taille moyenne à trois ans des individus en mm,

Soit pour notre site d'étude (altitude 230 m) une taille moyenne des truites communes à 3 ans estimée à 265 mm.

Avec ces estimations on peut créer la courbe de croissance des individus du Gave d'Aspe à Gurmençon en fonction de leur âge :

Evolution de la taille moyenne des individus en fonction de leur âge



On obtient la relation :

$$Lt = 85.262 \times \ln (AGE) - 46.583$$

Avec : Lt, taille moyenne des individus en mm,

AGE, âge des individus en mois.

Ainsi les individus de un an auront une taille moyenne de 16.5 cm et les individus de 2 ans une taille moyenne de 22.4 cm.