



SERVICE PUBLIC DE WALLONIE  
DIRECTION GENERALE OPERATIONNELLE AGRICULTURE,  
RESSOURCES NATURELLES ET ENVIRONNEMENT  
DEPARTEMENT DE LA NATURE ET DES FORETS

**CONVENTION RELATIVE A LA REHABILITATION DU  
SAUMON ATLANTIQUE DANS LE BASSIN DE LA MEUSE**

**Rapport de convention février 2014 - janvier 2015**

REALISATION PAR LES EQUIPES UNIVERSITAIRES

**UNIVERSITÉ DE LIEGE**

**M. OVIDIO (coordination)**

**A. DIERCKX, J.P. BENITEZ, B.N. MATONDO, J.C. PHILIPPART**

Unité de Biologie du Comportement  
Centre de recherche en Ichtyologie Fondamentale et Appliquée (AFFISH-RC)  
Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie (LDPH)  
22 quai E. Van Beneden, 4020 Liège

**UNIVERSITÉ DE NAMUR**

**B. BERNARD, R. MANDIKI, A. EVRARD. P. KESTEMONT**

Unité de Recherche en Biologie Environnementale et Evolutive (URBE)  
Rue de Bruxelles, 61 – 5000 Namur



## TABLE DES MATIERES

	<b>Page</b>
<u>INTRODUCTION</u>	3
<u>PARTIE 1. ETUDE DU FONCTIONNEMENT DES ECHELLES A POISSONS DANS LA HAUTE MEUSE A WAULSORT ET TAILFER</u>	4
1.1. Passe de Waulsort	5
1.2. Passe de Tailfer	6
<u>PARTIE 2. REPEULEMENTS ET SUIVI DES POPULATIONS REIMPLANTEES</u>	
2.1. Appui au Service de la Pêche du SPW pour l'exécution des repeuplements	10
2.2. Compilation et synthèse des suivis réalisés dans le passé	13
2.3. Pêche de contrôle automnale dans le Samson	16
2.4. Pêche par indice d'abondance	22
<u>PARTIE 3. ENCADREMENT SCIENTIFIQUE DE L'ELEVAGE DE SAUMONS DE SOUCHE MEUSE ET LOIRE-ALLIER EN REGION WALLONNE</u>	
3.1. Introduction	26
3.2. Matériel et méthodes	26
3.3. Comparaison de marqueurs de smoltification	29
3.4. Evaluation du statut physiologique	37
3.5. Marqueurs de smoltification et résistance à la salinité	38
<u>PARTIE 4. ELABORATION D'UN PROTOCOLE DE CRYOCONSERVATION ET D'UNE CRYOBANQUE DE SPERME DE SALMONIDES</u>	
4.1. Détermination du moment optimum de collecte de la semence pour la cryoconservation	64
4.2. Testage des géniteurs disponibles à la station d'Erezée et stockage des gamètes	68
4.3. Développement de la structure de la cryobanque saumon	69
<u>PARTIE 5. CARACTERISATION DE L'EFFICACITE DE LA REMONTEE DES POISSONS DANS L'AXE FORME PAR LA MEUSE EN AVAL DU BARRAGE DE LIXHE, LES BARRAGES DE MONSIN ET D'YVOZ-RAMET ET LA BASSE OURTHE EN AMONT DU BARRAGE DE LIEGE GROSSES BATTES</u>	
5.1. Contrôle des remontées dans les échelles à poissons de Lixhe sur la Meuse en 2014	72
5.2. Caractérisation en 2014 de la migration de remontée dans l'axe Meuse entre Lixhe, Monsin, Yvoz-Ramet et Liège Grosses Battes de poissons marqués par puce RFID à Lixhe	85
<u>PARTIE 6. CARACTERISATION DE LA DEVALAISON DES SMOLTS DE SAUMONS ET TRUITES DE MER DANS LA BASSE OURTHE A MERY AU PRINTEMPS 2014</u>	
6.1. Objectifs de l'étude	103
6.2. Conditions environnementales	106
6.3. Bilan général des captures toutes espèces confondues	107
6.4. Caractéristiques de la population des saumoneaux dévalants	110
6.5. Devalaison des autres espèces	114
6.6. Conclusions préliminaires basées sur les suivis au cours des huit années de piégeage.	116
6.7. Projet de programme pour 2015	117
<u>PARTIE 7. SUIVI PAR TÉLÉMÉTRIE ACOUSTIQUE DE LA MIGRATION DES SMOLTS DANS L'AXE OURTHE MEUSE CANAL ALBERT</u>	
7.1. Présentation du site d'étude et objectifs	119
7.2. Résultats	122
7.3. Conclusion	130
<u>PARTIE 8. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u>	131

# INTRODUCTION

Le présent rapport d'activités intègre les travaux des deux équipes universitaires de Namur et de Liège dans la cadre de la convention relative à la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse.

Comme les années antérieures, nous tenons à remercier collectivement toutes les personnes et institutions qui ont accordé leur appui financier et/ou logistique à la réalisation des études et actions décrites dans ce rapport et ont ainsi contribué à la progression du projet ' Saumon Meuse'. Nous remercions spécialement M. René Collin, Ministre wallon de l'Agriculture, de la Nature, de la Ruralité, du Tourisme, des sports et des infrastructures sportives, qui a accepté d'accorder la subvention 2014-2015 aux équipes universitaires dans un contexte budgétaire difficile (réduction du budget total de 120000 à 100000 euros pour 2014-2015). Nos remerciements s'adressent aussi aux Services concernés du Service Public de Wallonie (SPE) qui ont participé au projet d'une manière ou d'une autre. Il s'agit spécialement de la DGARNE (Direction de la Nature et des Forêts, Inspecteur général Ir. Ph. BLEROT; Service Chasse et Pêche, Directeur Ir. P. VILLERS, Service de la Pêche, Dr. Ir X. ROLLIN) et de la DG02 (Direction générale opérationnelle « Mobilité et Voies hydrauliques Ir. A. GILLET ; Service d'Etudes Hydrologiques-SETHY, Ir Ph. DIERICKS).

Nous remercions aussi particulièrement l'équipe du Service de la Pêche de la DNF, représenté par son Directeur X. ROLLIN ainsi que ses agents sur le terrain: R. CRAHAY (retraité en 2014), Y. HAUPMANN, P. LAFALIZE, A. LAMOTTE, J.-B. LEURQUIN, V. PAQUAY, D. WALTZING, T. WERGIFOSSE, D. GILSON et Y. NEUS, pour leur participation directe au projet, spécialement pour toutes les opérations d'élevage des saumons à Erezée et à Emptinne, de leur déversement en rivière mais aussi pour leur appui au contrôle des échelles à poissons régulièrement sur la Haute Meuse (V. PAQUAY) et pour l'appui aux contrôles du piège de Méry (coordination Y. NEUS).

Merci à P. ORBAN, O. DETRAIT et M.C. FLAMAND pour leurs participations aux réunions du comité d'accompagnement.

## Référence du rapport

OVIDIO, M., DIERCKX, A., MATONDO, B.N., BENITEZ, J.P., PHILIPPART, J.C., BERNARD, B., MANDIKI, R., EVRARD, A. KESTEMONT, P. (2015). Rapport final annuel 2015 au Service Public de Wallonie (DGARNE/DNF-SP) de la Subvention 2014-2015 relative au suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse. Université de Liège et Université de Namur, 133 pages.

# **1. Etude du fonctionnement des échelles à poissons de la haute Meuse à Waulsort et Tailfer**

**(Université de Namur et appui du Service de la Pêche)**

## 1.1. Suivi de la passe à poissons de Waulsort à l'aide du système de vidéo-surveillance SYSIPAP.

L'installation du système de vidéo-surveillance automatisé SYSIPAP (développé par le professeur M. Cattoen du Laboratoire d'Electronique de l'ENSEEIH de Toulouse) à la passe à poissons de Waulsort en avril 2010 nous a permis de suivre les migrations printanières et automnales de la faune ichthyologique de la haute Meuse de 2010 à 2014. De plus amples informations sur la mise en place du système sont reprises dans le rapport précédent de convention relative à la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse (Philippart *et al*, 2013).

La collecte des données et lecture des vidéos est à charge des services SPW au cours de l'année 2014 ; mais vu le temps nécessaire au dépouillement des résultats des enregistrements, les vidéos sont stockées en attendant de trouver une solution alternative afin que l'analyse des résultats soient analysés par l'équipe de Namur.

Les données de débits et de température montrent des régimes typiques de notre climat (Figure 1) avec de faibles températures en hiver suivi d'un réchauffement au printemps et l'alternance d'une période à fort débit en hiver et à faible débit en été. Les températures varient de 6,2 à 19,1°C pour une moyenne de 11,2°C sur les cinq premiers mois de l'année. Les données de températures à partir du mois de juin ne sont pas encore disponibles à l'heure de la rédaction de ce rapport. Les débits varient de 32 à 467,5 m<sup>3</sup>/s avec un débit moyen annuel de 131,6m<sup>3</sup>/s.

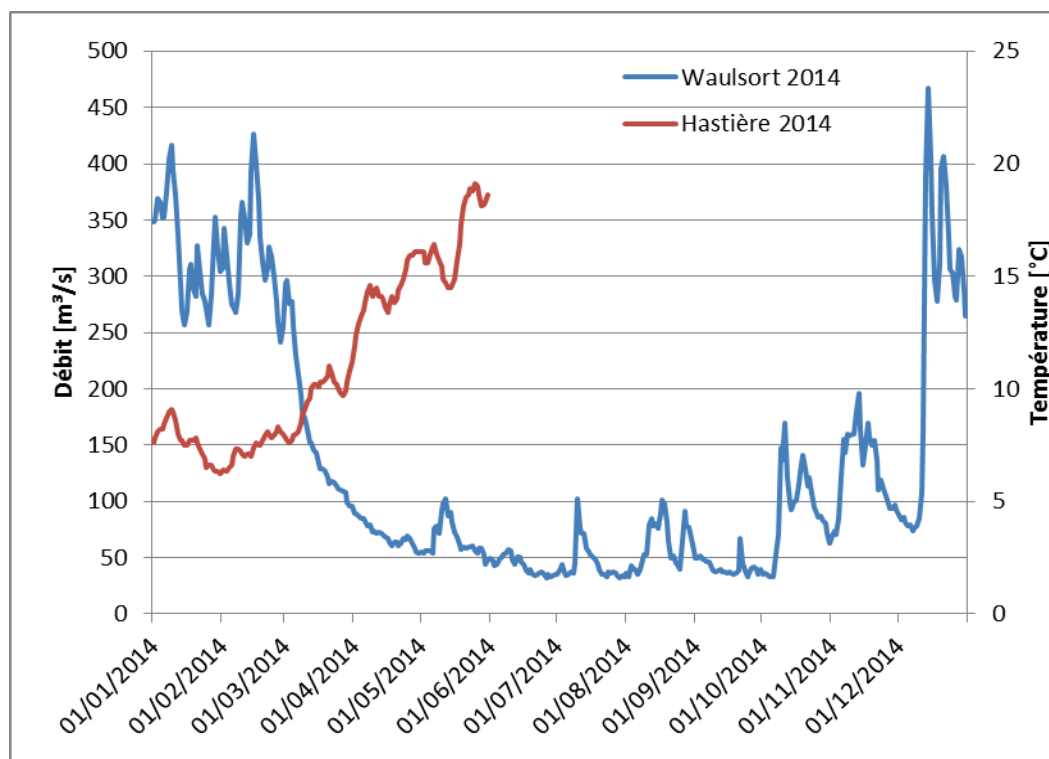


Figure 1: Evolution du débit [m<sup>3</sup>/s] et de la température [°C] de la Meuse aux points de contrôle les plus proches de la passe à poissons de Waulsort (SPW, DGO3, Département de la Police et des Contrôles - Direction des Contrôles, <http://aquapol.environnement.wallonie.be/>).

## 1.2. Suivi des remontées dans l'échelle à poissons de Tailfer sur le modèle des études réalisées dans les années 1990 et en liaison avec le Service de la Pêche de la Région wallonne.

### 1.2.1. Bilan général des migrations ichtyologiques

En 2014, l'échelle à poisson de Tailfer, a fait l'objet d'un suivi scientifique régulier au cours de deux périodes de migration intense. Les remontées de poissons par l'échelle ont été suivies au niveau du palier amont de l'échelle par V. Paquet (Service Extérieur de la Pêche - Triage de Namur) afin d'englober l'ensemble des périodes de migration de printemps et d'automne. L'objectif principal de ce suivi est d'étudier les rythmes migratoires des espèces mosanes empruntant cette échelle deux décennies après les suivis réalisés dans les années 90. D'après l'agent chargé de la surveillance du piège, le débit d'eau entrant dans la passe de Tailfer a été très bas ce printemps et l'efficacité même du piège en a été affectée. Un suivi correct n'a donc pas pu être réalisé. En automne, les conditions de débit et de transparence des eaux n'ont pas été plus favorables pour les remontées diurnes.

Les données de débits et de température montrent des régimes typiques de notre climat (Figure 2, Figure 3) avec de faibles températures en hiver suivi d'un réchauffement au printemps, des températures les plus élevées en saison estivale et finalement un refroidissement au cours de l'automne ainsi que l'alternance d'une période à fort débit en hiver et à faible débit en été. En 2014, les températures varient de 5,2 à 15,5°C pour une moyenne de 8,7°C sur les cinq premiers mois de l'année. Les données de températures à partir du mois de juin ne sont pas encore disponibles à l'heure de la rédaction de ce rapport. Les débits varient de 36,9 à 618,7 m<sup>3</sup>/s avec un débit moyen annuel de 152,6m<sup>3</sup>/s. Peu de différences sont à noter en ce qui concerne la comparaison des températures au cours des quatre dernières années. Cependant, les débits en 2014 sont les plus faibles depuis 2011. La forte augmentation de débit à la fin de l'hiver et au début du printemps que l'on observait de 2011 à 2013 a fortement diminué. Le débit mesuré en 2014 vaut 481m<sup>3</sup>/s contre 729,1 m<sup>3</sup>/s en 2013, 1007,7 m<sup>3</sup>/s en 2012 et 1428,6 m<sup>3</sup>/s en 2011. Au cours du printemps et de l'été, le débit de 2014 est plus faible qu'en 2012 et 2013 mais proche de 2011. Aucune différence n'est apparente pour les mesures en automne.

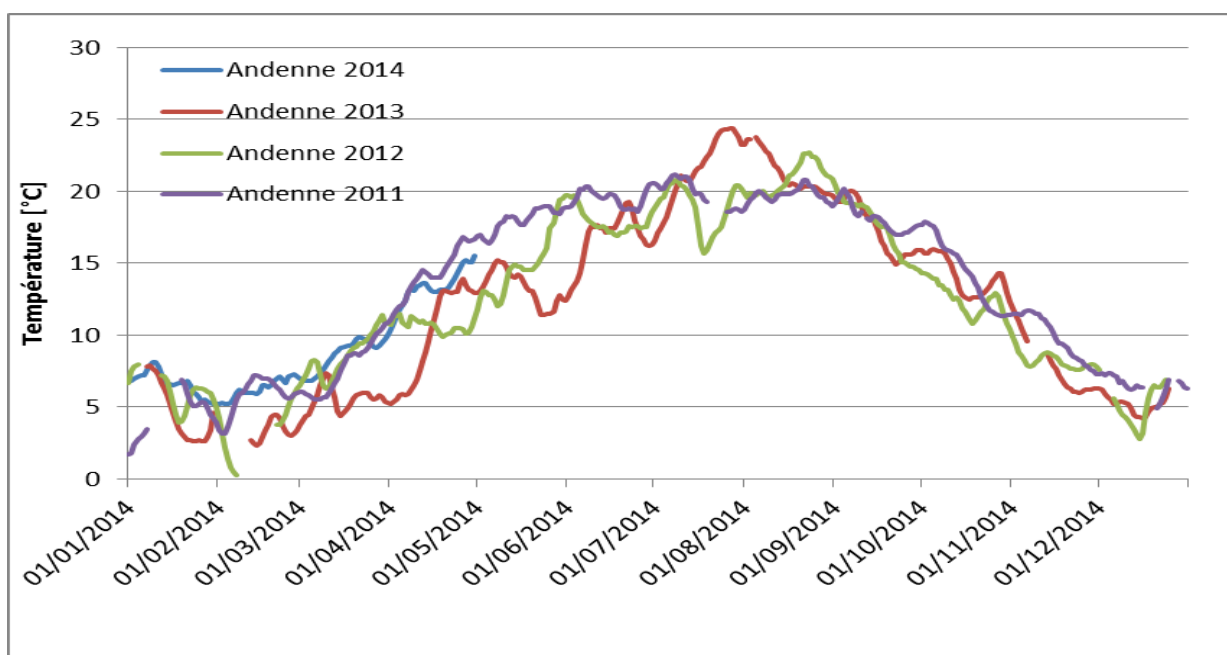


Figure 2: Comparaison de l'évolution de la température [°C] de la Meuse au point de contrôle le plus proche de la passe à poissons de Tailfer de 2011 à 2014 (<http://aquapol.environnement.wallonie.be>).

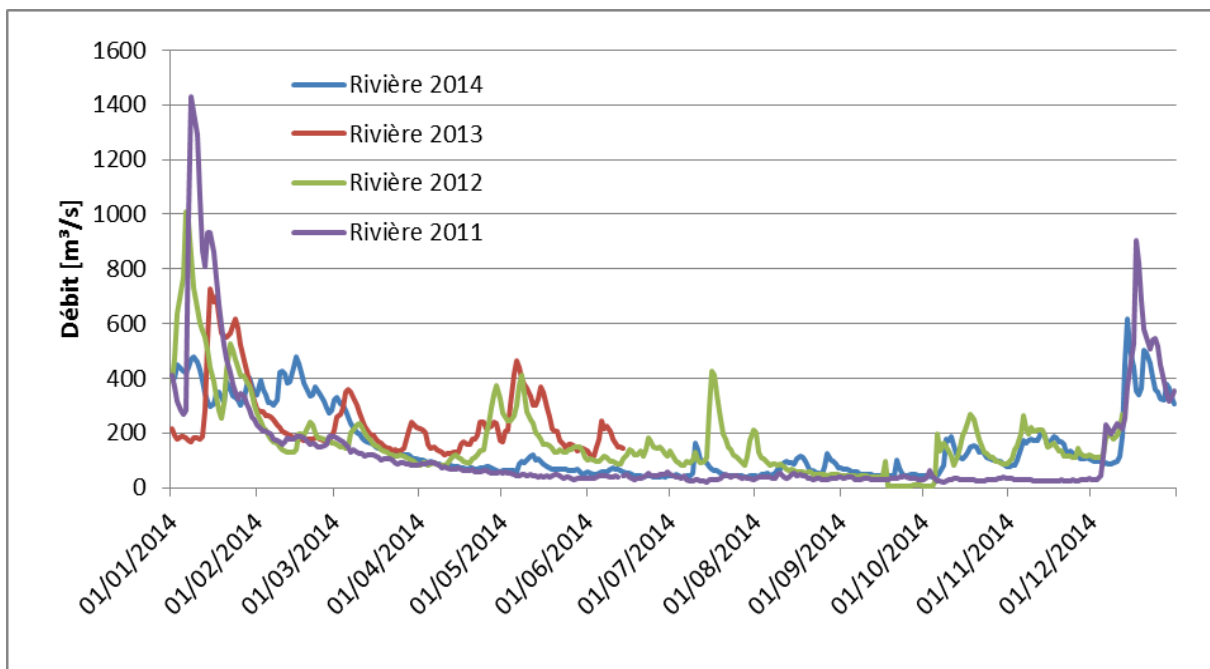


Figure 3: Comparaison de l'évolution du débit [m<sup>3</sup>/s] de la Meuse au point de contrôle le plus proche de la passe à poissons de Tailfer de 2011 à 2014 (SPW, DGO3, Département de la Police et des Contrôles - Direction des Contrôles).

Les résultats du suivi de la passe en 2014 sont catastrophiques. En effet, aucun poisson n'a été recensé durant les périodes de migrations de printemps et d'automne. Jamais auparavant de tels résultats n'avaient été enregistrés. A l'instar des autres années depuis 2006 (Tableau 1), les résultats de 2013 étaient alarmants en comparaison avec le nombre total de captures réalisées au début des années 90 (qui atteignaient en moyenne 28262 individus/an). Nous avons constaté en 2010 une légère augmentation des captures par rapport à 2009, très mauvaise année où seulement 661 individus avaient été observés. L'accroissement du nombre des captures observées en 2010 (2317 individus) n'a pas été confirmé en 2011, le nombre des poissons migrants restant faible (1669). En 2013, seuls 106 poissons ont été recensés. Jamais aussi peu de poissons n'avaient été comptabilisés. La diversité spécifique observée en 2013 était également la plus faible des données dont nous disposons avec 8 taxa différents contre 17 en 2011, 14 en 2010, 12 en 2009. De plus, des espèces typiques de cette zonation (brème bordelière, barbeau fluviatile...) n'étaient même plus représentées. Notons toutefois que seule la période de migration printanière avait été surveillée.

### 1.2.2 Discussion

Les résultats de 2014 sont les plus faibles jamais enregistrés depuis le début du suivi en 1989. Le nombre de poisson capturé est réduit de 100 % par rapport à la moyenne des captures des années '90. Lors des contrôles du piège, il a été remarqué que le débit d'eau entrant dans la passe de Tailfer était très faible ce qui a pu limiter l'efficacité du piège. Cependant, le régime de température et de débit du chenal principal semblent tout à fait normaux pour notre climat. Un programme de gestion pluridisciplinaire pourrait permettre d'augmenter l'efficacité des passes à poissons. Les connaissances et/ou les données sont toujours insuffisantes pour avancer des causes précises vis à vis de ce constat alarmant. Plusieurs explications ont été avancées et mériteraient d'être vérifiées :

- l'apparition et l'expansion de certaines espèces invasives telles la palourde asiatique *Corbicula spp*, peuvent être responsables de cette situation, ou du moins avoir contribué à une diminution significative des ressources trophiques des jeunes stades de vie des espèces de poissons. Mais l'évaluation des taux de filtration de la masse phytoplanctonique du milieu aquatique par cette espèce invasive semble être difficile.

**Tableau 1: Présentation des inventaires de captures de poissons de l'échelle de Tailfer au cours du début des années 90 et aujourd'hui.**

Année	1989		1990		1991		1992		1993		1994		2006		2009		2010		2011		2013		2014	
Période	01/04 au 01/12		01/04 au 01/12		25/2 au 20/12		1/4 au 31/12		1/3 au 30/11		1/3 au 31/12		15/3 au 19/7		4/4 au 7/8		16/3 au 4/7		16/3 au 4/8		14/4 au 16/6		14/4 au 16/6	
Espèces	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Ablette commune					112								28	<	22	3,3	37	1,6	25	1,5	4	3,8		
Brème bordelière	793	3,6	27	0,1	114	<	5265	11,8	298	3,1	356	1	4	<	3	<	1	0,04	2	<				
Brème commune	321	1,5	23	0,1	203	1,3	101	<	224	2,3	425	1,2	55	1,9	14	2,1	25	1,08						
Carassin	1	<	1		1	<					1	<							1	<				
Carpe					1				1	<			5	<										
Gardon	20618	93,3	20956	99,5	17755	85,6	36983	82,7	7856	80,7	34344	94,3	661	22,3	139	21	1479	63,83	730	43,7	17	16,0		
Grémille	11				0	<	1	<																
Rotengle	7		1		3	<	28	<	3	<	8	<	1	<	1	<			1	<	1	0,9		
Sandre	1	<	1		3	<	3	<	1	<	1	<												
Perche	342	1,5	49	0,2	79	<	132	<	75	<	57	<	5	<	29	4,4	9	0,39	18	1,1	3	2,8		
Tanche	1	<	2		2		8	<			4	<												
Vairon																			1	<				
<b>Sous-total espèces limnophiles</b>	<b>22095</b>	<b>93,8</b>	<b>21060</b>	<b>90,2</b>	<b>18273</b>	<b>88,1</b>	<b>42521</b>	<b>95</b>	<b>8458</b>	<b>86,8</b>	<b>35196</b>	<b>96,6</b>	<b>759</b>	<b>42,3</b>	<b>208</b>	<b>31,5</b>	<b>1551</b>	<b>66,94</b>	<b>778</b>	<b>46,6</b>	<b>25</b>	<b>23,6</b>		
Barbeau fluviatile	147	11,5	2	0,2	22	<	200	<	39	<	12	<	18	<	1	<	1	0,04	2	<				
Chabot																	1	0,04	5	<				
Chevaine	349	27,4	84	7,2	389	2,4	551	1,2	848	8,7	977	2,7	1176	39,6	213	32,2	38	1,64	39	2,3	54	50,9		
Goujon	27	2,1	16	1,4	12	<	165	<	44	<	48	<	977	32,9	98	14,8	667	28,79	645	38,6	21	19,8		
Hotu	141	11,1	567	48,6	774	5	689	1,5	102	1	23	<	1	<			27	1,17	21	1,3	1	0,9		
Ide mélanotte	2	0,2	2	0,2	3	<	1	<			1	<							1	<				
Loche franche																			3	<				
Ombre commun					3	<					2	<							1	<				
Spirilin			2	0,2	2	<					1	<												
Truite arc-en-ciel	17	1,3	3	0,3			6	<	6	<	9	<												
Truite fario	35	2,7	24	2,1	45	<	93	<	126	1,3	86	<	15	<	4	<	2	0,09	2	<				
Saumon de fontaine	2	0,2	1	0,1	1	<	2	<	3	<	4	<												
Vairon													2	<	134	20,3	1	0,04						
Vandoise	555	43,5	465	39,9	409	2,4	416	<	80	<	48	<	2	<			28	1,21	22	1,3	5	4,7		
<b>Sous-total espèces rhéophiles</b>	<b>1275</b>	<b>5,4</b>	<b>1166</b>	<b>5,0</b>	<b>1660</b>		<b>2123</b>		<b>1248</b>	<b>12,8</b>	<b>1211</b>	<b>3,3</b>	<b>2191</b>	<b>56,6</b>	<b>450</b>	<b>68,1</b>	<b>765</b>	<b>33,02</b>	<b>741</b>	<b>44,4</b>	<b>81</b>	<b>76,4</b>		
0+																			>150	9,0				
Anguille	173		1106		266	1,6	94	<	21	<	13	<	14	<	3	<								
Truite de mer	4		11		7	<	2	<	10	<	13	<	5	<			1	0,04						
<b>Total général</b>	<b>23547</b>		<b>23343</b>		<b>20206</b>		<b>44740</b>		<b>9737</b>		<b>36433</b>		<b>2969</b>		<b>661</b>		<b>2317</b>		<b>1519</b>		<b>106</b>			
diversité	<b>20</b>		<b>20</b>		<b>23</b>		<b>19</b>		<b>17</b>		<b>21</b>		<b>16</b>		<b>12</b>		<b>14</b>		<b>17</b>		<b>8</b>			

- l'expansion du grand cormoran (*Phalacrocorax carbo*) et l'impact des prélèvements ichthyologiques de cette espèce piscivore doivent probablement aussi contribuer à la diminution du nombre de gardons et d'autres espèces autrefois largement représentées en Meuse. Les classes de taille des poissons consommés par le cormoran pourraient expliquer la chute du recrutement en jeunes individus.
- de même, l'apparition du silure glane (*Silurus glanis*) en Meuse doit contribuer à ce résultat, par une prédation potentielle sur les autres espèces.
- l'amélioration graduelle de la qualité des eaux de nos rivières depuis le développement du réseau de collecte et d'épuration des eaux, intensifie également le phénomène de diminution de la production primaire.
- En automne 2012, le chômage technique de la Meuse a eu lieu. Or les taux de migration les plus importants au cours des deux années précédentes, d'après le suivi de la passe à poisson de Waulsort par le logiciel d'acquisition d'image SYSIPAD ont justement été enregistrés durant la période du chômage technique (3ème décan de septembre jusqu'au 2ème décan d'octobre). La migration automnale est qualifiée de pré-reproductrice pour plusieurs espèces qui commence à migrer vers les zones de reproduction ou vers des zones plus propices à la survie lors de la période hivernal.

Aucune hypothèse ne peut être écartée à ce jour, et le résultat observé peut également être la conséquence de plusieurs facteurs combinés. Ce type de contrôle nécessite évidemment d'être prolongé sur quelques années afin de valider les observations récentes et d'en évaluer les variations interannuelles afin d'aboutir avec un plan d'action efficace.

## **2. Repeuplement et suivis des populations réimplantées**

### **(UNamur, SP)**

## 2.1. Appui au Service de la Pêche pour l'exécution des repeuplements

### 2.1.1 Le Samson (UNamur)

En 2014, les repeuplements ont été effectués au cours des mois de mai et de juin. Les saumons de souche Irlandaise, provenant de la pisciculture d'Erezée, ont été transvasés dans une cuve de transport alimentée en oxygène afin de maintenir une concentration minimum de 8mg/L d'oxygène dissout. Le transport jusqu'au lieu de déversement a été effectué alors dans les plus brefs délais. L'équipe de l'Université de Namur s'est chargée du repeuplement du Samson. Le déversement d'alevins de saumon a été effectué le 14 mai 2014. Quatre stations ont été repoissonnées, le Bois de Gesves (ZA et ZB) ainsi que la station Aval de l'abbaye et au Pont de Sorinne (Figure 5) par T. Bournonville et B. Bernard. Le nombre de poissons déversés à chaque station est basé sur le poids moyen et la masse de lot de poissons et est repris ci-dessous ainsi que les conditions hydrologiques. (Tableau 2).

Tableau 2: Répartition des tacons de repeuplement dans 3 secteurs du Samson en date du 14 mai 2014.

Station	Poids déversé	Poids moyen	Nombre déversé	T°C	[O2] [mg/L]	pH
Bois de Gesves	2787	0,5583	4992	9,7	10,02	7,95
Pont de Sorinne	1058	0,5583	1895	9,6	10,1	7,95
Aval de l'Abbaye	1902	0,5583	3407	9,7	10	8,3

Sur le terrain, 50 individus, pris au hasard dans la cuve de transport, ont été mesurés individuellement avec une règle à butée. Au total, 10 032 individus ont été déversés dans le Samson. La longueur moyenne de ces alevins était de 38,2 mm pour un poids moyen de 0,56 g. L'histogramme des fréquences-tailles des tacons déversés est présenté ci-dessous (Figure 4).

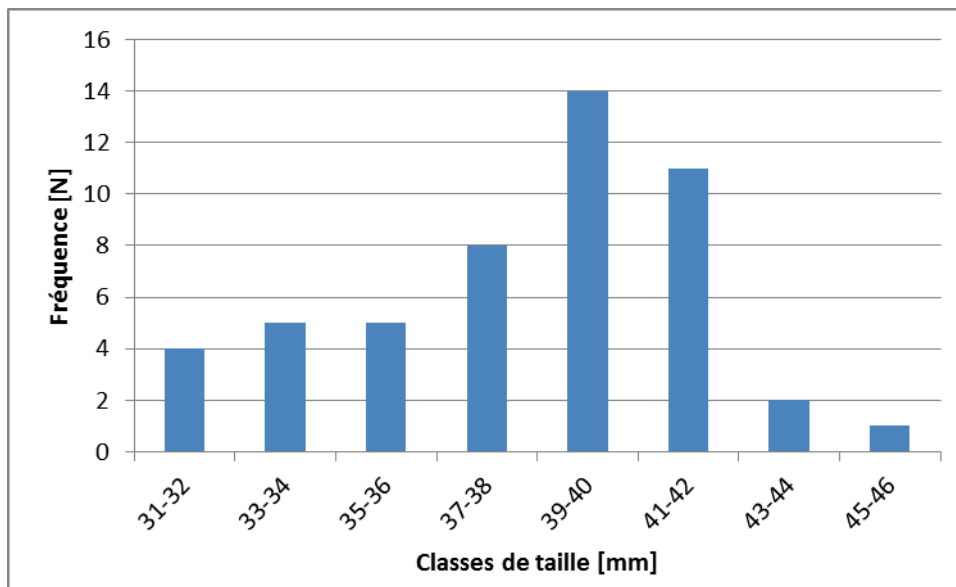


Figure 4 : Histogramme des fréquences-tailles des tacons de repeuplement (N=50) pour le Samson en 2014.



Figure 5 : Emplacements des déversements de tacons dans le Samson en 2014.

### 2.1.2 Récapitulatif des déversements de 2014 (Service de la Pêche - DNF - DGO3 - SPW, Mars 2015)

Les opérations de repeuplement en tacons Irlandais se sont déroulées du 14 mai au 8 juillet 2014. Au total, 152419 tacons ont été relâchés sur 75 stations par 7 agents du Service de la Pêche. Les tacons déversés dans le Samson, le Bocq, l'Antrogne, Les Alleines et le ruisseau de Fays les Veneurs venaient de la pisciculture d'Erezée tandis que ceux déversés dans la Molinee, le Flavion, le Bocq et la Lesse provenaient de celle d'Emptinne (Tableau 3).

Ces huit cours d'eau sont répartis sur 3 bassins hydrographiques, la Meuse amont, la Lesse et la Semois-Chiers. Le bassin de la Lesse a bénéficié du plus d'effort avec 68,8 kg de saumon Atlantique relâchés suivi par la Meuse amont avec 23,5kg puis la Semois-Chiers avec 9,8 kg. Le poids moyen des tacons déversés variait de 0,49g à 1,77 g pour un poids total de 102,2 kg de poisson.

Tableau 3: Récapitulatif des déversements de tacons Irlandais en 2014. (Service de la Pêche Pêche - DNF - DGO3 - SPW, Mars 2015)

	Biomasse	Nombre
<b>Meuse amont</b>	<b>23563 g</b>	<b>43685</b>
MM26R		
Molinee	6001 g	12247
Flavion	1018 g	2077
MM30R		
Bocq	10947 g	19329
MM40R		
Samson	5598 g	10032
<b>Lesse</b>	<b>68820 g</b>	<b>103151</b>
LE20R		
Lesse	21925 g	35942
LE25R		
Lesse	46896 g	67209
<b>Semois-Chiers</b>	<b>9882 g</b>	<b>5583</b>
SC25R		
Antrogne	4218 g	2383
SC29R		
Les Alleines	4248 g	2400
Ruisseau de Fays les Veneurs	1416 g	800
<b>Total général</b>	<b>102266 g</b>	<b>152419</b>

## 2.2. Compilation et synthèse des suivis réalisés par le passé

Les efforts de déversement de tacons dans le Samson, au cours des dix dernières années, sont repris ci-dessous (Figure 6). Le nombre de tacons déversés varie entre 5900 et 10294 par an et est en augmentation.

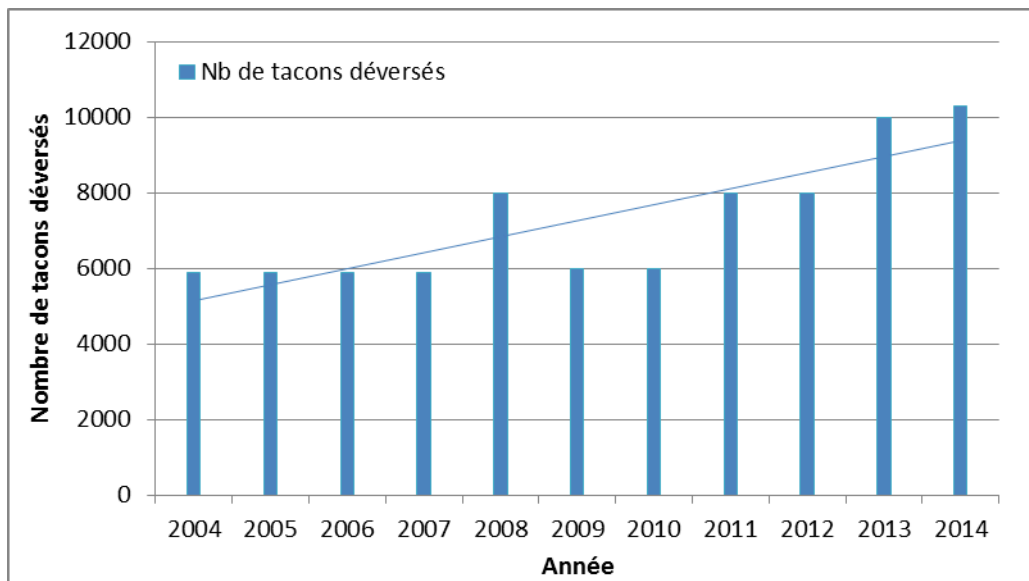


Figure 6: Récapitulatif des efforts de repeuplement du Samson entre 2004 et 2014.

Les taux de croissance en taille et en poids donnent des informations importantes quant aux ressources disponibles pour les tacons dans le cours d'eau. Nous disposons de données depuis 1990 (Tableau 4) nous permettant de comparer les taux de croissance de différentes souches sur plus de 20 ans. Malheureusement, la pollution de 2008 ne nous permet pas d'obtenir des valeurs à comparer pour cette année-là. Les taux de croissance obtenus en 2014 sont proches de ceux de 2013. Les moyennes des SGR pour le Samson passent de 2,08 en 2013 à 2,01 en 2014. En comparant station par station, on note toutefois des valeurs légèrement plus faibles que l'année précédente durant laquelle les croissances enregistrées étaient les plus élevées depuis le début du suivi pour la souche Cong. Ils sont proches des taux de croissance de la souche bretonne en 1998 (2,21) et Loire-Allier en 2010 (2,27) qui détiennent toujours le record de croissance dans le Samson.

Tableau 4: Taux de croissance des tacons 0+ dans le Samson de 1998 à 2014. SCO=Scotland, IRL=Irlande, FRN= France, BRE= Bretagne, CG= Cong.

Années	Date de déversement	Date de capture	Souche	P déversement [g]	Lt déversement [mm]	P recapture [g]	Lt recapture [mm]	nbr jours	SGR
1990	20-juin	19-oct			42			121	
1991	4-juil	8-oct			44,2			96	
1992	18-juin			0,9	45,2	32,5	136	336	1,07
1993	29-juil	25/10-19/11		1,93	60	6	79	114	0,99
1994	5-juil	29/09-21/10	SCO	1,04			68	86	
	26-août	24-oct	SCO	2,9		4,5	73	59	0,74
		25-nov	IRL	3,02		4,55	73	91	0,45
1995	20-juil	9-oct	SCO	1,33		3,112	64	81	1,05
			IRL	1,09		3,358	65	81	1,39
1996	22-mai	22-oct	FRN	0,76		5,4	77	153	1,28
				0,76		6,17	80	153	1,37
	16-juil	7-nov	SCO	0,8		2,5	61	114	1,00
				0,8		2,07	57	114	0,83
			IRL	0,9		2,3	58	114	0,82
				1		2,1	56	114	0,65
1997	18-juil	21-oct	FRN	1,7 ± 0,4	53 ± 4	5,1	75	95	1,16
				1,7 ± 0,4	53 ± 4	5,1	86	95	1,16
			IRL	1,7 ± 0,4	54 ± 4	4,4	72	95	1,00
				1,7 ± 0,4	54 ± 4	4,4	81	95	1,00
1998	16-juil	19/11-03/12	FRN	1,7 ± 0,4	53 ± 3	3,8	70	126	0,64
			IRL	1,5 ± 0,3	52 ± 4	2,9	65	126	0,52
	20-mai	13-oct	BRE	0,3 ± 0,1	26 ± 4	7,2	83	144	2,21
	16-juil	13-oct	FRN	1,7 ± 0,4	53 ± 3	6,1	80	89	1,44

			IRL	1,5 ± 0,5	52 ± 4	7,5	87	89	1,81
1999	18-juin	21-oct	BRE	0,8 ± 0,2	42 ± 4	7,5	86	125	1,79
2000	7-juil	23-oct	BRE	1,2 ± 0,2	49 ± 2	5,2	75	108	1,36
				1,2 ± 0,2	49 ± 2	6	78	108	1,49
			FRN	1,7 ± 0,3	54 ± 4	5,3	76	108	1,05
				1,7 ± 0,3	54 ± 4	6,2	79	108	1,20
2001	16-juil	oct	BRE	1,3 ± 0,8	49 ± 3		63	107	0,29
				1,3 ± 0,8	49 ± 3		66	107	0,34
			FRN	2,3 ± 0,6	58 ± 5		76	107	0,31
				2,3 ± 0,6	58 ± 5		80	107	0,37
2002	17-juin	oct	BRE	1,34 ± 0,27	48,9 ± 3,3	5,3	74,2	140	0,98
2004	2-juil	05/11-08/11	LA	1,3 ± 0,3	48 ± 4,3	5,33	77	126	1,12
2005	21-juin	7-oct	LA	1,3 ± 0,2	52,4 ± 3,3	6,07	84,04	108	1,43
2006	8-juin	22-sept	LA	0,93 ± 0,3	49,4 ± 2,9	4,2	78,4	106	1,42
2007	5-juin	06/11-07/11	IRL	0,8 ± 0,2	44,4 ± 3	3,1	71	154	0,88
			LA	1,5 ± 0,2	55,5 ± 3,2	7,5	97	154	1,05
2009	29-mai	17-sept	IRL	0,63 ± 0,13	38,1 ± 2,57	4,9	79,5	111	1,85
2010	29-juin	20-sept	LA	0,7	39	4,6	76	83	2,27
2011	3-juin	19/09/2011	CG	0,55		2,7	65,2	108	1,47
2012	10-mai	18/09/2012	CG	0,335 ± 0,1	34,77 ± 2,5	4,5	77,7	130	2,00
		8/11/2012		0,335 ± 0,1	34,77 ± 2,5	7,4	91,5	182	1,70
2013	24-juin	18/09/2013	CG	0,68	43,45 ± 4,8	3,4	72,3	86	1,87
				0,68	43,45 ± 4,8	4,4	71,1	86	2,18
				20/09/2013	0,68	43,45 ± 4,8	4,7	77,5	88
2014	14-mai	15/09/2014	CG	0,56	38,2 ± 3,4	5,68	77,57	125	1,85
		16/09/2014		0,56	38,2 ± 3,4	7,65	91,15	124	2,11
		17/09/2014		0,56	38,2 ± 3,4	7,64	88,54	126	2,07

### 2.3. Pêche de contrôle automnal dans le Samson, cours d'eau repeuplé en jeunes saumons d'élevage

Les pêches de contrôle automnal ont été effectuées entre les 15, 16 et 17 septembre sur trois stations rempoissonnées au début de l'été. Des groupes électrogènes Deka 2 et EFKO délivrant un courant redressé de 3 ampères ont été couplés chacun à une anode trapézoïdale de 40cm de d'arrête. Les deux passages de l'inventaire ichtyologique au Pont de Sorinne ont rapportés 449 poissons de 3 espèces différentes (Tableau 5). Sur le secteur ZB du Bois de Gesves, 179 poissons, regroupés en 3 taxa différents, ont été capturés (Tableau 6). La pêche à la station Aval de l'abbaye, quant à elle, a permis la capture de 438 poissons de 4 espèces différentes (Tableau 7).

**Tableau 5: Résultats des captures de la pêche au Pont de Sorinne réalisée le 17 septembre 2014**

	nombre de capture			pourcentage de capture	Nb estimés	Nb estimé/ ha	Biomasse [kg/ha]
	Passage 1	Passage 2	Total				
Truite fario	60	13	73	78	77	1725	111,7
Saumon atlantique	18	4	22	78	23	521	4,0
Chabot	203	151	354	26	792	17849	80,2
Total	281	168	449		892	20095	195,9

**Tableau 6 : Résultats des captures de la pêche au Bois de Gesves (ZB) réalisée le 16 septembre 2014**

	Nombre de capture			% de capture	Nb estimé	Nb estimé/ha	Biomasse [kg/ha]
	Passage 1	Passage 2	Total				
Truite fario	61	10	71	84	73	1141	66,46
Saumon atlantique	16	10	26	38	43	668	7,70
Chabot	34	48	82				
Total	111	68	179		116	1809	74,16

**Tableau 7: Résultats des captures de la pêche à la station Aval de l'abbaye réalisée le 15 septembre 2014**

	nombre de capture			% de capture	Nb estimés	Nb estimés/ha	Biomasse [kg/ha]
	Passage 1	Passage 2	Total				
Truite fario	58	13	71	78	75	1122	33,96
Saumon atlantique	76	19	95	75	101	1522	15,01
Chabot	195	77	272	61	322	4839	32,64
Lamproie	1	0	1	100	1	15	0,11
Total	329	109	438				81,71

Malgré des résultats de capture en nombre d'individus proche ou égaux (73, 71 et 71), les biomasses estimées de truite fario sont fort différentes (112,7, 66,5 et 34 kg/ha). Le meilleur résultat a été obtenu au Pont de Sorinne avec 112,7 kg/ha. De même, les biomasses de saumons atlantique sont différentes aux trois stations (4, 7,7 et 15 kg/ha). Il faut toutefois spécifier que les résultats de pêche au Bois de Gesves sont à interpréter avec précaution pour le saumon car la probabilité de capture est inférieure à 0,5. Les captures de tacons sont faibles avec 22 et 26 individus à l'exception de la station Aval de l'Abbaye où 95 individus ont été capturés. Au Bois de Gesves, le nombre d'individus de toutes les espèces est le plus faible depuis 2011 à l'exception du saumon. Le nombre de saumons a diminué de 63 individus en 2011 à 49 individus en 2012 puis à 18 en 2013 et finalement remonté à 26 individus en 2014 (Figure 7). Tout comme l'année précédente, une lamproie de Planer a été capturée mais aucune carpe n'a été recensée depuis 2012. Le faible nombre d'individus capturés en 2013

était en partie dû aux conditions météorologiques médiocres lors de la pêche le 18 septembre. Cependant, en 2014, les conditions de pêche étaient très favorables (temps beau, débit faible et eau clair) mais encore moins de poissons ont été capturés à l'exception des saumons. Le nombre de capture de ces derniers restent toutefois très inférieures aux données de 2011 et 2012.

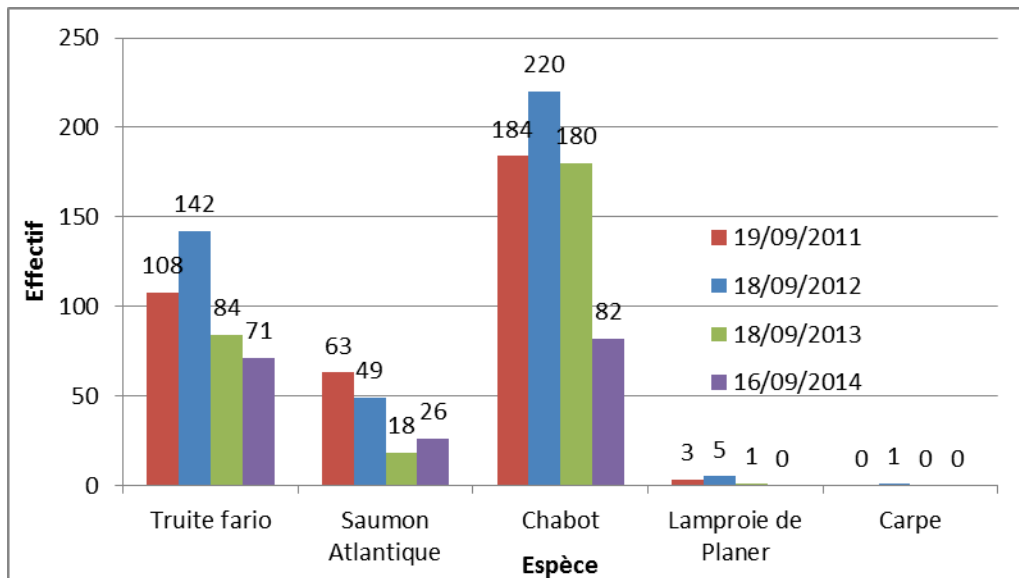


Figure 7: Comparaison entre les captures de quatre pêches électriques réalisées dans le Samson à la station Bois de Gesves ZB en septembre 2011, 2012, 2013 et 2014.

La population de truites fario au Bois de Gesves est bien équilibrées (Tableau 8 et Figure 8) en ce sens qu'une population comprend des alevins de taille inférieure à 100 mm, une dominance marquée de jeunes individus entre 100 et 200 mm et des adultes de taille supérieure à 200 mm. Aux deux autres stations (Tableau 8, Figure 9 et Figure 10), c'est la classe de taille <100mm qui domine. Toutefois, les deux autres classes de taille sont également représentées. La longueur moyenne des truites capturées en septembre 2014 varie de 114mm à 167 mm pour un poids moyen variant entre 30g à 65g.

Tableau 8 : Proportion des classes de taille de la population de truite fario dans le Samson en septembre 2014.

Station	<100mm	100-200mm	>200mm	Lt moyenne [mm]	P moyen [g]
Pont de Sorinne	36	12	25	150,3	64,8
Bois de Gesves	5	49	17	166,7	58,2
Aval de l'Abbaye	46	18	7	114,1	30,3

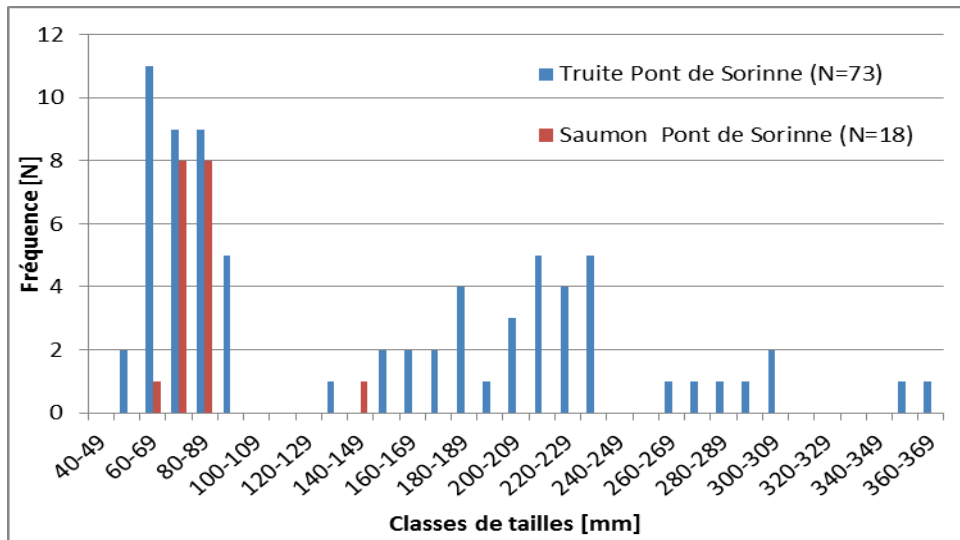


Figure 8 : Histogramme fréquence-taille des saumons atlantique (N=18) et truites fario (N=73) pêchés dans le Samson (Pont de Sorinne) le 17 septembre 2014.

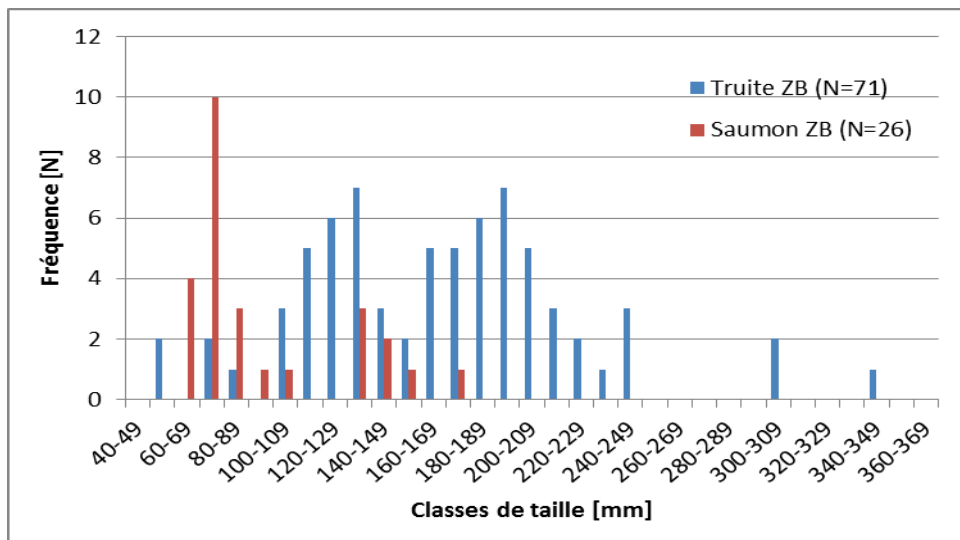


Figure 9: Histogramme fréquence-taille des saumons de l'Atlantique (N=26) et truites fario (N=71) pêchés dans le Samson (Bois de Gesves - ZB) le 16 septembre 2014.

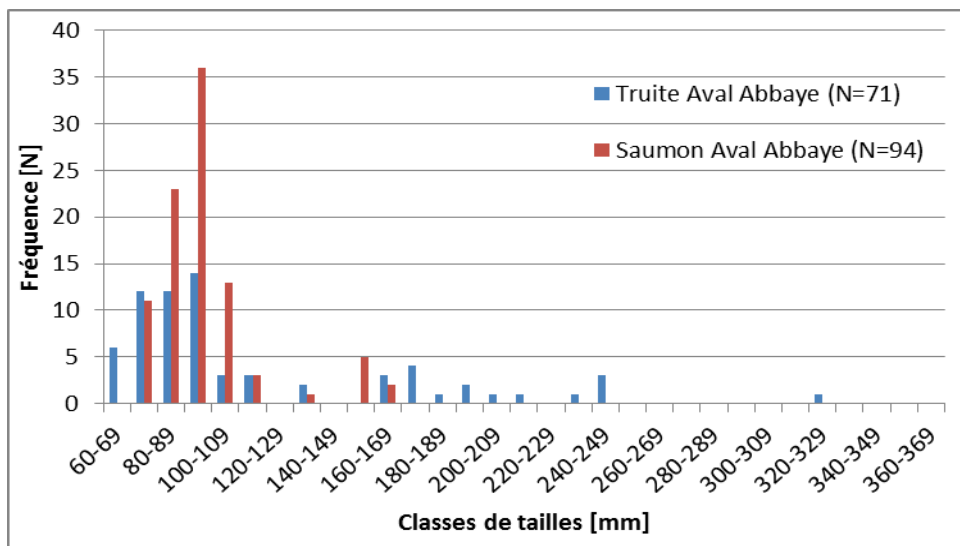


Figure 10 : Histogramme fréquence-taille des saumons atlantique (N=94) et truites fario (N=71) pêchés dans le Samson (Aval de l'Abbaye) le 15 septembre 2014.

Suite aux pêches d'automne, deux cohortes différentes de saumon sont observables au niveau de deux stations (Figure 11). Que ce soit au Bois de Gesves ou à Aval de l'abbaye, la première cohorte (respectivement de 60 à 89 mm et de 60 à 99) dérive très probablement des tacons déversés en mai 2014. La deuxième cohorte (respectivement de 120 à 169 mm et de 140 à 179 mm) dérive probablement des poissons déversés au printemps de l'année précédente. Cependant une autre explication existe ; une bimodalité dans la croissance des tacons est connue depuis longtemps (Kristinsson *et al.*, 1985).

Ainsi, des poissons du déversement de mai peuvent avoir grandi suffisamment que pour être confondus avec ceux de la deuxième cohorte. Deux modes de croissances ont déjà été observés sur le Samson. Cependant, comme c'est la première année qu'un déversement a eu lieu au Pont de Sorinne et que l'on observe qu'un seul mode de croissance à cette station, la première explication semble plus correcte. Le faible nombre de représentants de la deuxième cohorte de saumons s'explique en grande partie par le cycle de vie du saumon qui entame une migration de dévalaison lorsqu'il a atteint une taille minimum 10 – 15 cm (Elson, 1957 ; McCormick & Saunders, 1987).

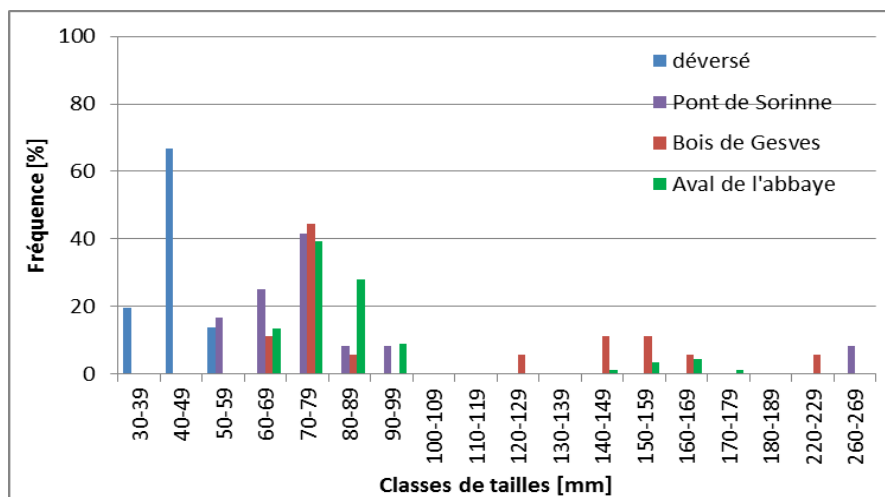


Figure 11 : Histogramme fréquence-taille des saumons de l'Atlantique déversés en mai et recapturés en automne 2014 dans le Samson.

La croissance des saumons 0+ est de type allométrique négative ( $b < 3$ ) sur les trois stations échantillonnées. Ceci indique que la longueur des poissons augmente plus vite que leur poids. (Figure 12, Figure 13 et Figure 14). Le facteur de condition K pour les saumons 0+ aux trois stations corrobore ces résultats (1,04 au Pont de Sorinne, 1,19 au Bois de Gesves et 0,99 à Aval de l'abbaye). Le K proche de 1 témoigne d'une alimentation suffisante et d'une bonne condition des saumons.

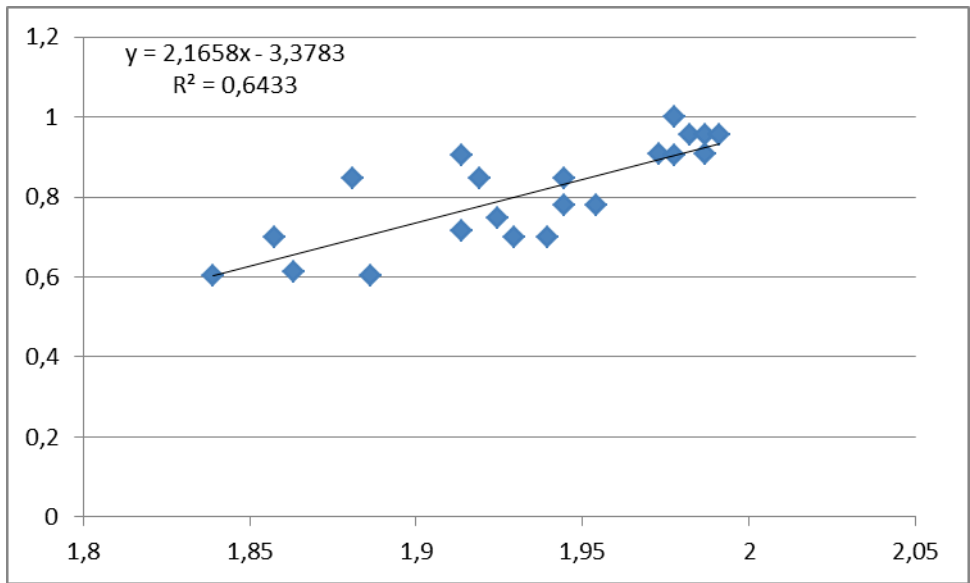


Figure 12 : Relation entre le logarithme du poids et le logarithme de la longueur totale des saumon 0+ pêchés en automne 2014 au Pont de Sorinne (N=21).

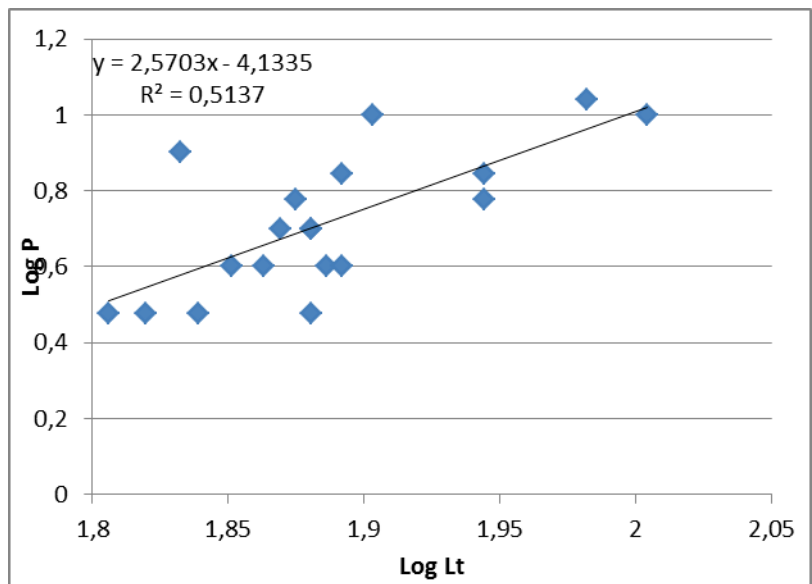


Figure 13 Relation entre le logarithme du poids et le logarithme de la longueur totale des saumon 0+ pêchés en automne 2014 au Bois de Gesves (N=19).

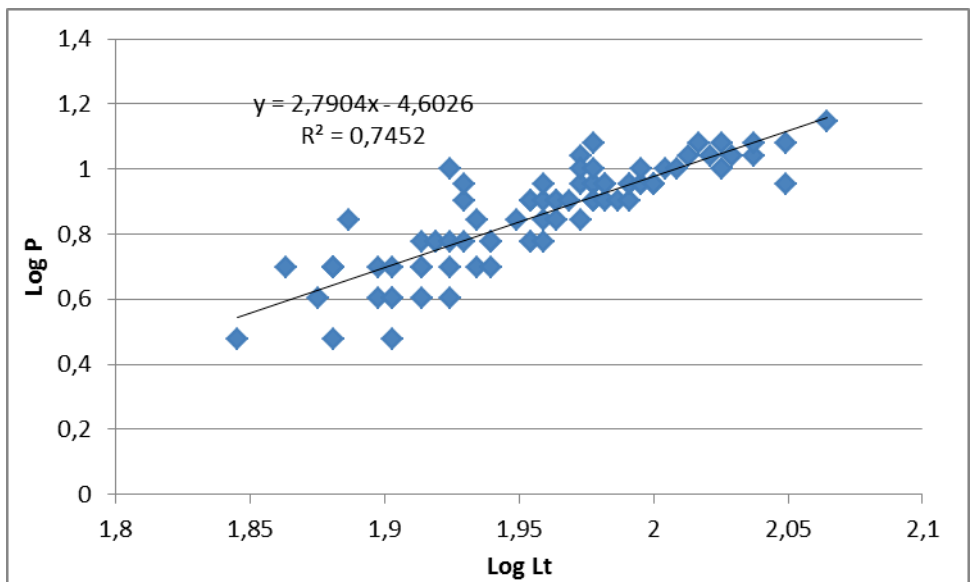


Figure 14 : Relation entre le logarithme du poids et le logarithme de la longueur totale des saumon 0+ pêchés en automne 2014 à Aval de l'abbaye (N= 86).

En considérant le nombre d'alevins déversés et la surface disponible, on obtient une densité initiale de 427 individus/100 m<sup>2</sup> au Pont de Sorinne, de 781 individus/100 m<sup>2</sup> au Bois de Gesves et de 512 individus/100 m<sup>2</sup> à la station Aval de l'abbaye (Tableau 9). En estimant les nombre de 0+ avec les résultats des pêches par enlèvement successif, nous obtenons des densités de 4,7 individus/100 m<sup>2</sup> au Pont de Sorinne, de 2,97 individus/100 m<sup>2</sup> au Bois de Gesves et 12,91 individus/100 m<sup>2</sup> à Aval de l'abbaye. Ceci correspond donc à un pourcentage de recapture faible, à savoir 1,11% au Pont de Sorinne, 0,38% au Bois de Gesves et 2,52% à Aval de l'abbaye. Une explication pour ces faibles taux de recapture est que les alevins de pisciculture n'ont jamais été confrontés à des conditions naturelles et ont probablement été emportés par le courant vers une station en aval du point de déversement. En effet, lors d'une pêche sur une station en aval des points de repeuplement, sept saumons dont quatre 0+ ont été capturés (Tableau 10). En considérant les quatre stations échantillonnées, le taux de recapture global s'élève à 1,26%. Ce chiffre est probablement sous-estimé étant donné que les saumons ont pu se répartir sur l'ensemble du cours d'eau. De plus, l'origine des alevins fait que ceux-ci n'ont jamais été habitués à chasser pour se procurer leur alimentation. Le stade de vie a probablement aussi un rôle à jouer dans l'explication de ces résultats car étant donné leur taille, les alevins de saumons sont des proies potentielles d'autres poissons et animaux ichtyophages.

**Tableau 9 : Pourcentage de recapture des alevins déversés au printemps 2014.**

Station	Nbr déversé	Surface [m <sup>2</sup> ]	densité initiale [ind/100m <sup>2</sup> ]	Nb individus 0+ pêchés	densité pêche [ind/100m <sup>2</sup> ]	%recapture
Pont de Sorinne	1895	444	427	21	4,73	1,11
Bois de Gesves	4992	639,2	781	19	2,97	0,38
Aval de l'abbaye	3407	666	512	86	12,91	2,52
Prairie de Goyet	0	524,4	0,00	4	0,76	
Total						1,26

**Tableau 10: Résultats des captures de la pêche à la station Prairie de Goyet réalisée le 17 septembre 2014**

	nombre de capture			% de capture	Nb estimés	Nb estimés/ha	Biomasse [kg/ha]
	Passage 1	Passage 2	Total				
Truite fario	69	22	91	68	101	2281	59,5
Saumon atlantique	5	2	7	60	8	188	3,7
Chabot	72	48	120	33	216	4865	36,7
Loche	60	40	100	33	180	4054	29,1
Gardon	2	4	6	-100			
Vairon	49	0	49	100	49	1104	6,3
Lamproie de Planer	5	0	5	100	5	113	0,7
Epinoche	0	8	8				
Perche	0	2	2				
Total	262	126	388			12604,3	135,9

## 2.4. Pêche par indice d'abondance

### 2.4.1. Introduction

En rivière, l'estimation des peuplements ichtyologiques se fait essentiellement à l'aide de la technique de pêche électrique par enlèvements successifs sur un tronçon de longueur déterminé. Toutefois cette technique nécessite un investissement important en temps, en matériel et en homme. Or, pour estimer la taille d'une population à l'échelle du cours d'eau ou étudier sa distribution spatiale, le nombre de points d'échantillonnage est généralement le premier facteur déterminant. Ainsi, il est proposé d'appliquer une technique plus légère que la méthode par enlèvement successif, ce qui permettrait de multiplier à moindre coût les stations d'échantillonnage. Prévost et Baglinière ont mis au point en 1995 une méthode d'évaluation ciblant les jeunes saumons atlantiques reposant sur un protocole standardisé de pêche à l'électricité qui permet de fournir des indications d'abondance au niveau d'une station et par unité d'effort. Cette technique offre par ailleurs un gain de temps, de personnel et d'argent. Le protocole standardisé consiste à :

- utiliser un appareil portatif de pêche électrique (de type martin pêcheur ou autre),
- prévoir une équipe de 3 ou 4 personnes (1 anode, 1 ou 2 épuisettes et 1 tine),
- pêcher sur une station pendant 5 minutes effectives (5 minutes pendant lesquelles le courant électrique passe dans l'eau),
- prospecter dans les habitats types du tacon (radier) en progressant latéralement et vers l'amont,
- maximiser les captures à chaque balayage en conservant uniquement les tacons

Cette standardisation vise à assurer une capturabilité identique à chaque opération de pêche. Cependant, la capturabilité ne peut pas toujours être maintenue constante mais certains arguments théoriques contribuent à en réduire la variabilité et font que cette technique se prête bien à l'étude des tacons:

- l'approche est mono-spécifique et ne concerne qu'une seule classe d'âge,
- les tacons sont territoriaux,
- seules des stations homogènes du point de vue de l'habitat sont pêchées,
- les poissons ne sont soumis qu'une seule fois au champ électrique, ce qui évite les problèmes de diminution de capturabilité lors de passages successifs.

Le gain de temps et d'argent que procure cette nouvelle technique est fort appréciable comme le montre Prévost et Baglinière (1995) (Tableau 11).

Tableau 11: Comparaison des méthodes de pêche « classique » et par indice d'abondance.

	Méthode	
	Pêche « classique »	Pêche par indice d'abondance
Nb de stations prospectées	23	23
Temps (jours)	6	3
Personnel	15	4
Nb de véhicules	4	1

En 1999, Prévost et Nihouan ont recherché la relation entre l'indicateur d'abondance et l'estimation des densités par enlèvements successifs. A l'aide de couples de données, ils ont montré qu'il existe une liaison forte entre les indicateurs de captures par unité d'effort et l'estimation des densités qui a été modélisée par:

$$D = A \times I$$

Avec : D : la densité de saumon [N ind/ 100m<sup>2</sup>]

A : le coefficient de proportionnalité

I : l'indicateur d'abondance [N ind/5 mn de pêche]

Le coefficient de proportionnalité de Prévost et Nihouan (1999), varie avec la largeur du cours d'eau (Tableau 12).

**Tableau 12: Différentes valeurs du coefficient de proportionnalité A en fonction de la largeur de la rivière.**

Largeur du cours d'eau	A	Nb de couple de données
<3m	0,869	8
>3m	0,358	44

De plus, il est basé sur un nombre élevé de couples de données. Cependant, ces données ont été récoltées sur des rivières dans le massif armoricain. Le coefficient de proportionnalité n'est donc valable que pour des écosystèmes similaires. Il est donc nécessaire de définir un coefficient adéquat pour les rivières salmonicoles de la région wallonne.

## **2.4.2. Détermination du coefficient de proportionnalité pour les rivières wallonnes**

### **2.4.2.1. L'Ourthe**

Initialement, des pêches électriques étaient prévues en collaboration avec l'appui du SP et le DEMNA (via Christine Keulen) en dates du 20 mai (et/ou 3 juin) et du 16 septembre 2014. Suite à une pollution, la pêche de septembre à Maboge en aval du barrage de Nisramont a été réalisée le 17 juin. Seulement 3 saumons ont été capturés malgré le déploiement de quatre anodes. En conséquence, aucune pêche par point d'abondance n'a été réalisée. En ce qui concerne la (les) autre(s) pêche(s), nous n'avons malheureusement pas été mis au courant de leur réalisation.

### **2.4.2.2. Le Samson**

Afin de définir un coefficient adéquat pour les cours d'eau de la Région Wallonne, il est nécessaire de disposer de couples de données sur plusieurs rivières salmonicoles. Depuis 2011, des pêches par point d'abondance sont réalisées sur le Samson. Celles-ci sont suivies rapidement par des pêches par enlèvements successifs, beaucoup plus invasives pour l'écosystème rivière. Les résultats obtenus depuis le début de l'étude sont présentés dans le Tableau 13. En 2011 et en 2012, les résultats obtenus au Bois de Gesves étaient fort différents. Par contre, les résultats obtenus en 2012 aux deux stations échantillonnées sont proches. En 2013, l'effort de repeuplement est le plus haut depuis que le Samson est repeuplé avec 10 000 alevins relâchés. De ce fait, une troisième station, le « Pont de Sorinne » a pu être échantillonnée lors des pêches de contrôle automnales. Cet effort a été maintenu en 2014. Les valeurs de coefficient montrent toujours de fortes différences entre station et entre années. Ainsi, après 4 années de suivi, nous disposons de 9 couples de données pour le Samson. Le coefficient du Samson peut être retenu comme 1,37.

Au vu des résultats variables d'année en année sur une seule rivière et comme les rivières de la Région Wallonne diffèrent toutes les unes des autres, ce coefficient n'est pas représentatif à la l'échelle de la région. A l'instar du Samson, il faudrait définir un coefficient de proportionnalité propre à chaque cours d'eau. C'est dans cette optique que des pêches devaient être organisées sur l'Ourthe. Malheureusement, le manque de données ne nous permet pas de calculer un indice.

Il serait intéressant de renouveler ces pêches sur l'Ourthe et d'organiser des pêches supplémentaires sur d'autres rivières annuellement repoissonnées en saumon atlantique comme la Lesse.

**Tableau 13: Résultats des pêches par indice d'abondance (PIA) et par enlèvements successifs (PES) pour le calcul du coefficient de proportionnalité A.**

Année	Station	Date PIA	Date PES	PIA [Ind/5 min]	PES [Ind/ 100m <sup>2</sup> ]	Coefficient de proportionnalité A
2011	Bois de Gesves	13/09	19/09	5	11,15	2,23
2012	Bois de Gesves	17/09	18/09	6	9,13	1,52
	Aval de l'abbaye	10/10	8/11	8	11,2	1,40
2013	Bois de Gesves	13/09	18/09	8	7,82	0,98
	Aval de l'abbaye	13/09	20/09	18	15,57	0,87
	Pont de Sorinne	16/09	18/09	4	4,8	1,20
2014	Bois de Gesves	15/09	16/09	5	6,68	1,34
	Aval de l'abbaye	15/09	15/09	9	15,08	1,68
	Pont de Sorinne	15/09	17/09	6	5,21	0,87
	Ourthe Maboge	17/06	3	/	/	/
	Moyenne					1,37

**3. Encadrement scientifique de l'élevage de saumons de souche Cong et Loire-Allier en Région wallonne.  
(UNamur)**

### 3.1. Introduction

La smoltification permet aux espèces de salmonidés anadromes de survivre à la transition d'un environnement dulcicole vers un environnement marin (McCormick, 2009). De nombreux processus complexes, à la fois morphologiques, physiologiques et comportementaux y sont associés tout au long de la dévalaison (McCormick *et al.*, 1998 ; Stefansson *et al.*, 2008). C'est par l'intermédiaire du système endocrinien que les facteurs environnementaux, principalement la température et la photopériode, influencent les changements associés à la smoltification et à la dévalaison (McCormick, 2009 ; Björnsson & Bradley, 2007).

A ce jour de nombreuses hormones jouant un rôle dans le processus de smoltification sont connues. Un timing précis de la dévalaison permet l'arrivée simultanée en mer des smolts de différentes populations au pic de smoltification, appelée fenêtre physiologique des smolts, au moment le plus propice à leur survie, correspondant à la fenêtre écologique des smolts, (McCormick *et al.*, 1998). D'autres indicateurs de smoltification sont également connus dans la littérature comme le coefficient d'embonpoint, l'osmolalité ou encore la concentration plasmatique en ions. Le plus reconnu de ces indicateurs est l'activité  $\text{Na}^+\text{K}^+\text{ATPase}$  des branchies représentant l'acquisition du caractère d'euryhalinité.

### 3.2. Matériel et méthode

La relation entre la longueur et le poids pour les smolts de repeuplement a été établie. Elle est de la forme :

$$P = a \times L^b$$

Le symbole  $b$  représente le taux d'allométrie. Habituellement, il est compris entre 2 et 4. S'il est égal à 3, cela signifie que la croissance est isométrique, c'est-à-dire que le poids augmente aussi vite que la taille. Si  $b < 3$ , la taille augmente plus vite que le poids et si  $b > 3$ , le poids augmente plus rapidement que la taille (Didier & Micha, 1996). Les coefficients  $a$  et  $b$  varient entre espèces et entre populations d'une même espèce. De plus, ils sont fonction de variations individuelles et saisonnières. Cela comprend la disponibilité en nourriture, le sexe et l'état de maturation (Ricker, 1971).

Le facteur de condition, aussi appelé le coefficient de condition ou d'embonpoint, est un concept dérivé de la croissance pondérale. Il nous permet de savoir si un individu est en bonne ou en mauvaise condition. Ce facteur ( $K$ ) est défini pour chaque poisson par le rapport de sa masse ( $P$ ) en gramme au cube de sa longueur ( $L$ ) en centimètres (Hile, 1936). Généralement, ce quotient est multiplié par une puissance de 10, définie en fonction des unités choisies pour la masse et la longueur, afin de ramener la valeur du facteur de condition à un nombre voisin de l'unité :

$$K = \frac{P}{L^3} \times 10^2$$

Comme l'on considère que, pour un poisson idéal, la masse est proportionnelle au cube de sa longueur,  $K$  nous permet de comparer un poisson réel avec le poisson idéal théorique.

$$P = a \times L^3$$

Rappelons que l'étude de ce facteur est intéressante à plusieurs niveaux. Tout d'abord, il sert à comparer des populations monospécifiques vivant dans des conditions apparemment similaires ou différentes. Ensuite, il permet de suivre l'altération du milieu et l'accroissement et le déclin du nourrissage (Micha, 1980).

### 3.2.1. Osmolalité et concentration plasmatique en ion sodium et potassium

L'osmolalité plasmatique a été dosée avec un osmomètre (Löser Osmometer Type 6) fonctionnant selon l'effet Peltier. Le principe du dosage est basé sur la détermination du point de congélation par cryoscopie. En effet, 1 milliosmole de soluté par kilogramme d'eau abaisse le point de congélation de 1,858 millidegrés celsius. Pour chaque dosage, 100µl de plasma sont placés dans un microtube. Nous avons dosé l'osmolalité chez tous les individus.

La concentration plasmatique en ions sodium et potassium a été mesurée par spectrophotométrie d'absorption atomique. Cette technique se base sur l'absorption de photons par des atomes à l'état fondamental. L'absorption des radiations électromagnétiques des régions visibles et UV du spectre par les atomes libres résulte d'un changement dans la structure électronique. On l'observe lorsque la radiation caractéristique d'un élément passe dans un nuage de vapeur atomique de l'échantillon. Dans notre cas, l'échantillon est vaporisé par aspiration de la solution dans une flamme. La différence d'intensité du rayon lumineux avant et après le passage par l'échantillon, nous permet de calculer la concentration de l'élément choisi. Un volume connu (50µl) de plasma a été déposé au fond d'un creuset et calciné pendant 12h dans un four à moufle chauffant à 450°C. Les cendres ont alors été resuspendues dans 2ml d'acide chlorhydrique 1M (+ 1,266g de chlorure de césium par litre). Cette solution a ensuite été diluée pour cadrer avec une droite d'étalonnage et passée à la flamme d'un spectrophotomètre à absorption atomique.

### 3.2.2. Activité NaK-ATPases branchiales

Le dosage proposé ici est basé sur la diminution d'un composé, le NADH, couplé à l'activité de l'enzyme. La lecture par spectrophotométrie de la variation de l'absorbance de ce composé par unité de temps en présence et en l'absence d'un inhibiteur spécifique des NaK-ATPases, l'Ouabaïne, nous permet de distinguer l'activité des NaK-ATPases de l'activité totale des ATP-ases. La méthodologie utilisée se réfère au protocole déjà utilisé lors de la dernière étude mais transposé pour fonctionner en plaque 96puits (Greiner F-Bottom 96) basée sur l'article de McCormick (1993).

La formule qui permet de calculer les activités à partir des variations d'absorbances est :

$$\frac{\Delta DO_{éch} * dilution * 2}{6,22 * temps * volume_{hg}} = \text{activité par gr de tissus (U/gr)}$$

avec 6,22 = coefficient d'absorption du NADH.

La quantité de protéines totales contenue dans un homogénat de branchie pour chaque échantillon a été déterminée par un dosage de Pierce (Smith *et al.*, 1985) en duplicat. Cela permet ainsi de déterminer l'activité spécifique de la Na<sup>+</sup>K<sup>+</sup> ATP-ase.

### 3.2.3. Dosage des hormones plasmatiques

#### 3.2.3.1. Dosage de l'insulin-like growth factor-1 (IGF-1) plasmatique

Le dosage de l'IGF-1 a également été effectué grâce à un kit ELISA (CUSABIO). Grâce à ce kit, une mesure quantitative est possible à partir d'un échantillon de plasma sur base d'une réaction immuno-enzymatique compétitive. Le principe se base sur la compétition inhibitrice entre l'IGF-1 de l'échantillon et celui conjugué à la Horse Radish Peroxydase (HRP) pour la liaison avec des anticorps monoclonaux dirigés contre un antigène spécifique de l'IGF-1. Après incubation, le conjugué non lié est éliminé et la quantité de ceux liés est inversement

proportionnelle à la concentration d'IGF-1 contenu dans l'échantillon. Suite à l'addition d'une solution substrat, l'intensité de la coloration obtenue est inversement proportionnelle à la concentration d'IGF-1 présent dans l'échantillon. La lecture de la plaque a été réalisée grâce à un spectrophotomètre (FLUOstar Omega de BMG Labtech) à 450nm. Les limites du dosage sont comprises entre 0,08 et 2 ng/ml.

### **3.2.3.2. Dosage de l'hormone de croissance (GH) plasmatique**

Le dosage de la GH a été effectué grâce à un kit ELISA (CUSABIO) selon un principe similaire à celui des autres dosages hormonaux. Seulement, dans ce cas de figure, l'antigène se trouve entre 2 anticorps spécifiques (ELISA en sandwich). Les limites du dosage sont comprises entre 1,56 et 50 ng/ml.

### **3.2.3.3. Dosage des hormones thyroïdiennes T3 et T4**

Le dosage des hormones thyroïdiennes a été réalisé par l'équipe du professeur Veerle Darras du laboratoire d'endocrinologie comparative de la KU Leuven par la méthode de Radioimmunoassay (RIA). Dans les tubes contenant le plasma, une compétition entre hormones marquées et hormones contenues dans le plasma va s'opérer. Cette compétition va tendre vers un équilibre. À ce stade, nous mesurons la radioactivité des échantillons. Ainsi en connaissant la radioactivité totale et la radioactivité résiduelle, on peut connaître la fraction d'hormones liées aux anticorps spécifiques. Grâce à la courbe standard, il est alors possible de déterminer la concentration d'hormones dans notre échantillon. Suite au grand nombre d'échantillons à analyser, et au volume important nécessaire au dosage (50-100µl) il a fallu choisir lesquels mesurer en RIA. Il n'a donc pas été possible de mesurer les concentrations en hormones T3 et T4 des échantillons de terrain

### **3.2.4. Analyses statistiques**

Les analyses statistiques ont été réalisées par ordinateur avec le logiciel R 3.0.3.

Concernant les résultats des échantillons issus des tests en laboratoire, une analyse préliminaire a été nécessaire pour déterminer l'effet du bassin au niveau de chaque paramètre. Pour cela, des ANOVA 2 hiérarchisées Souche-Bassin ainsi que des ANOVA 1 pour chaque souche ont été effectuées. Grâce à ces analyses, nous avons montré que l'effet bassin pouvait être écarté dans la suite des analyses et nous avons pu considérer chaque smolt comme un réplica par souche.

Pour la suite des analyses statistiques :

- Une ANOVA 3 croisée fixe Souche-Circuit-Date a été réalisée pour déterminer si le moment du saut de température (assimilé au circuit) avait un effet sur la réponse des smolts.
- Une Anova 2 croisée fixe Souche-Date a été réalisée sur les échantillons de salinité issus du circuit T1 pour trouver le moment de smoltification des deux souches en conditions mimant les conditions naturelles.
- Une Anova 2 croisée fixe Souche-Circuit a été réalisée sur les échantillons de salinité issus du troisième test de salinité pour déterminer si les souches sont au même stade physiologique en fonction des conditions dans lesquelles elles ont été élevées.
- Une Anova 1 a été réalisée sur les échantillons de terrain de Méry pour déterminer le comportement naturel des poissons.
- Une Anova 2 croisée fixe Lieu-Date a été réalisée sur les échantillons de Méry et de Méry contrôle pour déterminer si la manipulation des poissons avait un effet.
- Une Anova 2 croisée fixe Lieu-Date a été réalisée sur les échantillons du système Méry-Lixhe pour déterminer si le saut de température a un impact sur la réponse physiologique des poissons.

Pour chacune des ANOVA effectuées, la normalité des résidus ainsi que l'homoscédasticité ont été mesurées. Pour tester la normalité, le test de Shapiro a été utilisé. Si elle était présente, les paramètres ayant deux modalités ont subi un test de Fisher pour l'homoscédasticité et ceux ayant plus de deux modalités ont subi un test de Hartley pour un plan équilibré des données ou un test de Bartlett pour un plan de distribution déséquilibré des données. Si la normalité des résidus n'était pas respectée, le test d'homoscédasticité était celui de Fligner. Comme l'ANOVA est robuste à la non-normalité, si l'homoscédasticité était correcte et que la modification des données n'a pas amélioré le résultat de la normalité, les données ont été conservées pour réaliser les analyses statistiques.

### 3.3. Comparaison de marqueurs de smoltification ( $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase, facteurs endocriniens, osmolalité, concentration plasmatique en ions) des smolts dévalant à deux points de contrôle de niveaux différents de température : à Méry par piégeage et Lixhe par essais de pêches électriques et au filet maillant

#### 3.3.1. Description de l'expérience et des prélèvements

Tout au long de la saison de dévalaison, une à deux fois par semaine, des prélèvements ont été effectués sur le terrain. Deux stations d'échantillonnage étaient prévues, dont la première est le piège à la dévalaison de MéryTherm sur l'Ourthe. Le deuxième point de prélèvement se trouve à hauteur du barrage de Lixhe. Pour rappel, le piège à dévalaison n'est plus fonctionnel car la turbine alimentant le piège est en cours de remplacement. De plus, vu les difficultés de mise en place de pêches électriques et aux filets et la probabilité faible de capture de smolts, une solution alternative a été préférée. A trois reprises, une vingtaine de smolts ont été transférés du piège de Méry vers un bassin circulaire de 2m de diamètre placé sur le site de la nouvelle échelle à poissons de Lixhe. Le transport s'est effectué le plus vite possible et la cuve de transport était alimentée en oxygène. Le bassin de réception à Lixhe était alimenté continuellement avec l'eau de la Meuse par une pompe vide-cave et un trop-plein au centre du bassin permettait un renouvellement d'eau constant. L'arrivée d'eau était positionnée de façon à créer un courant circulaire dans le bassin. Afin de s'assurer que les résultats montrent bien l'effet du saut de température et non pas le stress du transfert à Lixhe, une cage a été déposée dans un radier à Méry avec des saumons provenant du piège à la dévalaison. Le positionnement de la cage était tel que le courant d'eau assurait une oxygénation optimale des saumons. La température de l'eau était mesurée lors des prélèvements (Figure 15). Trois jours après le transfert, soit le temps calculé pour que les smolts parcourent la distance séparant Méry et Lixhe, nous avons prélevés les smolts du bassin à Lixhe, les témoins de Mérytherm conservés dans la cage et des smolts nouvellement capturés dans le piège à dévalaison.

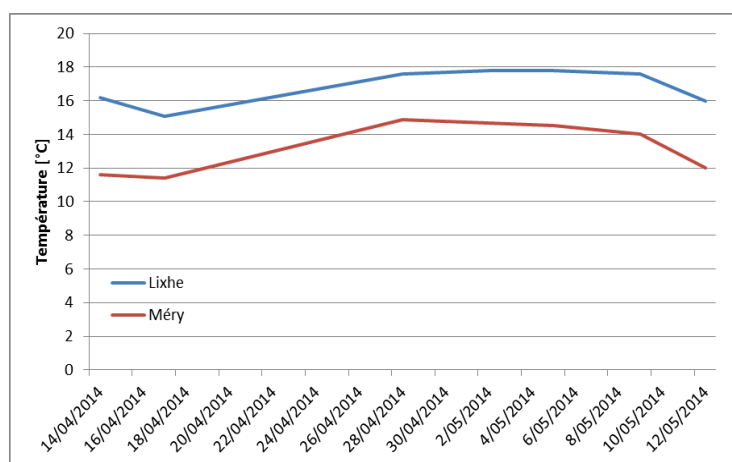


Figure 15: Températures mesurées à Méry et Lixhe au cours de la dévalaison au printemps 2014.

Une fois anesthésié au MS222 (120mg/L), le sang a été récolté par ponction dans la veine caudale à l'aide de seringues héparinées et conservé sur glace jusqu'à la fin des prélèvements. La prise de sang était effectuée en moins de cinq minutes afin de limiter l'effet du stress sur les variables à mesurer. Directement après les prélèvements, le sang a été centrifugé (5 min à 3000g), afin de limiter l'hémolyse remarquée lors de l'étude précédente. Pour finir le plasma a été aliquoté, stocké sur glace durant le transport et conservés à -80°C jusqu'aux différents dosages. Après dislocation des cervicales, la biométrie des individus échantillonnés à MéryTherm et Lixhe a été effectuée. Le premier arc branchial du côté gauche et droit a été prélevé et directement plongés dans un bain d'azote liquide. Le foie a également été prélevé et stocké temporairement dans l'azote liquide tout comme les branchies. Pour finir, un morceau de gonade a été excisé et conservé sur glace pour la détermination du sex-ratio par squash gonadique après coloration au carmin-acétate. Tous les tissus prélèvements ont ensuite été conservés à -80°C jusqu'aux différents dosages.

### 3.3.2. Résultats

Il est à noter que le vivier de Méry Contrôle a été emporté une fois par le courant. Nous ne disposons donc pas d'échantillons en date du 09 mai pour Méry Contrôle. En investiguant l'effet du stockage en vivier (Méry CTL) nous observons un effet significatif sur trois des paramètres étudiés, à savoir l'osmolalité et la concentration plasmatique en sodium et en potassium (Tableau 14 première partie). Par ailleurs, un effet significatif de la date sur l'activité NaK ATPase et sur la concentration plasmatique en IGF-1 a pu être mis en évidence. L'interaction significative du stockage et de la date sur la concentration plasmatique en sodium signifie que l'effet du stockage n'est pas le même en fonction des différentes dates. Le lieu et la date d'échantillonnage (Tableau 14 deuxième partie) ont un effet significatif sur trois paramètres, l'activité NaK ATPase et sur les concentrations plasmatiques en sodium et en potassium. L'interaction entre le lieu et la date montre un effet sur l'activité NaK ATPase et sur la concentration plasmatique en potassium et signifie que l'effet du lieu varie en fonction de la date.

Tableau 14. Résultats des analyses statistiques menées sur les échantillons de terrain issus de Méry, de Lixhe et de Méry CTL.

Effet de la condition de stockage ?							
	Paramètre étudié						
	Facteur de condition K	Activité NaK ATPase	Osmolalité	Concentration plasmatique			
				Sodium	Potassium	GH	IGF-1
Stockage			0,0309	7,95 <sup>E</sup> -7	0,000762		
Date		0,015					0,00372
Stockage:Date				0,0107			
Effet du choc de température ?							
	Paramètre étudié						
	Facteur de condition K	Activité NaK ATPase	Osmolalité	Concentration plasmatique			
				Sodium	Potassium	GH	IGF-1
Lieu		0,000106		0,00153	5,7 <sup>E</sup> -6		
Date		0,005412		0,036	5,49 <sup>E</sup> -5		
Lieu:Date		0,013618			0,0324		

### 3.3.2.1. Profil de dévalaison

En 2014, la période de dévalaison des smolts de l'Ourthe s'étend du 10 mars et le 30 mai (Figure 16). Le nombre de smolts dévalant augmente fortement une fois que la température atteint 5°C et culmine le 22 avril avec plus de 600 individus. Les taux maximum de dévalaison ont été enregistrés avec des températures dépassant 10°C. Une période de crue début mai a renversé le vivier (Méry Contrôle) et a probablement impacté l'efficacité du piège.

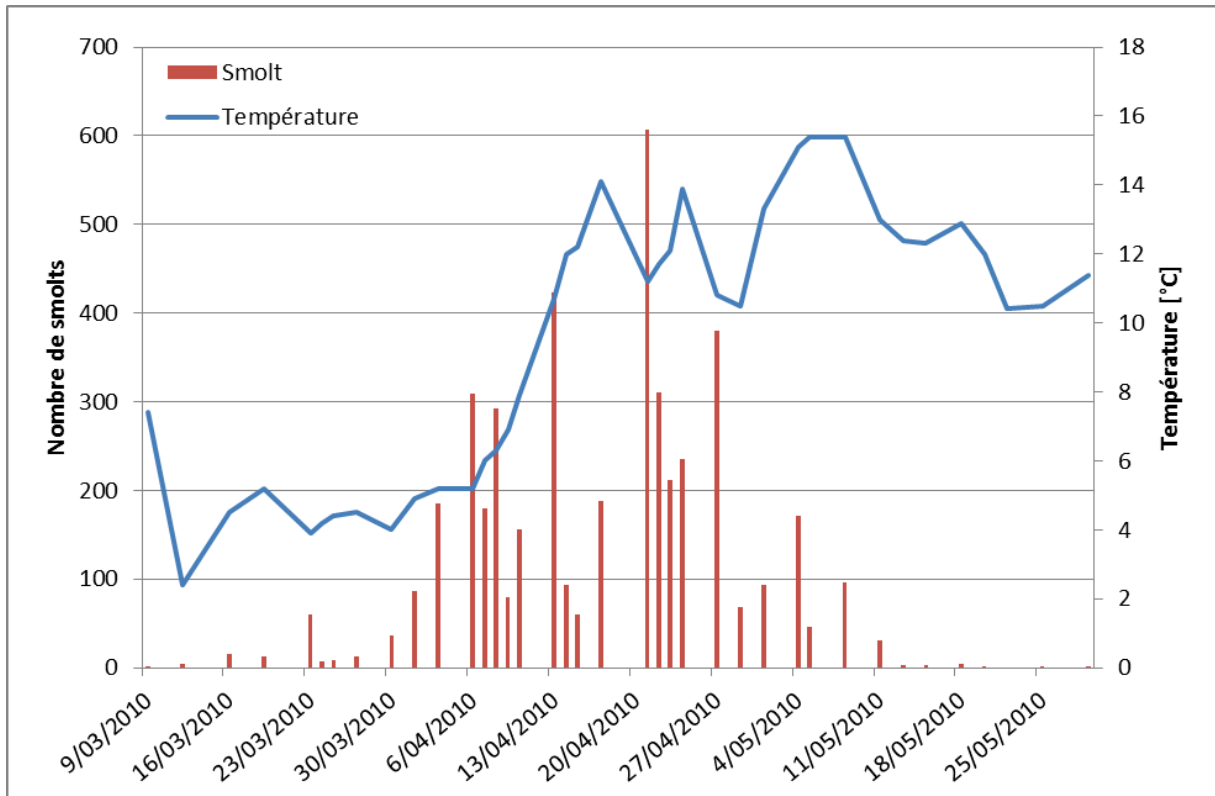


Figure 16: Fréquence de dévalaison des smolts et température de l'Ourthe à Méry au printemps 2014 (ULg, Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie).

### 3.3.2.2. Relation poids-longueur et facteur de condition

La relation poids-longueur montre un type de croissance allométrique négative avec l'indice  $b = 2,7$  (Figure 17). Toutefois, le coefficient d'embonpoint moyen (0,77) montre que les smolts à Méry sont en bonne condition et laisse supposer que les ressources alimentaires sont présentes en suffisance (Figure 18). Le facteur de condition ne varie pas entre les lieux d'échantillonnage à la seule exception du 2 mai ( $p=0,014$ ). C'est la seule date où le stockage (Méry contrôle) montre un effet sur le facteur de condition (0,025). Le K moyen vaut 0,79 à Méry Contrôle et 0,77 à Lixhe. Toutefois, les smolts prélevés à Méry Contrôle montrent une croissance isométrique ( $b = 3$ ) et même allométrique positive à Lixhe ( $b=3,2$ ).

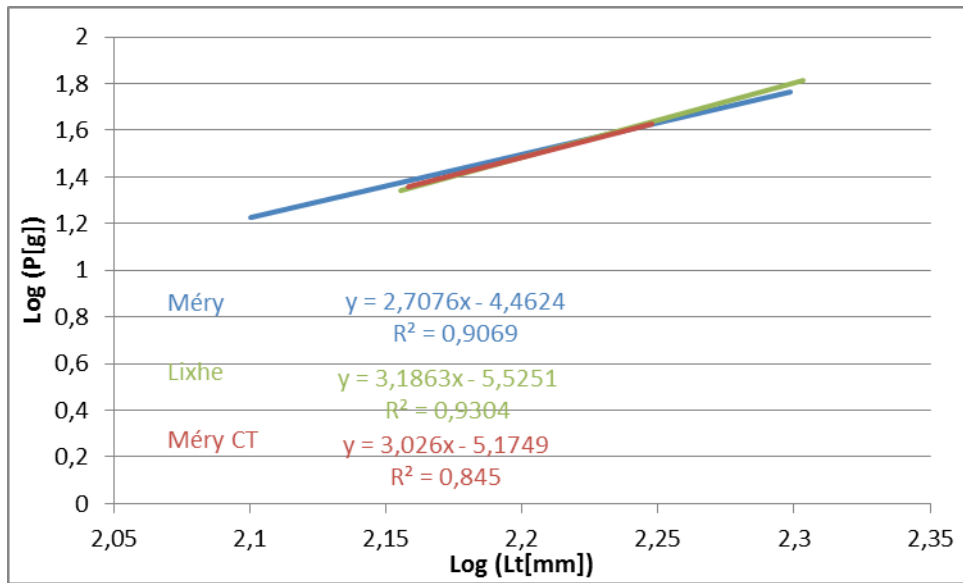


Figure 17: Relation poids-longueur des smolts au piège de Méry au cours du printemps 2014 (N=6 par date).

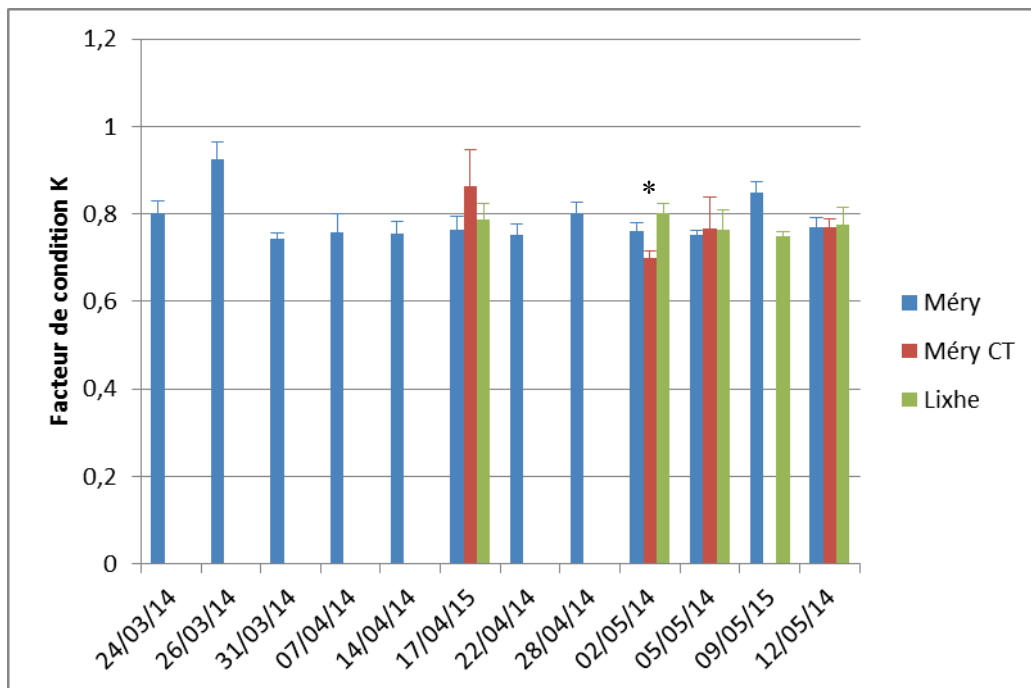


Figure 18 : Profil du facteur de condition des smolts au cours du printemps 2014 à Méry (N=6 par date).

### 3.3.2.3. Osmolalité plasmatique et concentration en ions sodium et potassium

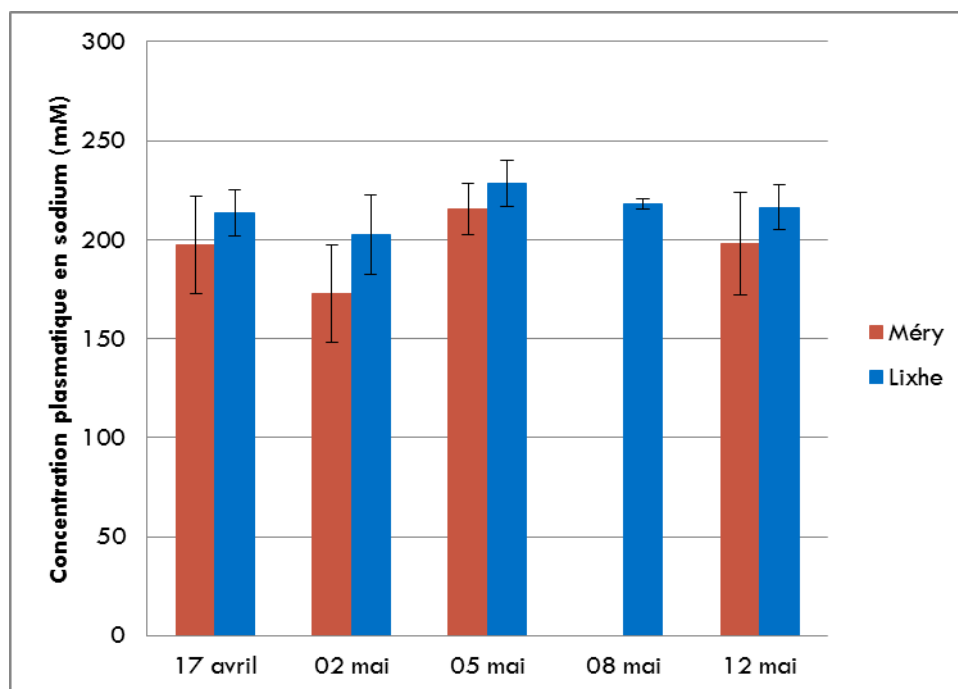
Les smolts de Méry Contrôle ont une osmolalité plasmatique significativement ( $P=0,036$ ) supérieure à celle des smolts de Méry seulement à la date du 2 mai. Les valeurs d'osmolalité pour les échantillons de Méry sont proches de 340 mOsm/kg H<sub>2</sub>O. Par contre, les valeurs d'osmolalité pour les échantillons de Méry Contrôle varient entre des valeurs inférieures à 300 mosm/kg H<sub>2</sub>O (02 mai) et des valeurs proches de 350 mOsm/kg H<sub>2</sub>O. Aucun effet significatif de l'osmolalité n'est observé entre les échantillons issus de Lixhe et ceux issus de Méry. On observe une différence significative entre les échantillons de Méry Contrôle et ceux de Méry le 02 mai ( $p = 0,0002$ ) pour la concentration plasmatique en sodium. Elle présente également une différence significative pour les échantillons de Méry entre le 17 avril et le 02 mai ( $p= 0,037$ ) et entre le 02 mai et le 12 mai ( $p= 0,032$ ). La concentration plasmatique en sodium est maximale le 02 mai (250 mM) et minimale les 17 avril et 12 mai (220 mM). Les échantillons de Méry Contrôle ne présentent pas de différences significatives en fonction de la date du prélèvement et sont compris entre 170 mM et 200 mM. La concentration

plasmatique en potassium varie significativement entre les échantillons de Méry Contrôle et de Méry le 02 mai ( $p= 0,027$ ) et le 12 mai ( $p= 0,011$ ). Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence en fonction de la date de prélèvement au sein de chaque condition de stockage.

La concentration plasmatique en sodium (Figure 19) ne varie pas de façon significative entre les échantillons de Lixhe et de Méry ni en fonction de la date au sein de chaque lieu de prélèvement. Les valeurs de concentration plasmatique en sodium oscillent entre 200 et 215 mM pour les échantillons de Lixhe et entre 170 et 205 pour les échantillons de Méry. En ce qui concerne la concentration plasmatique en potassium, on n'observe pas de différences significatives entre les dates de prélèvement pour les échantillons de Méry mais, à Lixhe, la concentration en potassium est significativement plus élevée le 05 mai (Tableau 15). La comparaison entre les données de concentration plasmatique en potassium pour les deux lieux de prélèvement montre une différence significative le 05 mai (Lixhe : 5,82 mM et Méry : 4,09 mM) et le 12 mai (Lixhe : 3,84 mM et Méry : 3,16 mM) (Figure 20).

**Tableau 15. Résumé des différences significatives observées au niveau de la concentration plasmatique en potassium pour les échantillons de Lixhe.**

	05 mai
17 avril	0,00069
02 mai	0,0285
08 mai	0,0078
12 mai	0,00069



**Figure 19 : Suivi de la concentration plasmatique en sodium au cours de la saison de dévalaison 2014 à Méry et Lixhe (N= 6 par date).**

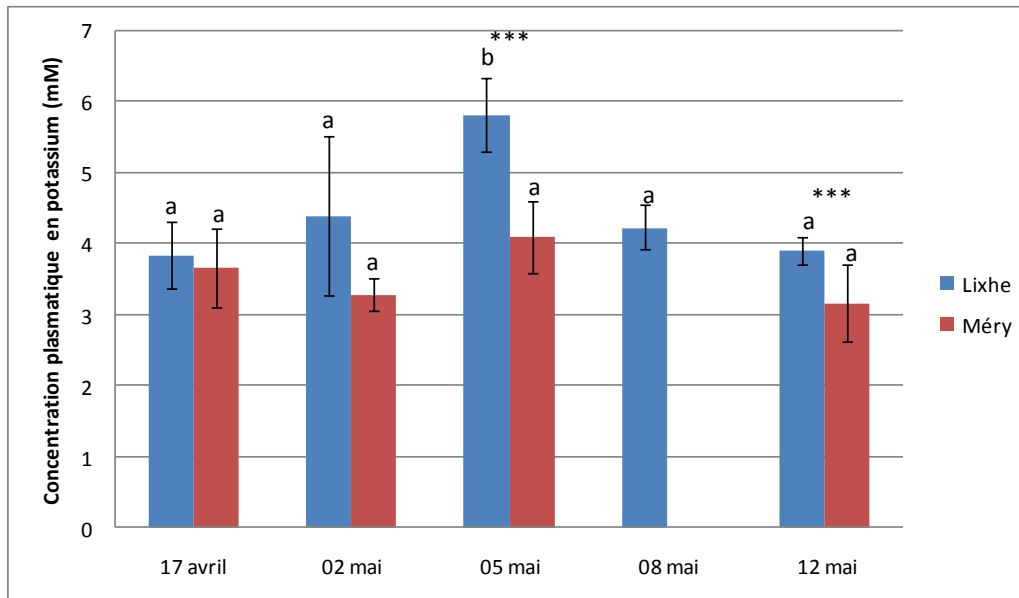


Figure 20 : Suivi de la concentration plasmatique en potassium au cours de la saison de dévalaison 2014 à Méry et Lixhe. Les lettres présentes sur ce graphique permettent de réaliser des comparaisons entre les dates de prélèvement pour un seul lieu de prélèvement. Les astérisques permettent de comparer les valeurs des deux lieux de prélèvements pour une date donnée (N= 6 par date).

### 3.3.2.4. Activité NaK-ATPases branchiales

L'activité NaK ATPase évolue significativement au cours du temps aux trois points d'échantillonnage (Figure 21). L'activité entre Méry et Méry CTL n'est différente que lors du premier échantillonnage le 17 avril. C'est à cette date que l'activité la plus élevée a été mesurée (21,5  $\mu\text{mol ADP/mg prot.h}$ ). Pour les échantillons de Méry, on observe deux pics d'activité au cours de la saison de smoltification. Le premier pic se déroule le 7 avril (21,1  $\mu\text{mol ADP/mg prot.h}$ ) et le deuxième s'étend du 2 mai au 5 mai (18,3 et 18,1  $\mu\text{mol ADP/mg prot.h}$ ). A partir du 8 mai, on observe une diminution de l'activité. Cette diminution est plus marquée chez les smolts prélevés à Lixhe et débute déjà le 5 mai. Lors du dernier prélèvement, l'activité de la NaK ATPase des smolts à Lixhe n'est plus que de 8,8  $\mu\text{mol ADP/mg prot.h}$  et près du double pour les smolts de Méry et Méry CTL (15,1 et 17,4  $\mu\text{mol ADP/mg prot.h}$ ).

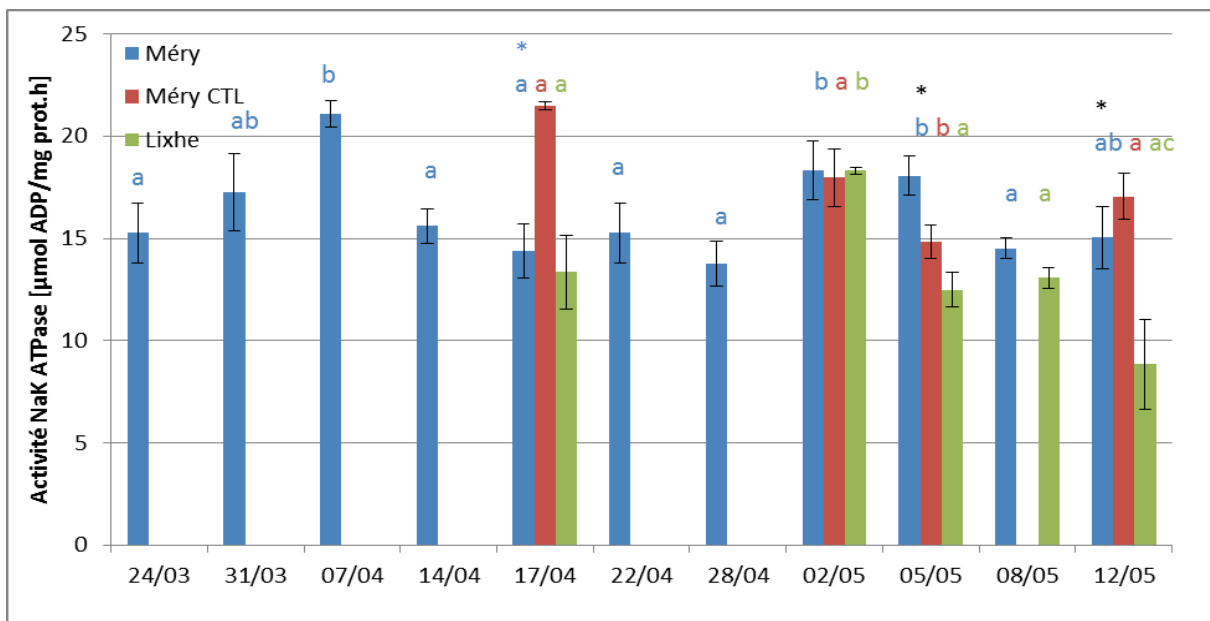


Figure 21 : Histogramme de l'activité de la Na/K ATPase des smolts de Méry CTL et Lixhe au cours de la saison de dévalaison 2014. Les lettres présentées sur ce graphique permettent de réaliser des comparaisons entre les dates de prélèvement pour un seul lieu de prélèvement (N=4 par date par lieu).

### 3.3.2.5. Suivi des concentrations plasmatique en différentes hormones

Aucune différence significative dans la concentration plasmatique en GH n'a été observée entre Méry, Méry Contrôle et Lixhe ni entre les dates de prélèvement pour les différents lieux. Les résultats varient entre 5,7 et 6,9 ng/ml (Figure 22).

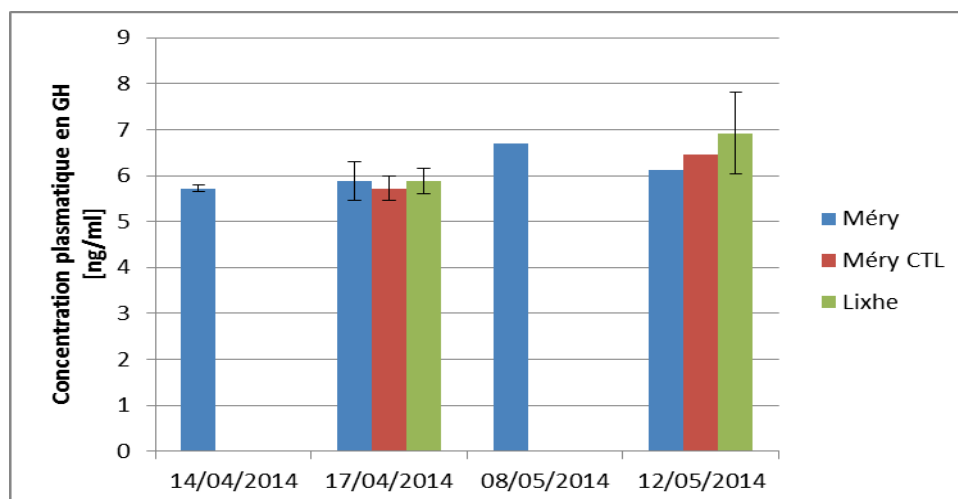


Figure 22: Concentration plasmatique en GH des smolts capturés à Méry et Lixhe au printemps 2014.

La concentration plasmatique en IGF-1 diminue au cours du temps ( $p = 0,003$ ) pour les échantillons de Méry (Figure 23). La concentration plasmatique en IGF-1 diffère significativement entre le 14 avril et les deux dates en mai (respectivement  $p = 0,02$  et  $0,004$ ) et la concentration du 17 avril diffère de celle du 12 mai ( $p = 0,031$ ). Les concentrations plasmatiques en IGF-1 sont légèrement plus élevées pour les échantillons de Méry (11,8 et 9,2 ng/ml) par rapport aux échantillons de Méry (11,0 et 9,0 ng/ml) mais ne diffèrent pas significativement.

Notons la diminution marquée à Lixhe en date du 17 avril par rapport aux valeurs à Méry ( $p = 0,01$ ). On peut voir une tendance similaire émerger entre Méry CTL et Lixhe pour la même date ( $p = 0,07$ ). Une tendance à la diminution est également observable entre le 17 avril et le 12 mai pour les échantillons de Méry CTL ( $p = 0,06$ ). Les valeurs à Lixhe restent stables au cours du temps (9,1 et 9,5 ng/ml).

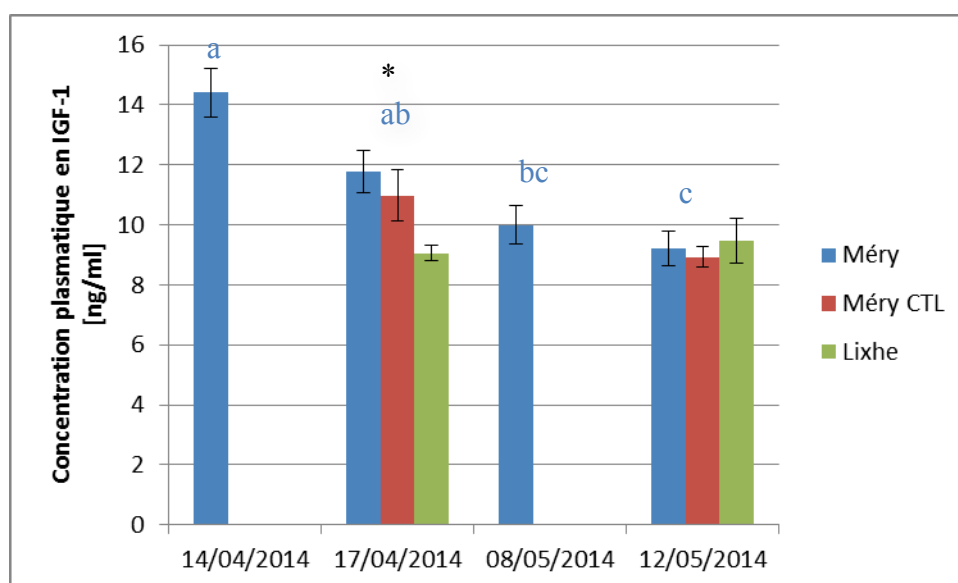


Figure 23: Concentration plasmatique en IGF-1 des smolts capturés à Méry et Lixhe au printemps 2014.

### 3.3.2.6. Discussion

L'objectif de cette tâche était de vérifier l'influence du saut de température entre l'Ourthe et la Meuse sur la qualité physiologique des smolts lors de leur dévalaison.

Les valeurs moyennes de l'activité NaKATPasique branchiale mesurée montrent un effet du saut de température marqué par une diminution de l'activité à Lixhe. Comme ce facteur est considéré dans la littérature comme un des plus fiable pour juger de l'état de smoltification (McCormick *et al.*, 1998), nos résultats corroborent notre hypothèse que l'augmentation de la température influence la smoltification.

Lors du suivi en milieu naturel, des différences concernant le type de croissance ont également été observées, notamment, les smolts prélevés à Lixhe et à Méry Contrôle ont montré une croissance de type allométrique positive tandis que ceux prélevés à Méry avaient une croissance de type allométrique négative. L'allongement général du corps des saumons au cours de la smoltification est connu dans la littérature depuis longtemps (Hoar, 1939a; Martin, 1949; Houston & Threadgold, 1963; Vanstone & Markert, 1968; Fessler et Wagner, 1969, Hoar, 1988). Un changement de type de croissance entre les smolts de Méry et de Lixhe pourrait être un effet négatif sur la smoltification suite au saut de température bien que ce changement se soit alors produit très rapidement. Vu le faible nombre de poissons échantillonnés, entre autre suite à une mortalité élevée dans le bassin de Lixhe, il se peut que cette observation reflète simplement la survie des smolts ayant le plus de réserves.

Les résultats du dosage de la GH ont montré des problèmes. En effet, plusieurs valeurs étaient en dehors de la courbe. Du fait du nombre très variable (parfois une seule valeur disponible par date), il est difficile d'interpréter les résultats. L'étude spécifique des facteurs endocriniens qui suivra apportera probablement de plus amples informations.

Des injections ont montré que le développement de la tolérance à la salinité est sous le contrôle du cortisol, de la GH et de l'IGF-1 (McCormick *et al.*, 2001; Stefansson *et al.*, 2008). De plus, il est connu que les hormones de croissance GH et IGF-1 augmentent au cours du printemps pendant la smoltification (McCormick *et al.*, 2000). Une diminution de la tolérance à la salinité avait été attribuée à la diminution de la concentration en IGF-1 suite à une contamination à un polluant (McCormick *et al.*, 2005). Dans notre étude, l'IGF-1 montre clairement une diminution suite au transfert des smolts de Méry à Lixhe à la mi-avril. En mai, nous n'avons pas observé de différence ce qui pourrait signifier que la concentration en IGF-1 tend à diminuer en fin de smoltification et que le saut de température a précipité ce phénomène.

### **3.4. Evaluation du statut physiologique (mêmes marqueurs qu'au point 3.3) des saumons non-dévalant après la saison de smoltification par des pêches sur l'Ourthe (cfr pêches DEMNA en mai-juin et septembre 2014, point 2.4).**

Afin de capturer des saumons non-dévalant, des pêches électriques étaient prévues en collaboration avec l'appui du SP et DEMNA (via Christine Keulen) en dates du 20 mai (et/ou 3 juin) et du 16 septembre 2014. Comme précisé précédemment dans ce rapport, suite à une pollution, la pêche de septembre à Maboge en aval du barrage de Nisramont a été réalisée le 17 juin. Le nombre de saumons capturés n'a pas permis d'échantillonnage. En ce qui concerne la(les) autre(s) pêche(s), nous n'avons pas été informés des déroulements malgré notre demande à l'être. Il n'est donc pas encore possible de faire le point sur la qualité de ces groupes de jeunes saumons non-dévalant.

### 3.5. Comparaison de marqueurs de smoltification (mêmes marqueurs qu'au point 3.3) et résistance à la salinité de deux souches de saumon au cours de la smoltification en conditions thermiques mosanes simulées en milieu contrôlé (circuit expérimental UNamur)

#### 3.5.1. Description chronologique de l'expérience et de prélèvements

Le 24 février 2014, des saumons atlantique ont été transportés depuis la salmoniculture du Service de la Pêche (SPW) à Erezée jusque dans des bassins de stabulation dans un laboratoire humide de l'URBE à l'UNamur (Figure 24). Deux souches différentes, Loire-Allier (N = 650, poids moyen 24,09 g) et Cong (N = 650, poids moyen 23,01 g), ont chacune été réparties équitablement dans trois circuits de six bassins (trois bassins par souche par circuit). La concentration en oxygène dissous a été rigoureusement contrôlée quotidiennement et maintenue au-delà d'un seuil minimum de 8 mg/L pour répondre aux exigences d'oxygénation de l'espèce étudiée. Une photopériode naturelle simulée basée sur la latitude de Namur a été maintenue tout au long de l'expérience.

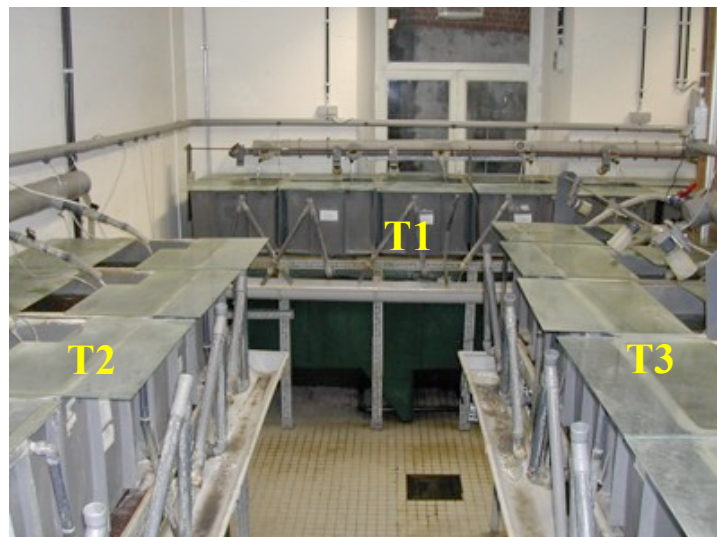


Figure 24 : Visualisation des conditions de stockage des saumons lors de l'étude en laboratoire.

Chacun des trois circuits a suivi une courbe de température spécifique (Figure 25). Le premier régime thermique mimait une rivière salmonicole et est basé sur une décennie de données sur l'Aisne. Le deuxième régime thermique mimait une dévalaison précoce amenant les smolts à une température mimant celle de la Meuse au mois d'avril. Ce faisant, les smolts ont subi un saut thermique de 10°C à 15°C. A nouveau, la température appliquée est basée sur une décennie de données sur la température de la Meuse. Le troisième régime thermique mimait une dévalaison plus tardive avec une arrivée en Meuse plus tard dans la saison, engendrant également un saut thermique de 14°C à 19°C. Les sauts de température se sont effectués graduellement sur trois jours correspondant au temps estimé pour parcourir la distance Méry-Lixhe d'après les vitesses de nage retrouvées dans la littérature.

Après une période d'acclimatation de deux semaines, un prélèvement a été organisé une fois par semaine le matin jusqu'à début juin, soit 13 fois (Figure 26). A trois reprises, un test de résistance à la salinité (96h) a été effectué pour mimer l'arrivée en mer des smolts. Les smolts ont été directement transféré dans de l'eau salée 35‰ (Staurnes *et al.*, 2001 ; Zydlewsky *et al.*, 2010) pendant 96h (Saunders & Henderson, 1970; Komourdjian *et al.*, 1976; Saunders *et al.*, 1985). Les prélèvements se déroulaient comme suit : 3 saumons par bassin ont été prélevés et anesthésiés dans une solution de MS-222 (120mg/L). Une fois anesthésié, le sang

a été récolté par ponction dans la veine caudale à l'aide de seringues héparinées (5000 unités/ml) et conservé sur glace jusqu'à la fin des prélèvements. Il s'en est suivi une double euthanasie des poissons par concussion et dislocation des cervicales. Le premier arc branchial du côté gauche et droit a été prélevé et directement plongés dans un bain d'azote liquide. Le foie a également été prélevé et stocké temporairement dans l'azote liquide tout comme les branchies. Pour finir, un morceau de gonade a été excisé et conservé sur glace pour la détermination du sex-ratio par squash gonadique au carmin-acétate. Directement après les prélèvements, le sang a été centrifugé (5 min à 3000g), afin de limiter l'hémolyse remarquée lors de l'étude précédente. Le plasma a ensuite été aliquoté. Tous les prélèvements, à l'exception des gonades, ont ensuite été conservés à -80°C jusqu'aux différents dosages. Les prélèvements après les tests de résistance à la salinité se sont déroulés de la même façon mais sur 6 poissons par bassin.

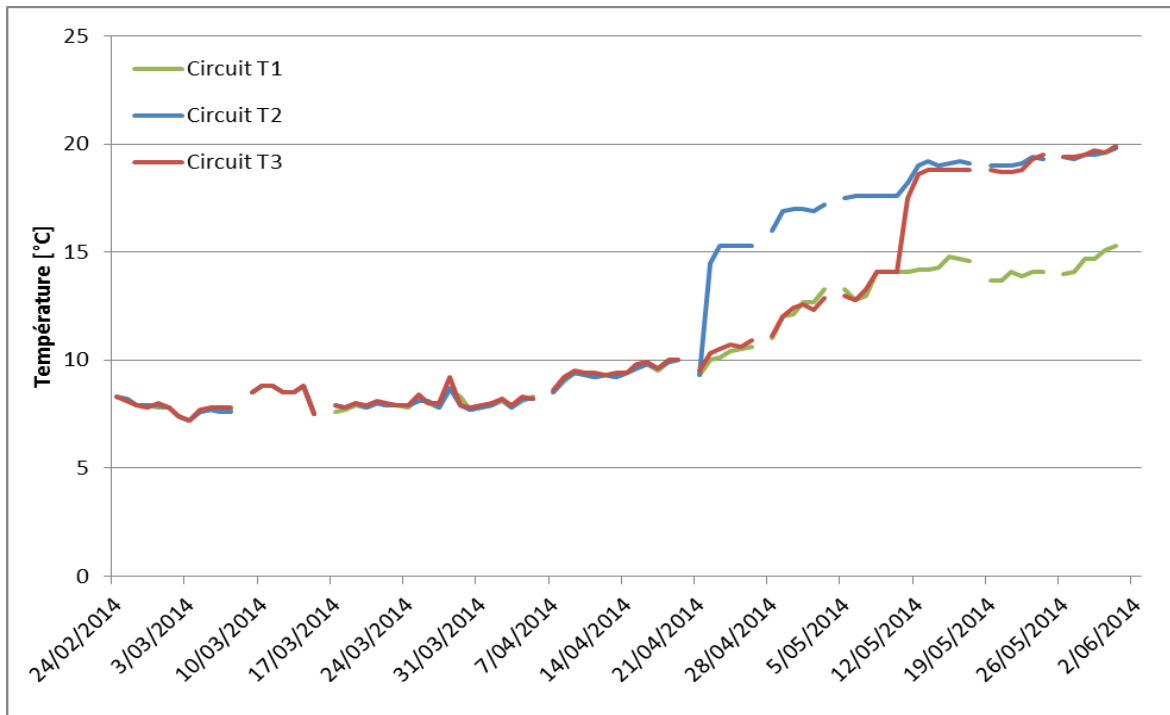


Figure 25: Schéma des trois régimes de températures effectivement suivis.

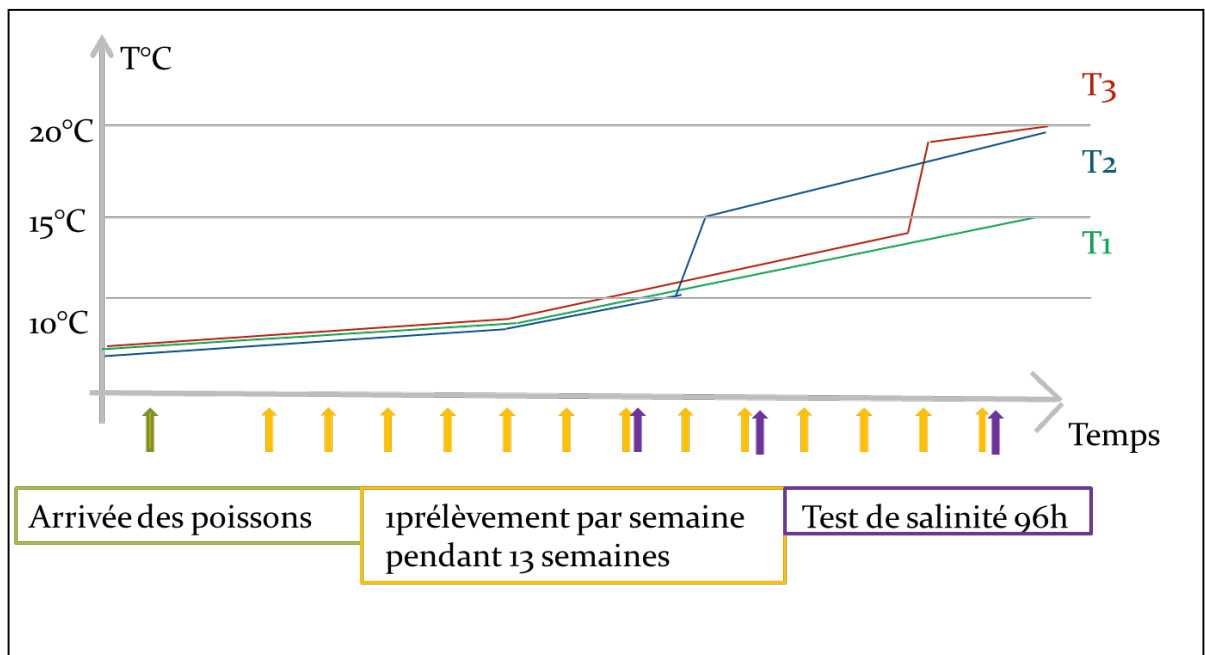


Figure 26: Schéma expérimental théorique.

Tout au long de l'expérience, les poissons ont été nourris, à 1% de la biomasse, par des tapis de nourrissage mécaniques tout au long de la journée. De plus, la qualité de l'eau a été contrôlée quotidiennement (T°, O<sub>2</sub>) et hebdomadairement (pH, nitrites, nitrates) et le bien-être des animaux a été évalué au quotidien selon une grille de critères prédéfinie (Projet éthique 13193KE). En dépit de l'ensemble des précautions prises, une infection bactérienne par *Flexibacter* sp. a été constatée au début de l'expérience dans les trois circuits. Un traitement immédiat à l'antibiotique Fenflor mélangé à la nourriture (1ml/kg d'aliment) a permis d'endiguer l'infection endéans une semaine.

### 3.5.2. Résultats

En investiguant l'effet de la souche sur le pic de smoltification dans des conditions sans choc thermique (T1), nous observons que la souche n'a d'effet que sur la concentration plasmatique en triiodothyronine (T3). Le circuit et la date montre des effets significatifs pour cinq des six paramètres étudiés (Tableau 16). Le fait que le circuit montre tant d'effets témoigne bien de l'influence de la température sur le processus de smoltification. L'effet de la date était prévisible étant donné que la smoltification est un processus qui se déroule sur plusieurs mois. Par ailleurs, l'interaction significative de la souche avec la date pour la concentration plasmatique en sodium et pour l'activité de la NaK ATPase masque peut-être l'effet de la souche seule. Cette interaction montre que l'effet de la date n'est pas le même en fonction de la souche considérée. De même, l'interaction entre le circuit et la date montre que l'effet du circuit sur la NaKATPase n'est pas le même en fonction de la date.

Tableau 16. Résultats des analyses statistiques menées sur les prélèvements en condition de laboratoire. Seules les valeurs significatives ont été reprises dans ce tableau pour plus de clarté.

	Paramètre étudié					
	Facteur de condition K	Activité NaK ATPase	Osmolalité	Concentration plasmatique		
				Sodium	Potassium	T3 Données modifiées en logarithme
Souche						1,6 <sup>E</sup> -5
Circuit	4,26 <sup>E</sup> -7	2 <sup>E</sup> -16		2 <sup>E</sup> -16	1,04 <sup>E</sup> -6	0,0164
Date	1,61 <sup>E</sup> -7	2 <sup>E</sup> -16		0,0184	4,67 <sup>E</sup> -5	0,000102
Souche:Circuit						
Souche:Date		7,17 <sup>E</sup> -16		0,0241		
Circuit:Date		2 <sup>E</sup> -16				
Souche:Circuit:Date						

En ce qui concerne les résultats des dosages de la T3 et de la T4, beaucoup d'échantillons ont montré des concentrations très faibles, voir inférieures au seuil de détection. La proportion des échantillons assimilés à zéro est reprise ci-dessous (Tableau 17). Pour l'analyse, ceux-ci ont été assimilés à une valeur nulle. La quantité d'échantillons non détectables est beaucoup plus importante pour la T4 que pour la T3. De plus, ce nombre est plus élevé au sein des circuits T2 et T3, ce dernier présentant la proportion d'échantillon hors seuil de détection la plus élevée. Par ailleurs, certains échantillons n'ont pas pu être dosés à cause d'un volume de plasma insuffisant.

Tableau 17. Proportion d'échantillons ayant posé problème lors de la mesure de la concentration plasmatique en hormone T3 et T4 pour les analyses de laboratoire.

	Hormone T3			Hormone T4		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Pourcentage de résultats non détectable	2.38%	2.38%	10.71%	11.90%	22.62%	29.76%
Pourcentage d'échantillons non analysés (volume trop faible)	1.19%	5.95%	0.00%	1.19%	9.52%	7.14%

### 3.5.3. Sexage

La proportion des deux sexes est proche des 50% pour tous les individus échantillonnés (Tableau 18).

Tableau 18: Pourcentage des sexes des smolts prélevés en milieu contrôlé. M=mâle ; F=femelle ; I=indéterminé

Souche	T1			T2			T3		
	M	F	I	M	F	I	M	F	I
Loire-Allier	48,7	48,7	2,6	42,7	57,3		44,4	54,7	0,9
Cong	58,9	39,3	1,7	48,7	50,4	0,9	45,3	52,1	2,6

#### 3.5.3.1. Relation poids-longueur et facteur de condition

Les deux souches présentent une croissance de type allométrique négative ( $b < 3$ ) quel que soit le circuit. Notons également que l'allométrie est de plus en plus marquée entre les circuits (de T1 à T3) pour la souche Cong (Figure 27). Cela n'est pas le cas de la souche Loire-Allier pour laquelle les smolts présentant la croissance la plus allométrique sont ceux du circuit T1 (Figure 28).

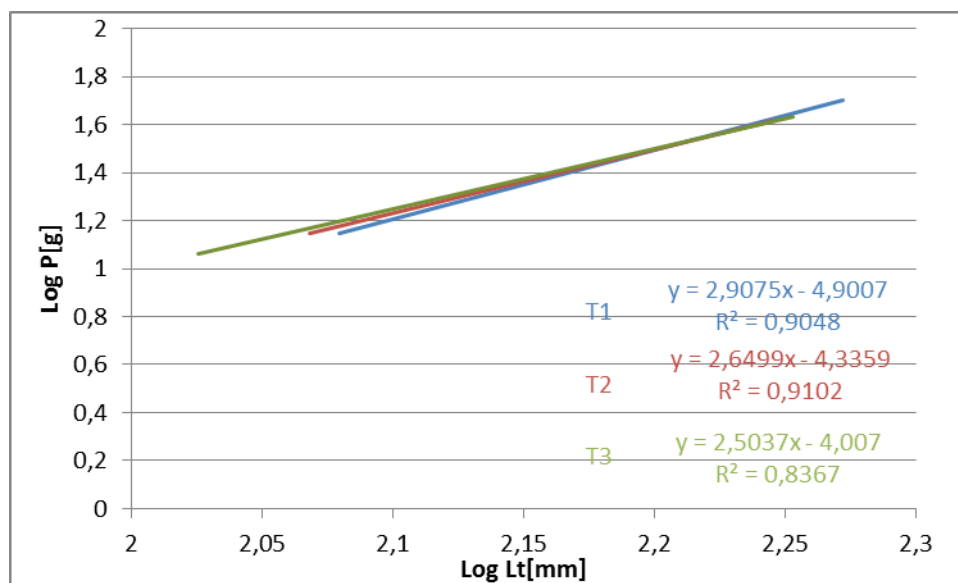


Figure 27 : Relation poids-longueur pour les smolts de la souche Cong des trois circuits expérimentaux (N= 117 par circuit).

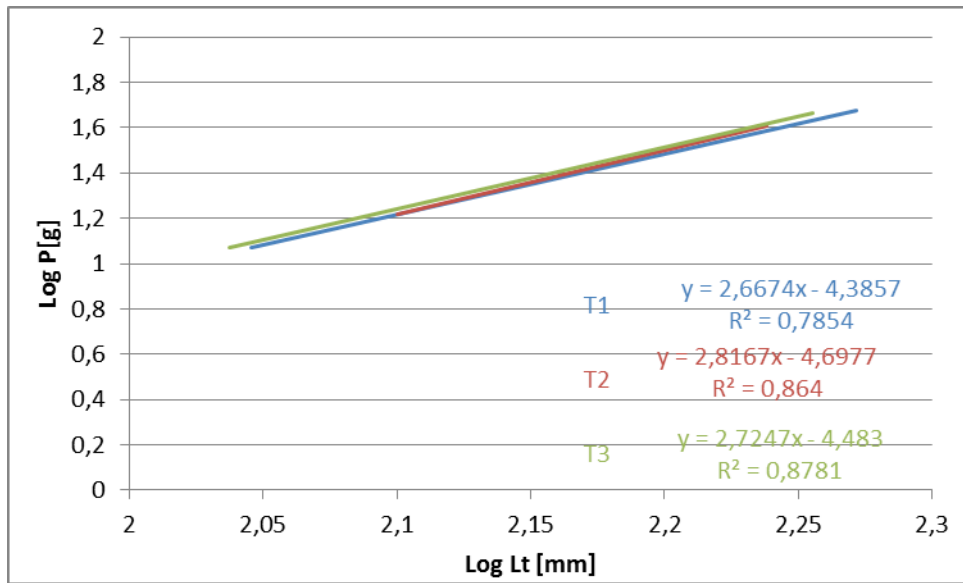


Figure 28: Relation poids-longueur pour les smolts de la souche Loire-Allier des trois circuits expérimentaux (N= 117 par circuit).

Le facteur de condition semble être stable au cours du temps pour les deux souches et être du même ordre de grandeur (0,8) pour chacune d'entre elles (Figure 29 & Figure 30). Ponctuellement des différences significatives peuvent être observées entre les circuits. Pour la souche Cong, le facteur de condition est significativement différent entre les circuits T1 et T2 le 10 mars ( $p = 0,011$ ). Pour la souche Loire-Allier, on retrouve une différence significative entre le circuit T1 et T3 à trois reprises, le 10 mars ( $p = 1,2^E-4$ ), le 07 avril ( $p = 8^E-5$ ) et le 28 avril ( $p = 0,040$ ). De plus, le 07 avril, une autre différence significative est présente entre les circuits T2 et T3 ( $p = 0,025$ ) pour la souche Loire-Allier.

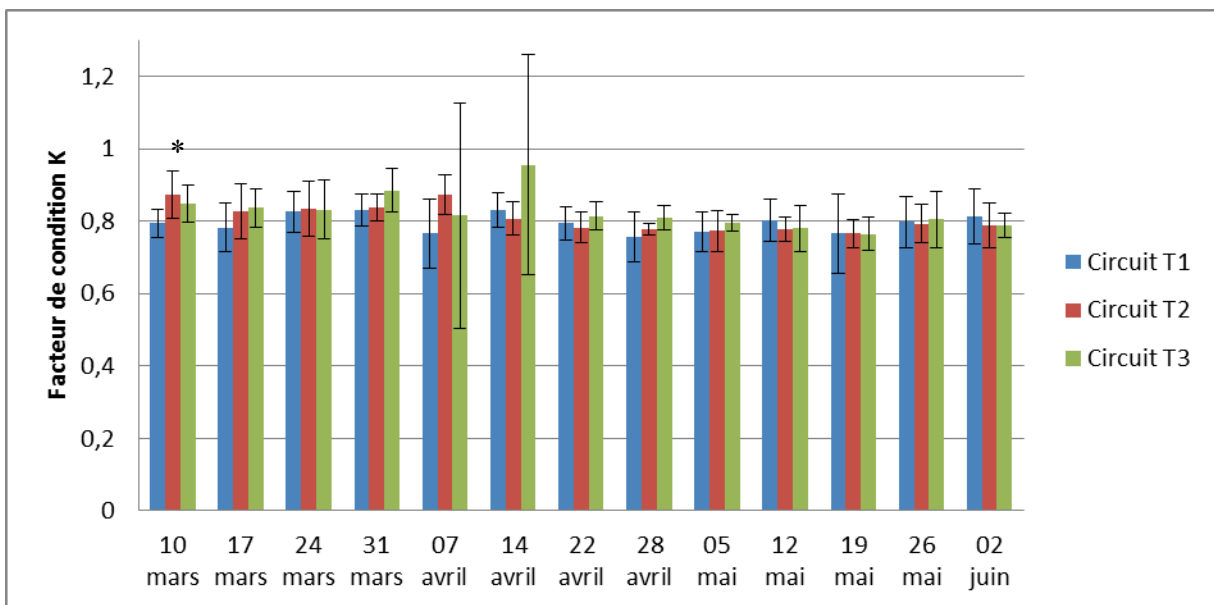


Figure 29: Résultats du facteur de condition K pour les échantillons de laboratoire de la souche Cong (N= 9 par circuit par date).

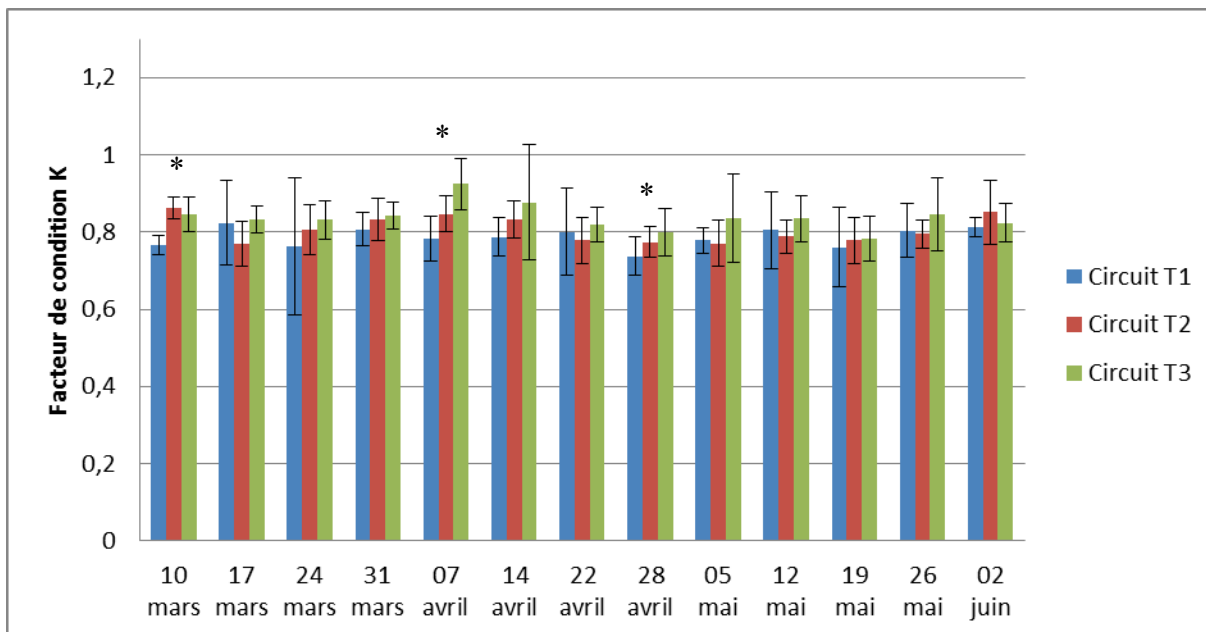


Figure 30: Résultats du facteur de condition K pour les échantillons de laboratoire de la souche Loire-Allier (N= 9 par circuit par date).

### 3.5.3.2. Osmolalité plasmatique et concentration en ions sodium et potassium

Nous avons dosé l'osmolalité à différents temps défini suites aux résultats de l'année 2013 pour les smolts des deux souches du circuit T1. Nous observons une très grande similitude dans l'allure de la courbe d'osmolalité pour les deux souches de saumons au cours du temps (Figure 31). Aussi, à chaque date étudiée, les valeurs d'osmolalité entre les deux souches ne sont pas significativement différentes. Les valeurs d'osmolalité restent comprises entre 265 et 285 mOsm/ kg H<sub>2</sub>O pour les deux souches. Des mesures d'osmolalité ont été prises, pour les circuits T2 et T3, en date du 02 juin. Cependant, les valeurs entre les trois circuits à cette date n'ont pas montré de différence significative. Celles-ci étaient de l'ordre de 280 mOsm/kg pour la souche Cong ainsi que pour la souche Loire-Allier.

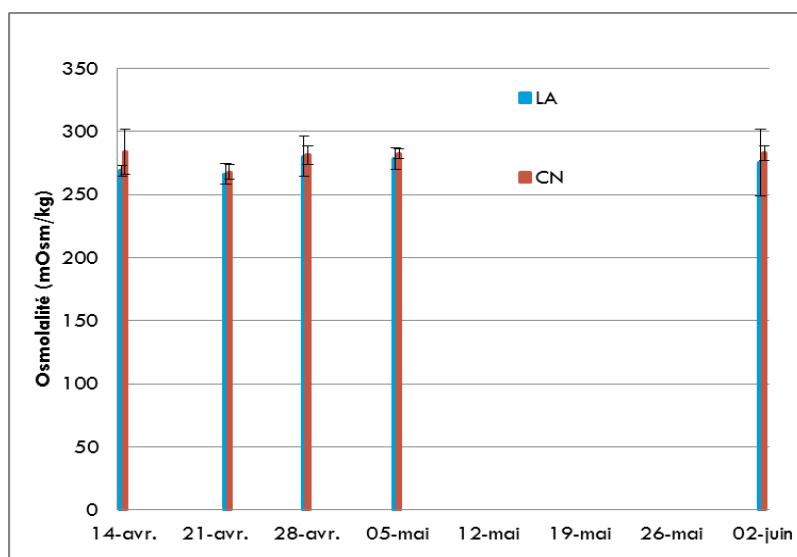


Figure 31 : Osmolalité plasmatique des smolts de deux souches en milieu contrôlé (N=9 par souche par date).

Les dosages par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) révèlent une différence de concentration plasmatique de sodium à la date du 14 avril entre les deux souches de saumon étudiés (Figure 32). Ces valeurs semblent stables au cours du temps pour les deux souches après cette date en restant proche de 150mM. Par ailleurs, les échantillons du 02 juin présentent des différences significatives entre le circuit T1 et les circuits T2 et T3 pour les deux souches. Mais les résultats des échantillons du 02 juin issus des circuits T2 et T3 ne

présentent pas de différences significatives entre eux.

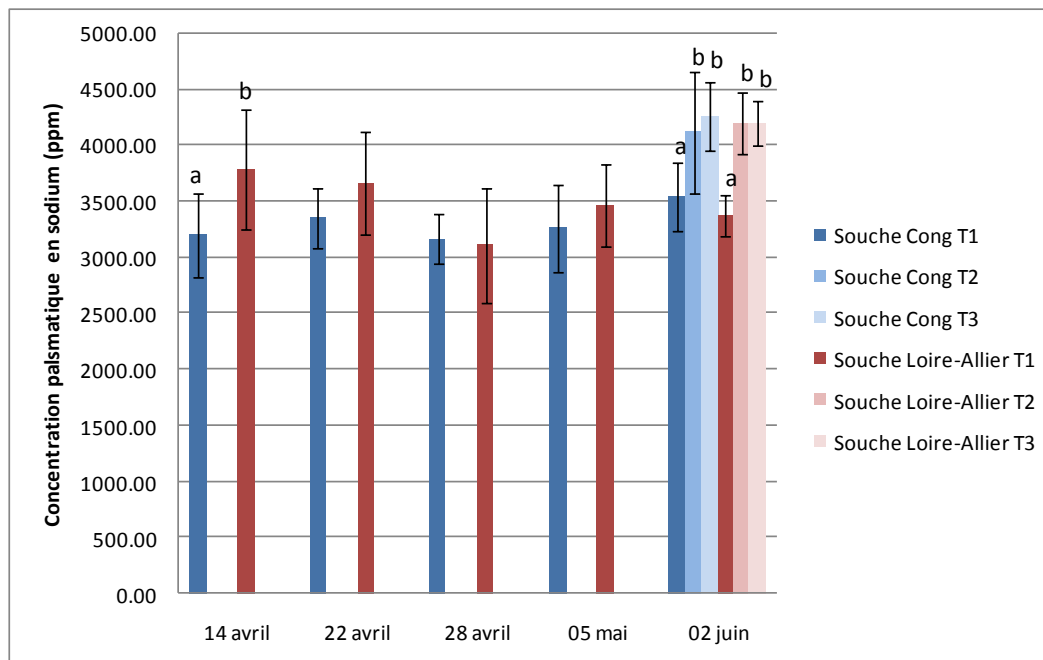


Figure 32 : Concentration plasmatique en sodium chez des smolts de souches Irlandaise et Loire-Allier au cours de la saison de smoltification (N=9 par souche par date).

Une constatation similaire peut être avancée pour les concentrations plasmatiques en potassium. En effet, aucune différence significative entre les deux souches n'est visible après le 14 avril et les concentrations semblent rester stables au cours du temps avec une valeur de 3,5mM pour le circuit T1. Contrairement au sodium, nous n'avons observé une différence ( $p = 0,008$ ) qu'entre les circuits T2 et T3 pour la souche Loire-Allier en date du 2 juin. Notons également que la variabilité au sein d'un même traitement est très élevée.

### 3.5.4. Activité NaK-ATPases branchiales

Les valeurs moyennes obtenues (3-18,7 U/g de protéine) sont dans la gamme de celles retrouvées dans la littérature consacrée (Tableau 21).

Pour la souche Cong, en observant les valeurs moyennes du circuit T1, deux pics d'activité NaK ATPase apparaissent (Figure 33). Le premier se situe le 31 mars (15,12  $\mu\text{mol ADP/mg prot.h}$ ) et le deuxième le 05 mai (17,66  $\mu\text{mol ADP/mg prot.h}$ ).

Ensuite, ce graphique montre l'effet du circuit sur cette souche. Pour rappel, les circuits diffèrent entre eux par les conditions de température à partir du 20 avril pour les circuits T1 et T2 et à partir du 10 mai pour les circuits T1 et T3. Le circuit ne présente pas d'effet significatif sur l'activité NaK ATPase jusqu'au 14 avril 2014. Ensuite, il apparaît que l'activité NaK ATPase varie significativement en fonction du circuit à partir du 28 avril soit 8 jours après l'augmentation de température. Les circuits T1 et T2 sont toujours significativement différents l'un de l'autre jusqu'au 02 juin alors que les circuits T2 et T3 diffèrent significativement l'un de l'autre jusqu'au 19 mai inclus et redeviennent semblables pour les deux derniers prélèvements.

Lorsque la température est identique entre deux circuits, l'activité NaK ATPase ne présente pas de différences significatives. Un dernier élément à observer est que l'activité NaK ATPase est beaucoup plus faible pour les circuits T2 et T3 les 26 mai et 02 juin par rapport au circuit T1.

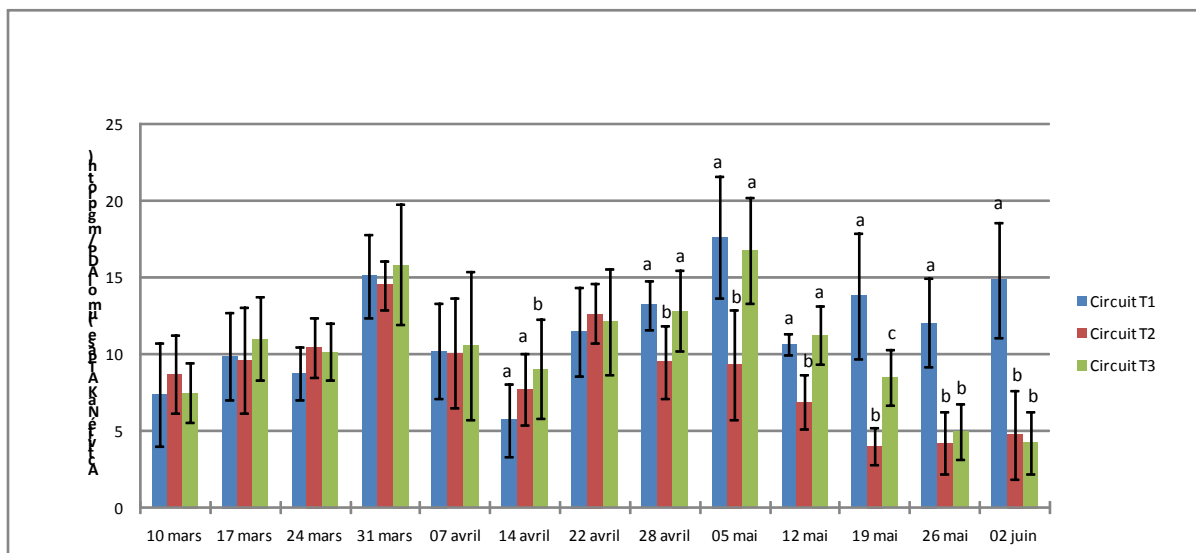


Figure 33 : Evolution de l'activité NaK ATPase au cours du temps pour la souche Cong entre les trois circuits. Les lettres présentées sur ce graphique permettent de réaliser des comparaisons entre les trois circuits pour une seule date (N=9 par circuit par date).

La souche Loire-Allier présente également deux pics d'activité NaK ATPase pour le circuit T1 (Figure 34). Le premier en date du 31 mars (18,73  $\mu\text{mol ADP/mg prot.h}$ ) et le deuxième le 28 avril (14,81  $\mu\text{mol ADP/mg prot.h}$ ). Ce deuxième pic se produit donc une semaine plus tôt que celui observé chez la souche Cong.

Tout comme pour la souche Cong, aucune différence entre circuit ne visible avant le 14 avril. Il apparait que l'activité de la NaK ATPase varie en fonction du circuit à partir du 28 avril soit à nouveau 8 jours après l'augmentation de température. Les circuits T1 et T2 sont toujours significativement différents l'un de l'autre jusqu'au 02 juin alors que les circuits T2 et T3 diffèrent significativement l'un de l'autre jusqu'au 12 mai inclus et redeviennent semblables jusqu'à la fin des prélèvements.

Lorsque la température est identique entre deux circuits, les smolts ne présentent pas de différences significatives au niveau de leur activité NaK ATPase. Comme précédemment, l'activité NaK ATPase est beaucoup plus faible en fin de manipulation pour les circuits T2 et T3 par rapport au circuit T1.

Lorsque l'on compare les deux souches entre elles pour chaque circuit considéré, on n'observe que très peu de différences significatives. Seul le circuit T3 en présente le 14 avril, le 28 avril et le 26 mai. La variabilité au sein d'un même traitement est toutefois très grande.

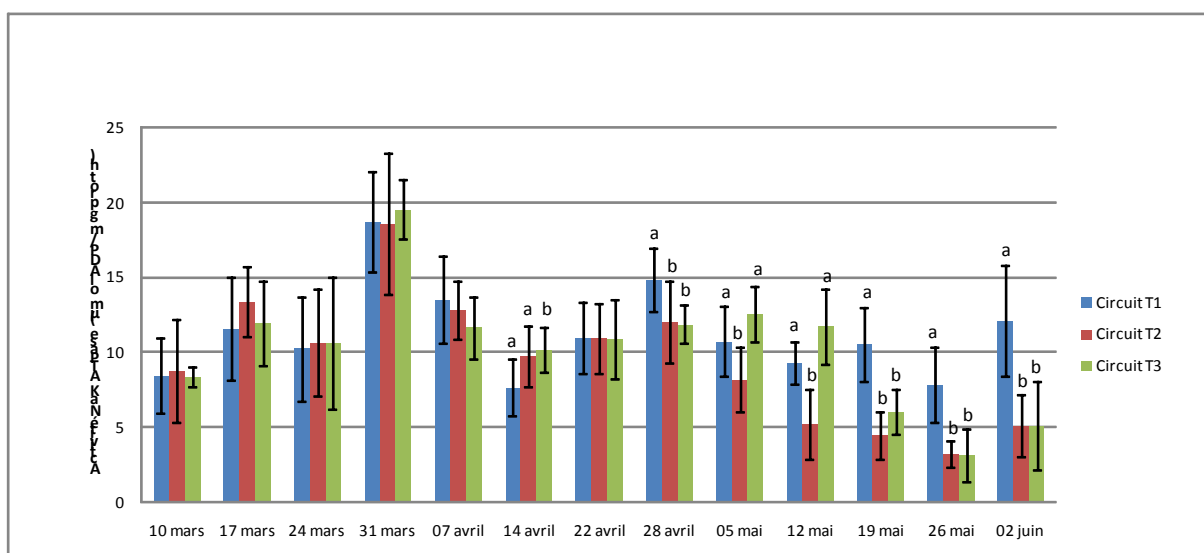


Figure 34 : Evolution de l'activité NaK ATPase au cours du temps pour la souche Loire-Allier entre les trois circuits. Les lettres présentées sur ce graphique permettent de réaliser des comparaisons entre les trois circuits pour une seule date (N=9 par circuit par date).

### 3.5.5. Profils de la T3 et T4 plasmatique

Pour que les conditions de l'ANOVA soient remplies, il a fallu modifier les données grâce à la fonction logarithme.

Lors de la comparaison des souches entre elles au sein d'un même circuit, des différences significatives apparaissent dans la concentration en T3 le 28 avril et le 12 mai pour le circuit T1 et le 14 avril pour le circuit T2. En ce qui concerne la comparaison des circuits pour chaque souche, aucune différence significative n'est observée quelle que soit la souche (Figure 35 & Figure 36). Les valeurs mesurées varient entre 0 et 0,8 ng/ml.

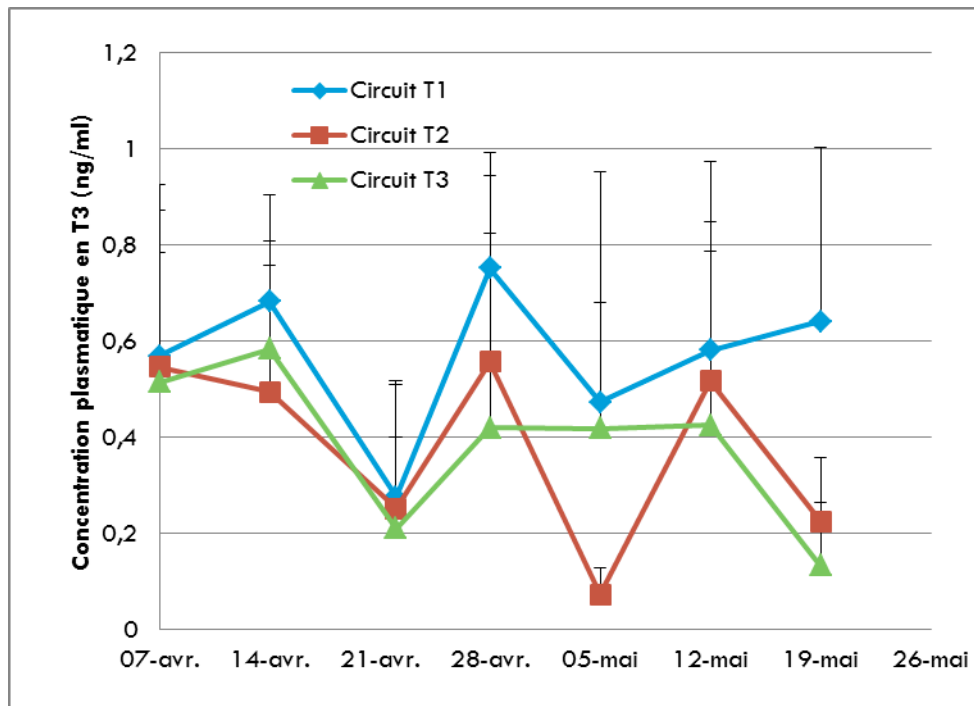


Figure 35: Concentration plasmatique en T3 au cours du temps pour la souche Cong dans les trois conditions de température testées (N=6 par date et par circuit).

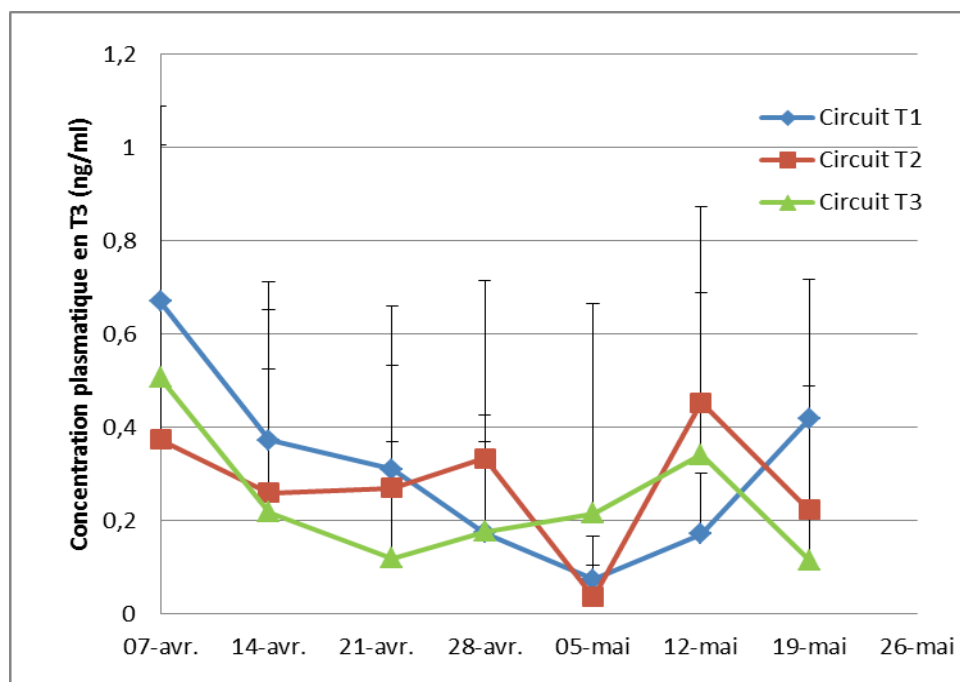


Figure 36: Concentration plasmatique en T3 au cours du temps pour la souche Loire-Allier dans les trois conditions de température étudiées (N=6 par date et par circuit).

Pour la comparaison des mesures de T4 effectuées, seule la souche Loire-Allier montre une réponse significative entre les circuits (Figure 37 & Figure 38). Cependant, les résultats fluctuent tellement qu'il n'est pas possible de dégager une tendance dans la répartition des données.

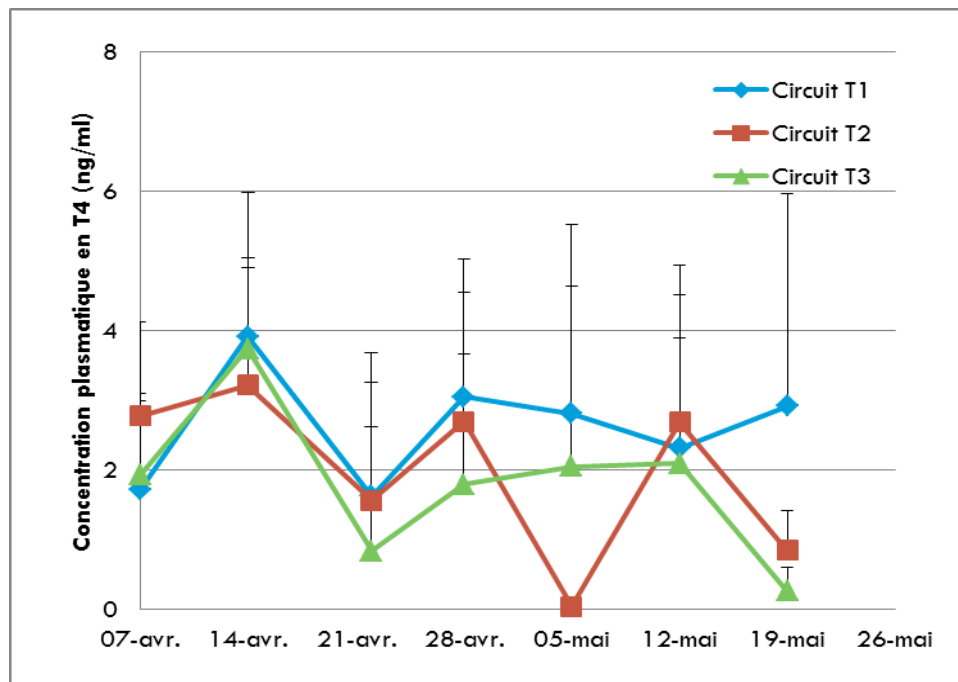


Figure 37: Profil du taux de T4 plasmatique en ng/ml (moyennes et écarts-types) chez la souche Cong dans les trois conditions de température testées (N=6 par date par circuit).

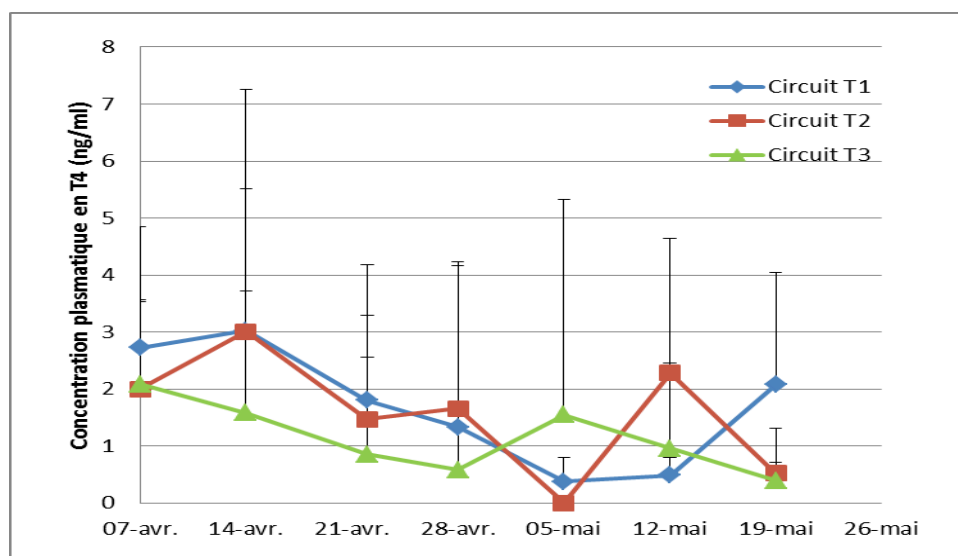


Figure 38: Profil du taux de T4 plasmatique en ng/ml (moyennes et écarts-types) chez la souche Loire-Allier dans les trois conditions de température testées (N= 6 par date par circuit).

### 3.5.6. Test de résistance à la salinité

En investiguant l'effet de la souche sur le pic de smoltification dans des conditions sans choc thermique (T1), nous observons que la souche a un effet significatif au niveau des résultats d'au moins trois paramètres : l'osmolalité, la concentration plasmatique en T3 et en T4 (Tableau 19 première partie). Par ailleurs, la date présente un effet significatif pour l'osmolalité, la concentration plasmatique en potassium et la concentration plasmatique en T3 ce qui semble indiquer que le moment auquel les poissons ont été soumis au test de salinité a

un effet sur leur réponse physiologique. L'interaction significative de la souche et de la date pour l'osmolalité signifie que l'effet de la souche n'est pas le même en fonction des différentes dates.

Le circuit montre un effet significatif pour six des sept paramètres étudiés (Tableau 19 deuxième partie). L'osmolalité varie en fonction de la souche et l'interaction entre la souche et le circuit est également significative. Cette interaction montre que l'effet du circuit n'est pas le même en fonction de la souche considérée.

**Tableau 19. Résultats des analyses statistiques menées sur les échantillons des tests de salinité du circuit T1 et du 06 juin 2014. Seules les valeurs significatives ont été reprises dans ce tableau pour plus de clarté.**

Quel est le moment de smoltification ?							
	Paramètre étudié						
	Facteur de condition K	Activité NaK ATPase	Osmolalité	Concentration plasmatique			
				Sodium	Potassium	T3	T4
Souche			0,00315			0,0134	0,0464
Date			1,96 <sup>E</sup> -11		0,00338	0,0190	
Souche:Date			0,0212				
Effet du circuit sur la réponse des saumons ?							
	Paramètre étudié						
	Facteur de condition K	Activité NaK ATPase	Osmolalité	Concentration plasmatique			
				Sodium	Potassium	T3	T4
Circuit		7 <sup>E</sup> -7	0,00833	0,0306	0,0021	0,000786	0,00991
Souche			7,92 <sup>E</sup> -7				
Souche:Circuit			8,31 <sup>E</sup> -6				

En ce qui concerne les résultats des concentrations plasmatiques en hormones T3 et T4, le même problème que précédemment a été observé (Tableau 20). Celui-ci a donc été traité de la même manière et les données non détectées ont été assimilées à 0. La proportion de données manquantes et assimilées à 0 est la plus importante pour le dosage de la T4 essentiellement pour les circuits T2 et T3.

**Tableau 20. Proportion d'échantillons ayant posé problème lors de la mesure de la concentration plasmatique en hormone T3 et T4 pour les analyses des tests de salinité.**

	Hormone T3			Hormone T4		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Pourcentage de résultats non détectable	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	16,7%	8,3%
Pourcentage d'échantillons non analysés (volume trop faible)	0,0%	25,0%	0,0%	13,9%	25,0%	8,3%

### 3.5.6.1. Facteur de condition K

Le facteur de condition K présente une valeur proche de 0,8 pour les deux souches pour les trois tests de salinité effectués sur le circuit T1. Cette valeur ne varie pas significativement entre ces tests. Pour le 6 juin, aucune différence n'a été observée entre souches ou entre circuits Ce paramètre ne semble donc pas être influencé par le test de salinité.

### 3.5.6.2. Activité NaK ATPase

L'activité NaK ATPase ne varie pas de manière significative pour les trois tests de salinité effectués sur le circuit T1. Notons toutefois la valeur la plus élevée le 2 mai pour les deux souches (Cong : 17,6  $\mu\text{mol ADP}/\text{mg prot.h}$  ; Loire-Allier : 16,3  $\mu\text{mol ADP}/\text{mg prot.h}$ ).

Les résultats du test de salinité du 6 juin montrent un effet du circuit sur l'activité NaK ATPase (Figure 39). En effet, pour la souche Loire –Allier du circuit T1, l'activité NaK ATPase est significativement plus élevée que dans les circuits T2 ( $p = 0,017$ ) et T3 ( $p = 0,029$ ). Ces derniers ne présentent pas de différence significative l'un par rapport à l'autre. Pour la souche Cong, les valeurs du circuit T1 sont significativement différentes de celles du circuit T2 mais pas du circuit T3. De plus, la comparaison des deux souches pour chacun des circuits montre qu'elles ne diffèrent pas significativement l'une de l'autre au sein d'un même circuit.

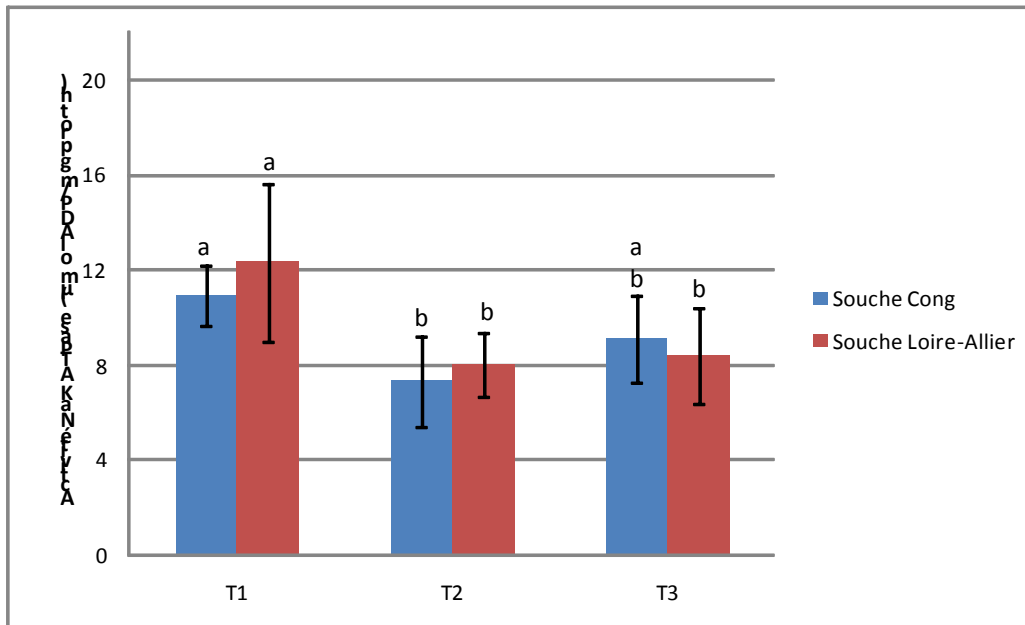


Figure 39 : Histogramme de l'activité NaK ATPase pour le test de salinité du 6 juin. Les lettres présentées sur ce graphique permettent de réaliser des comparaisons entre les trois circuits pour une seule souche (N= 6 par souche par date).

### 3.5.6.3. Osmolalité et concentration plasmatique en sodium et potassium

Les résultats des tests de salinité sur le circuit T1 montrent que les valeurs d'osmolalité sont significativement différentes entre les deux souches le 18 avril (Figure 40). L'osmolalité des deux souches varie ensuite de la même façon avec une diminution significative le 2 mai ( $p = 6,89^E-3$  pour la souche Cong et  $1^E-7$  pour la souche Loire-Allier) suivi d'une augmentation le 6 juin ( $p = 1,2^E-5$  pour la souche Cong et  $5^E-6$  pour la souche Loire-Allier). Le 2 mai, l'osmolalité des deux souches est proche de 280 mOsm/kg  $\text{H}_2\text{O}$ . Notons que les valeurs moyennes d'osmolalité ne dépassent pas 320 mOsm/kg  $\text{H}_2\text{O}$ .

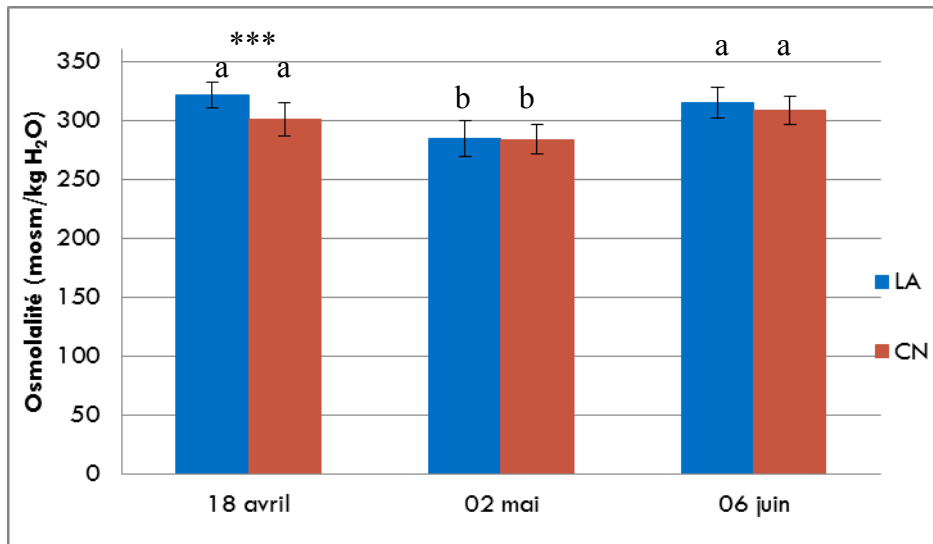


Figure 40: Profil de l'osmolalité en fonction de la souche pour le circuit T1 après les tests de salinité (N=6 par souche par date). Les lettres permettent de comparer les trois tests de salinité pour une seule souche. Les astérisques permettent de comparer les valeurs des deux souches pour une date donnée.

Les résultats du troisième test de salinité montrent qu'il existe un effet du circuit sur l'osmolalité (Figure 41). Les smolts de la souche Cong ont une osmolalité différentes entre le circuit T1 et les circuits T2 ( $p = 8,7^E-3$ ) et T3 ( $p = 4,4^E-3$ ). Pour les smolts de la souche Loire-Allier, l'osmolalité diffère entre le circuit T1 et le circuit T2 ( $p = 3,8^E-6$ ) et entre le circuit T2 et le circuit T3 ( $p = 1,2^E-5$ ). De plus, la comparaison des deux souches en fonction du circuit nous révèle qu'il existe une différence significative entre elles pour le circuit T2. Observons également que l'osmolalité des smolts de la souche Cong est supérieure à 300 mOsm/kg H<sub>2</sub>O pour le circuit T1 et dépasse les 320 mOsm/kg H<sub>2</sub>O dans les deux autres circuits. Par ailleurs, l'osmolalité des smolts de la souche Loire-Allier est légèrement inférieures à 320 mOsm/kg H<sub>2</sub>O pour les circuits T1 et T3 et proche de 280 mOsm/kg H<sub>2</sub>O pour le circuit T2.

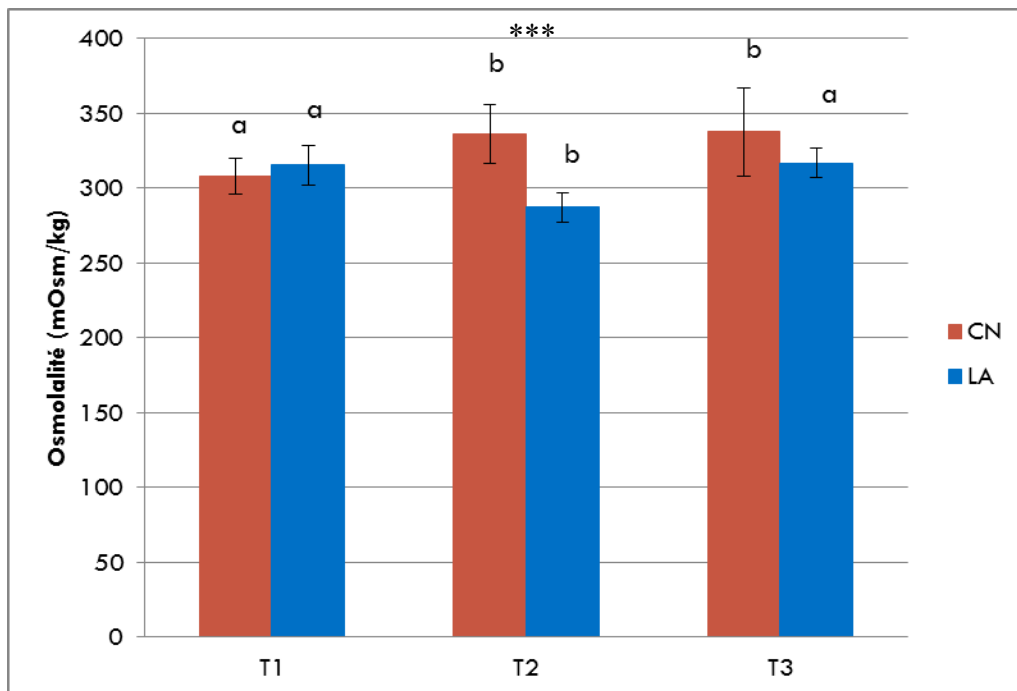


Figure 41: Profil de l'osmolalité en fonction des souches et des circuits lors du test de salinité du 6 juin. Les lettres présentées sur ce graphique permettent de réaliser des comparaisons entre les trois circuits pour une seule souche. Les astérisques permettent de comparer les valeurs des deux souches pour un circuit donné (N=6 par souche par circuit).

La concentration plasmatique en sodium des smolts du circuit T1 ne varie pas significativement entre les souches ou entre les dates (Figure 42). Pour la souche Cong, les

valeurs tendent à diminuer de 200 mM à 185 mM. La tendance est inversée chez les smolts de la souche Loire-Allier avec des valeurs allant de 190mM à 215 mM.

La concentration plasmatique en potassium diffère significativement entre le 18 avril et le 02 mai ( $p = 0,045$ ) chez la souche Cong. Le reste des comparaisons n'a pas permis de dégager d'autres éléments significativement différents les uns des autres.

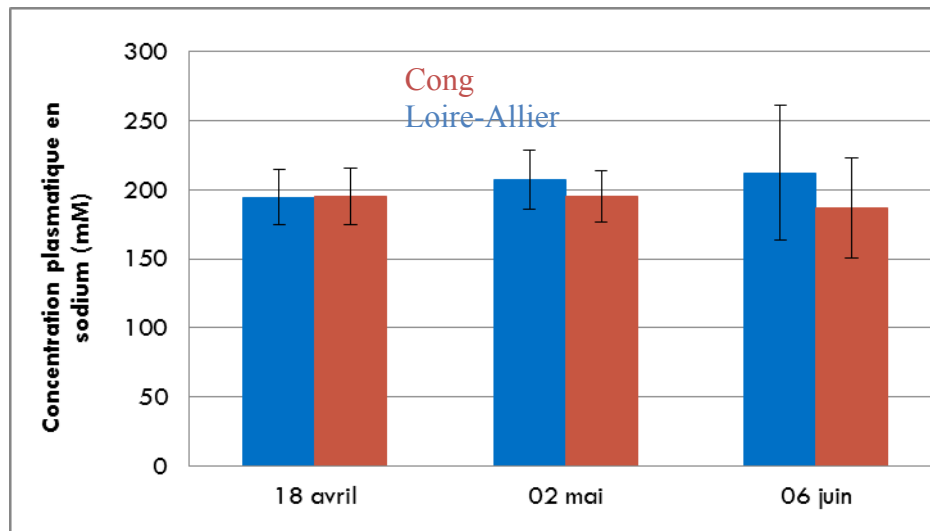


Figure 42: Profil de la concentration plasmatique en sodium en fonction de la souche pour le circuit T1 après les tests de salinité (N= 6 par souche par date).

Les résultats du troisième test de salinité montrent une différence significative entre la concentration plasmatique en sodium du circuit T1 par rapport au circuit T2 ( $p = 0,034$ ) pour la souche Cong (Figure 43). On peut envisager une tendance à l'augmentation de la concentration plasmatique en sodium pour les circuits où a eu lieu un choc de température. Les valeurs de concentration plasmatique en sodium sont supérieures à 220 mM pour les circuits T2 et T3 de la souche Cong alors que le circuit T1 présente des valeurs proches de 185 mM.

Les circuits T1 et T3 de la souche Loire-Allier présentent des valeurs de concentration plasmatique en sodium proches de 210 mM alors que le circuit T2 montre des valeurs supérieures à 220 mM.

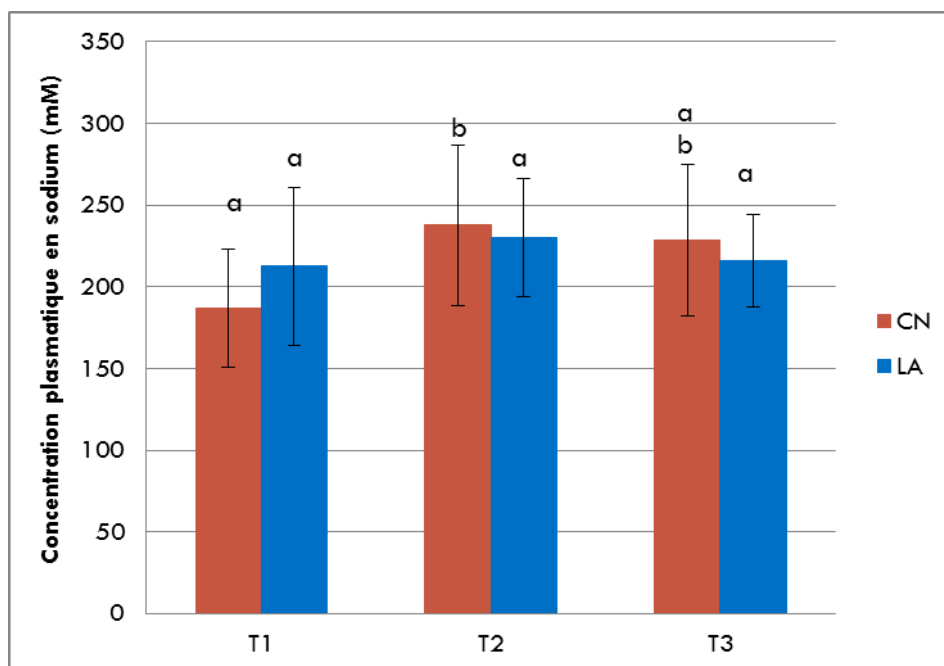


Figure 43: Histogramme de la concentration plasmatique en sodium en fonction des souches et des circuits lors du test de salinité du 6 juin (N=6 par souche par circuit).

Les résultats du troisième test de salinité montrent que la concentration plasmatique en potassium est significativement différente entre le circuit T2 et les circuits T1 ( $p = 0,00016$ ) et T3 ( $0,015$ ) pour la souche Cong. Seule une tendance à l'augmentation de la concentration plasmatique en potassium pour les circuits ayant subi un choc de température par rapport au circuit contrôle peut être retirée des résultats.

#### **3.5.6.4. Concentration plasmatique en T3 et T4**

Les résultats des trois tests de salinité présentent des différences significatives dans les concentrations plasmatiques en hormone T3 entre le 18 avril et le 06 juin ( $p = 0,041$ ) pour la souche Cong. Pour la même souche, nous avons également mis en évidence une différence significative entre le circuit T1 et les circuits T2 ( $p = 0,0024$ ) et T3 ( $p = 0,0088$ ) pour la concentration plasmatique de cette hormone. Il semblerait que cette concentration soit plus importante pour le circuit T1 par rapport aux deux autres.

Le 02 mai, les valeurs de concentration plasmatique en T3 sont significativement différentes entre les deux souches étudiées ( $p = 0,0098$ ). Il semble que les valeurs de concentration en T3 augmentent au cours du temps pour la souche Cong ( $0,33$  ng/ml le 18 avril à  $0,76$  ng/ml le 06 juin) alors qu'il n'est pas possible de dégager une tendance des résultats pour la souche Loire-Allier.

Le 6 juin, la concentration plasmatique en T4 est significativement différente entre le circuit T1 et les circuits T2 ( $p = 0,00057$ ) et T3 ( $p = 0,00063$ ) pour la souche Cong. En comparant les deux souches, nous observons des taux d'hormone T4 différents dans les circuits T1 ( $p = 0,0068$ ) et T2 ( $p = 0,0068$ ). Les valeurs tendent à augmenter au cours du temps pour la souche Cong ( $1,18$  ng/ml le 18 avril à  $3,51$  ng/ml le 06 juin) alors qu'aucune tendance ne peut être retirée pour la souche Loire-Allier.

#### **3.5.7. Discussion**

Des valeurs retrouvées dans la littérature spécialisée sont présentées à la page suivante (Tableau 21). Rappelons d'emblée, que lors de notre étude, les précautions suffisantes ont été prises pour minimiser un éventuel biais pouvant être induit par le stress. Tous les poissons ont été soumis à une période d'acclimatation aux bassins et les prélèvements sanguins ont été effectués endéans cinq minutes depuis l'ouverture du couvercle du bassin afin d'éviter toute libération de cortisol liée à la capture des poissons. La discussion suivante va s'orienter sur deux thèmes. Premièrement, les différences autour de la smoltification entre les deux souches et deuxièmement l'impact du saut de température. A chaque fois, nous discuterons les résultats obtenus en conditions de laboratoire et de terrain. Ainsi, que pour le premier thème, nous ne discuterons que les résultats du circuit T1 en laboratoire et ceux de Méry et Méry Contrôle sur le terrain.

Tableau 21: Valeurs retrouvées dans la littérature pour les facteurs analysés.

Source	CP Na [mEq/L]	CP K [mEq/L]	Osmolalité [mOsm/ KgH <sub>2</sub> O]	Cortisol [ng/ml]	GH [ng/ml]	T3 [ng/ml]	T4 [ng/ml]	IGF-1 [ng/ml]	Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup> ATPase [U/g de protéine]	Facteur de condition K
McCormick, 1993	180								0,72	
McCormick <i>et al.</i> , 1999									3-10	
McCormick, 2009				20-140	1-15				3-13	
McCormick <i>et al.</i> , 2000				5-120	1-11	4-8	5-17	75-170	2-10	1,15-0,95
Agutsson <i>et al.</i> , 2001								20-120		
McCormick <i>et al.</i> , 2003	160-200				1-10		3-14	25-65	2-10	1,1-0,9
Handeland <i>et al.</i> , 2004									12	1,30-0,95
Zydlevsky <i>et al.</i> , 2010	160-200	2-3,5	320-420						4-10	
Bystrinasky & Schulte, 2011	150-170		300-320						1,5-2	
Gonçalves <i>et al.</i> , 2013			325-340							
Stefansson <i>et al.</i> , 2003					10-45					
Handeland <i>et al.</i> , 2013					1-26				4-12	1,08-0,96

### 3.5.7.1. Moment de smoltification en conditions de laboratoire et de terrain

Le facteur K ne change pas au cours de l'expérience pour aucune des deux souches. Rappelons que le facteur de condition est un indicateur de smoltification fiable, il peut être combiné avec d'autres critères physiologiques pour une bonne évaluation de l'état de smoltification. Certaines études morphologiques sur la smoltification suggèrent que le corps des saumons s'allonge au cours du processus de smoltification (Hoar, 1939a; Martin, 1949; Houston & Threadgold, 1963; Vanstone & Markert, 1968; Fessler et Wagner, 1969, Hoar 1988), ce qui a bien été observé dans notre expérience. Ainsi, la croissance serait de plus en plus allométrique et le facteur de condition diminuerait tout au long de la saison de smoltification. Une diminution du facteur de condition au cours de la smoltification a également été observée lors d'expériences plus récentes (McCormick *et al.*, 2000; Handeland *et al.*, 2004). De plus, l'évolution du facteur K au cours du temps est liée à la fois aux conditions d'alimentation et du milieu (McCormick, 1998). L'absence de baisse significative du facteur de condition malgré une croissance de type allométrique négative peut facilement s'expliquer par le nourrissage journalier. En effet, la quantité d'énergie ingurgitée suffisait à contrebalancer l'affinement des smolts et ainsi à maintenir un facteur K proche de 1, signe d'une bonne condition générale du poisson. Evidemment, l'affinement observé pourrait aussi refléter, peut-être en partie, l'effet d'un autre facteur incontrôlé comme une variation dans la qualité de l'eau en mésocosme. En condition de terrain, on peut observer une légère tendance à la diminution du facteur de condition ce qui corrobore la littérature consacrée. La faible diminution s'explique également par l'abondance croissante des proies au printemps bien qu'aucune étude sur la faune de macroinvertébrés n'ait été organisée sur l'Ourthe.

Parmi les indicateurs qui ont été suivis dans cette étude, l'activité de la Na<sup>+</sup>K<sup>+</sup> ATP-ase (NKA) constitue le paramètre le plus fiable (Hoar 1988; Bisbal et Specker 1991; McCormick *et al.*, 1998; Mackie *et al.*, 2007). Les profils de l'activité Na<sup>+</sup>K<sup>+</sup> ATP-asiqne branchiale nous ont permis non seulement de situer la date du pic de smoltification, mais aussi de quantifier son intensité. En effet, ce critère physiologique représente, au travers de sa valeur d'indicateur d'acquisition de l'euryhalinité, un indice intéressant de l'état de smoltification. Par deux fois, les profils établis par notre étude montrent une augmentation significative du taux de l'activité NKA avec le temps et ce pour les deux souches. Nous avons ainsi observé un premier pic en date du 31 mars (CN : 15,1  $\mu\text{mol ADP/mg prot.h}$  et LA : 18,7  $\mu\text{mol ADP/mg prot.h}$ ). Après ce premier pic, le taux de la NKA diminue jusqu'à être minimale le 14 avril pour les deux souches et augmentent jusqu'à atteindre un deuxième pic le 28 avril (14,8  $\mu\text{mol ADP/mg prot.h}$ ) pour la souche Loire-Allier et le 05 mai (17,7  $\mu\text{mol ADP/mg prot.h}$ ) pour la souche Cong. Cependant, le taux de la NKA chez la souche Cong ne commence à augmenter que quand l'activité est maximale pour la souche Loire-Allier. Ainsi, soit la smoltification débute en avance chez la souche française, soit la vitesse d'acquisition des processus de smoltification est plus faible chez la souche irlandaise. En comparant avec la littérature, certains auteurs ont déjà retrouvé deux pics de l'activité de la NKA dans des périodes de temps similaires (Handeland *et al.*, 2003) mais une explication n'était pas fournie. Les hormones thyroïdiennes sont connues pour leur rôle dans le comportement de nage des smolts et elles jouent également un rôle dans l'osmorégulation. On peut ainsi émettre l'hypothèse que l'augmentation de la NKA est un effet secondaire du début de la dévalaison. Durant la smoltification du saumon atlantique, un changement d'isoforme de la sous-unité  $\alpha$  de la NKA va s'opérer pour aboutir à un hypothétique type de pompe NKA pour l'eau de mer (Nilsen *et al.*, 2007). Cette période représenterait le creux entre les deux pics. Il se pourrait également que la dévalaison se déroule en plusieurs phases. Il semble étonnant que le premier pic d'activité NKA soit plus élevé que le second pour la souche Loire-Allier étant donné que l'arrivée en mer est plus proche voire imminente au moment du deuxième pic. Comme cette observation est également faite pour les poissons sauvages, il est possible que cette souche amorce ses changements physiologiques de façon plus intense pour conserver suffisamment

d'énergie avant l'arrivée en mer. Cette hypothèse se base sur le fait que des changements physiologiques consomment de l'énergie et affaiblissent l'individu. Il peut donc être envisagé que cette souche étant adaptée à un très long parcours de dévalaison à l'origine, elle a conservé les caractéristiques lui permettant de l'effectuer avec le meilleur taux de survie. Cependant, cette hypothèse n'a pas été vérifiée par la littérature. L'étude de Handeland *et al.* (2003) a permis de démontrer qu'il existait des différences dans le timing de smoltification entre deux souches de saumon (sauvage et élevage) ainsi que la présence de deux pics dans l'activité NKA. Dans cette étude, les saumons de la souche d'élevage présentent une smoltification antérieure à celle des saumons de la souche sauvage. Ces constatations ont été corroborées par les recherches de Kallio-Nyberg et Koljonen (1997) qui ont démontré que les poissons d'élevage de deuxième génération grandissaient plus vite et smoltifiaient plus tôt que ceux de la première génération. De ce fait, la différence dans le timing de smoltification entre les deux souches étudiées pourrait résider dans une pression de sélection importante en aquaculture qui favoriserait une croissance rapide des individus. C'est dans cette optique qu'il est intéressant d'avoir des souches pouvant grandir rapidement et smoltifier de façon précoce pour réaliser des repoissonnements au stade smolt, plus efficaces (Jonsson et Jonsson, 2009). Par ailleurs, lors de la dévalaison, les saumons convergent en milieu marin en même temps quelle que soit leur rivière d'origine (McCormick *et al.*, 1998 ; McGinnity *et al.*, 2007 ; Stewart *et al.*, 2006). Les caractéristiques et la position géographique des rivières influencent donc également la smoltification et la dévalaison. Dans ce contexte, la survie des smolts dépend d'une période limitée de conditions optimales, la « fenêtre physiologique », et de la synchronisation de l'entrée en milieu marin avec des conditions environnementales optimales, la « fenêtre écologique » (McCormick *et al.*, 1998). L'étude de Stewart *et al.* (2006) a également démontré que la longueur de la rivière affecte le timing de la smoltification. Comme les saumons de la souche Loire-Allier proviennent d'un long cours d'eau, ils devraient débiter leur dévalaison et smoltifier plus tôt que ceux de la souche Cong provenant d'une petite rivière.

Comme précisé ci-dessus, le pic dans l'activité NKA correspond au moment où les smolts sont aptes à transiter vers le milieu marin. Les échantillons de terrain présentent bien le même profil pour cette activité avec deux pics; l'un le 07 avril (21,1  $\mu\text{mol ADP/mg prot.h}$ ) et l'autre le 02 mai (18,3  $\mu\text{mol ADP/mg prot.h}$ ). Les repoissonnements dans l'Ourthe sont réalisés avec des smolts de la souche Loire-Allier. Les différences observées notamment au niveau de la date des pics de NKA s'expliquent facilement. De un, nos régimes de température sont basés sur une moyenne sur dix ans de données ce qui provoque des différences par rapport à une année seule et de deux, il a été démontré que des saumons qui se développent dans un milieu artificiel et dans un milieu naturel sont soumis à des facteurs de température, de photopériode et de croissance différents (McCormick *et al.*, 1989). En effet, les facteurs environnementaux présents en conditions naturelles ne peuvent pas tous être mimés en laboratoire. Par exemple, la couverture nuageuse, la luminosité journalière ou le débit de la rivière peuvent avoir un impact sur le timing de la smoltification (McCormick *et al.*, 1998). Ainsi, une température froide au sein de la rivière au printemps peut ralentir le processus de smoltification en milieu naturel. Un dernier élément à noter est que les valeurs obtenues au moment du pic d'activité NKA sont plus faibles en conditions de laboratoire par rapport aux conditions de terrain. La même observation a été faite par McCormick *et al.* (2003) après avoir comparé les résultats de cette activité enzymatique entre les saumons de la même souche ayant smoltifié en milieu naturel et en laboratoire. Par contre, les échantillons de Méry ayant subi un stockage en vivier présentent une diminution progressive dans les résultats obtenus jusqu'au 05 mai où l'activité NKA est minimale suivie par une augmentation le 12 mai. Cependant, il semble que la condition de stockage n'ait un effet sur l'activité NKA qu'en entraînant un résultat plus important au niveau du premier prélèvement effectué. Cette valeur plus élevée pourrait être une conséquence du stress de la manipulation et du stockage des saumons étant donné qu'un stress entraîne une décharge de cortisol et que cette hormone est

connue dans la littérature pour stimuler certains processus de la smoltification comme l'activité NKA (McCormick, 1996).

Le facteur de condition et les dosages de la NKA nous permettent déjà d'avoir une idée sur l'état de smoltification des saumons étudiés. De manière complémentaire, les profils hormonaux permettent de comprendre davantage les mécanismes de la smoltification. En effet, c'est par l'intermédiaire du système endocrinien que les facteurs environnementaux sont intégrés. Ce sont les hormones qui servent de médiateurs des signaux et qui permettent tous les changements associés à la smoltification (Hoar, 1988; Boeuf, 1993; McCormick *et al.*, 1998; Ebbesson *et al.*, 2003; Stefansson *et al.*, 2008). De plus, le système endocrinien joue un rôle important dans la régulation de l'intensité des changements morphologiques, physiologiques et comportementaux permettant de préparer les juvéniles à la vie en mer (McCormick *et al.*, 1998 ; Nilsen *et al.*, 2008).

Sur base des études de Madsen (1990) et McCormick (1996, 2001), il a été démontré que le cortisol et l'axe des hormones de croissance (GH) et Insulin-like Growth Factor 1 (IGF-1) agissent en synergie. Les hormones GH et IGF-1 possèdent un rôle important dans l'acclimatation à l'eau de mer. En effet, la GH agit sur l'osmorégulation des saumons en permettant l'augmentation de la taille et du nombre de cellules à chlorure. Il a d'ailleurs été prouvé que la concentration en GH et en IGF-1 augmentait lors de la smoltification (Björnsson *et al.*, 1988 ; Prunet *et al.*, 1989). La GH stimule la sécrétion d'IGF-1 et augmente la sensibilité des cellules à celui-ci. Dans ce cas, il serait logique d'observer un lien chronologique entre les concentrations de ces deux paramètres. Il est également intéressant de remarquer que l'IGF-1 permet d'augmenter l'activité de la NaK ATPase (Madsen et Bern, 1993 ; McCormick, 1995). Un pic dans l'activité NKA serait donc également lié chronologiquement à ces deux paramètres suite à cette cascade de réactions. Sur base des résultats de terrain pour les concentrations en hormones GH et IGF-1, une interprétation des résultats ne peut pas être menée à bien. De plus, la complexité des mécanismes rendent hasardeux une comparaison avec un seul indicateur. Une vue d'ensemble sera présentée lorsque tous les dosages hormonaux seront réalisés.

Ojima et Iwata (2010) ont indiqué que les hormones somatotropes n'agissaient pas seulement au niveau de l'osmorégulation mais qu'elles stimuleraient également l'induction du comportement de dévalaison des jeunes saumons. De plus, l'augmentation du taux plasmatique de T4 par la GH a été observée chez les téléostéens depuis 1977 par Stetson. Le taux de thyroxine augmente lors de la smoltification et, une fois activée sous forme de T3, celle-ci agit sur les cellules à chlorure et peut interagir avec l'axe GH/IGF-1 afin de garantir l'osmorégulation (Dickhoff *et al.*, 1978, McCormick, 2011). Au niveau des échantillons de laboratoire, la variabilité présente au sein des résultats de T3 et T4 est très grande et les données doivent être transformées en logarithme afin d'effectuer les analyses statistiques. Cependant, il semble que les deux souches présentent deux maximums dans les concentrations plasmatiques en T4, l'un le 14 avril et l'autre le 19 mai. En regardant les caractéristiques physiques des smolts, nous avons remarqué qu'à partir du 19 mai 2014, 94% des smolts échantillonnés étaient argentés et ne possédaient plus de marque de tacon ni aucune tache orange ou rouge. En effet, la T4 est bien connue pour son implication dans les changements comportementaux, physiologiques et morphologiques (Hoar, 1988). Elle est responsable de l'apparition de l'argenterie chez les smolts par stimulation de dépôt de purine (guanine et hypoxanthine) dans les écailles et au niveau du derme (*stratum argentum*) (Hoar, 1988 ; Johnston & Eales, 1967; Staley & Ewing, 1992)

L'activité Na<sup>+</sup>K<sup>+</sup> ATP-ase influence aussi le niveau plasmatique en ions Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup>. En effet, l'enzyme est une pompe à sodium et à potassium. Elle fonctionne en faisant entrer 2 ions de potassium dans les cellules contre 3 ions de sodium sortant dans le plasma. En

principe, une activité NKA importante induit une augmentation de la concentration plasmatique en sodium et une diminution de celle en potassium (Bystriansky et Schulte, 2011). Lors de l'étude réalisée en laboratoire, la concentration plasmatique en sodium est restée relativement stable pour les dates considérées. En aucun cas, un pic dans la concentration plasmatique en sodium ou en potassium n'a pu être observé, quelle que soit la souche considérée. Comme les valeurs de concentration plasmatique en sodium et en potassium sont reprises à partir du 14 avril, l'effet du premier pic d'activité NKA sur ces résultats n'a pas pu être observé. Lors de l'étude précédente, nous n'avions observé de changement de la concentration plasmatique en ions sodium que lors du premier pic d'activité NaK ATPase. Au stade du deuxième pic, il est possible que les saumons aient acquis une meilleure capacité d'osmorégulation à travers les cellules à chlorures plus développées (Hoar, 1988), d'autres systèmes d'osmorégulation ( $\text{Na}^+ \text{K}^+ 2\text{Cl}^-$  cotransporteur) (Boeuf 1993) ou éventuellement une filtration glomérulaire plus efficace (McCormick et Saunders, 1987). En ce qui concerne le taux plasmatique de potassium, ce dernier reste stable tout au long de nos échantillonnages comme l'ont montré Folmar et Dickhoff en 1989. Pour discuter au mieux les résultats obtenus, il aurait été intéressant de réaliser les mesures sur les échantillons du 31 mars au 26 mai pour inclure le premier pic d'activité de la NaK ATPase. Parry (1960) a démontré une très grande variabilité selon les poissons au niveau du taux plasmatique en sodium. Primet *et al.* (1988) ont aussi mesuré des variations du niveau plasmatique des ions lors de la saison de smoltification. De plus, les valeurs de sodium et de potassium plasmatiques trouvées dans notre étude correspondent aux valeurs rapportées dans la littérature (Folmar et Dickhoff, 1980, Primet *et al.*, 1988). Les mêmes observations peuvent être réalisées pour les échantillons de terrain. En effet, les résultats obtenus montrent une grande stabilité au cours du temps pour ces deux paramètres. Pour cette partie des résultats, l'effet de la manipulation se remarque le 02 mai avec des concentrations plasmatiques en sodium plus faibles pour les poissons stockés en vivier. Cependant, ce résultat étant le seul à montrer un effet du stockage pour ce paramètre, il est probable qu'il s'agisse d'une valeur aléatoire. Celle-ci serait peut-être influencée par la présence d'une légère infection, d'un grand nombre de sangsues ou d'un autre facteur au sein du vivier. Le rapport Na/K pourrait être calculé pour déterminer s'il n'existe pas une différence éventuelle entre les prélèvements. Cependant, les valeurs obtenues étant toujours très stables, il serait étonnant que ce rapport nous fournisse une information supplémentaire.

Les valeurs d'osmolalité sont relativement stables entre elles pour chaque souche en conditions de laboratoire. Cette stabilité se retrouve également dans les résultats de terrain. Ne pas avoir observé d'augmentation de la concentration plasmatique en sodium ou en potassium à ce moment-là pourrait expliquer cette stabilité. L'étude de Saunders et Henderson (1970) démontre que l'osmolalité reste stable tout au long de la smoltification, ce qui confirme nos observations. Cependant, il existe d'autres publications qui contredisent cela. Notamment, Parry (1960) et Hickman et Trump (1969) ont montré qu'il existait soit une augmentation soit une diminution de l'osmolalité au cours de la période de smoltification.

Les différences de pic de smoltification sont à mettre en rapport avec le patrimoine génétique des souches. Stewart et ses collaborateurs (2006) ont déjà montré une différence de timing de dévalaison entre des populations d'un même cours d'eau. Des individus d'une population aval mis en amont débutaient leur migration plus tardivement que la population amont et vice versa. Ils en concluaient à une différence au point de vue génétique pour un timing précis permettant aux différentes populations d'arriver simultanément en mer. C'est par l'intermédiaire du système endocrinien que la température et la photopériode influencent les changements physiologiques associés à la smoltification et à la dévalaison (McCormick, 2009; Björnsson & Bradley, 2007). Grâce à leur capacité à contrôler et à coordonner des réponses complexes, les hormones sont des cibles importantes de la sélection et sont probablement impliqués dans beaucoup d'adaptations évolutives (Gould, 1977; West-Eberhard 2003). Le

grand nombre de gènes impliqués dans les capacités de réponse sensorielle du système endocrinien présentent beaucoup de cibles pour l'évolution afin d'ajuster précisément les réponses développementales et environnementales (McCormick, 2009). Un timing précis de la dévalaison permet l'arrivée simultanée en mer des smolts des différentes populations au moment du pic de smoltification (fenêtre physiologique), au moment où les conditions environnementales sont les plus propices à leur survie (fenêtre écologique) (McCormick *et al.*, 1998). Etant donné que les souches Cong et Loire-Allier viennent de cours d'eaux très différents et qu'elles ont été placées dans les mêmes conditions de laboratoire mais qui leur sont étrangères à toutes les deux, il se peut que la réponse que nous avons obtenu témoigne de la différence de patrimoine génétique. Le fait que le pic d'après la NKA ne diffère que d'une semaine atteste cependant d'une certaine plasticité.

Lors d'un transfert des saumons ayant grandi en eau douce vers de l'eau de mer, les observations générales sont une augmentation de la concentration plasmatique en ions (Handeland *et al.*, 1998, 2000, 2003 ; Sigholt et Finstad, 1990) ce qui résultent en une augmentation de l'osmolalité (Finstad *et al.*, 1988 ; Stagg *et al.*, 1989 ; Handeland *et al.*, 2003). Pour la souche Cong, l'osmolalité maximale est observée le 06 juin (308 mosm/kg H<sub>2</sub>O) et sa concentration plasmatique en sodium est proche de 200 mM les 18 avril et 02 mai. Bien que cette valeur d'osmolalité soit encore comprise dans la gamme de tolérance de l'espèce, l'augmentation par rapport au test en mai montre probablement une capacité d'hypo-osmorégulation en régression. L'osmolalité la plus basse (02 mai) concorde avec une activité NKA importante. En ce qui concerne la souche Loire-Allier, la valeur maximale d'osmolalité se situe le 18 avril (321 mosm/kg H<sub>2</sub>O) et la concentration plasmatique en sodium est proche de 200 mM les 18 avril et 02 mai et dépasse les 200 mM le 06 juin. Contrairement à la souche Cong, les smolts français semble moins bien hypo-osmoréguler lors du premier test mais semble conserver une bonne capacité jusqu'en juin. Les valeurs faibles en mai concordent à nouveau avec le pic d'activité de la NKA. Vu la longueur de leur rivière d'origine, les smolts Loire-Allier développe probablement plus tardivement une capacité d'hypo-osmorégulation par rapport au smolt irlandais qui n'ont qu'un bref parcours avant d'arriver en mer et qui devraient déjà avoir acquis cette capacité en avril.

### **3.5.7.2. Effet de la température sur la smoltification en conditions de laboratoire et de terrain**

Abordons maintenant les résultats obtenus concernant l'application d'un saut de température au cours de la smoltification. Pour ce faire, nous considérerons les données des échantillons de laboratoire des trois circuits et les résultats des échantillons de Lixhe et de Méry. Rappelons qu'au sein du système expérimental, le circuit T2 diffère des circuits T1 et T3 à partir du 20 avril et le circuit T3 diffère du circuit T1 pour rejoindre les conditions du circuit T2 à partir du 10 mai (Figure 26).

Comme expliqué précédemment, le paramètre le plus fiable pour déterminer le déroulement de la smoltification est l'activité NaK ATPase (Hoar, 1988 ; Bisbal et Specker, 1991 ; McCormick *et al.*, 1998 ; Mackie *et al.*, 2007). Au niveau de l'étude en conditions de laboratoire, les deux souches présentent un résultat étonnant le 14 avril du fait de la différence significative entre les circuits T1 et T3. En effet, à ce moment-là, les conditions de température sont identiques dans les trois circuits. Cette différence ponctuelle est probablement due au fait que les poissons prélevés dans le circuit T3 étaient plus grand que ceux prélevés dans les deux autres circuits et à la présence d'individus montrant des signes d'infection bactérienne dans le circuit T3 bien que des individus extérieurement sains aient été utilisés pour l'échantillonnage.

Les résultats obtenus du 10 mars au 22 avril, à l'exception du 14 avril, nous montrent que pour les deux souches, les valeurs d'activité NKA sont similaires avant un choc de température et qu'un tel choc précoce ou tardif entraîne une valeur d'activité NKA plus faible

après un temps de latence. De plus, après l'application du choc de température (précoce ou tardif), la valeur d'activité NKA est similaire pour une même température comme le montre les valeurs du 26 mai et 2 juin pour la souche Cong et déjà une semaine auparavant pour la souche Loire-Allier. Lors des chocs thermiques, l'augmentation de la température commençait le vendredi de façon à finir le dimanche. Le lundi aucune différence n'était observable. Un effet du saut de température, notamment une diminution marquée de l'activité NKA, n'était visible qu'à partir de la semaine suivante soit 10 jours après le début de l'augmentation de la température ou 8 jours après que ce paramètre ait atteint la température simulée de la Meuse.

Il est donc observable que la condition de température à Lixhe entraîne un effet sur l'activité NKA pour les résultats du 12 mai. Sur base de la comparaison entre les résultats de laboratoire et de terrain, il semble que la température ait un effet sur la smoltification mais qu'il ne soit pas direct. Cet effet serait fonction du temps. Certaines études parlent de degrés-jours pour délimiter la fenêtre physiologique des smolts (Handeland *et al.*, 2004 ; Zydlewsky *et al.*, 2005). Le temps de latence avant l'observation d'un effet du saut de température pourrait ainsi facilement s'expliquer. Comme expliqué plus tôt, les caractéristiques des rivières influencent la smoltification et la dévalaison dont la température au sein de la rivière (McCormick *et al.*, 1998 ; McGinnity *et al.*, 2007 ; Stewart *et al.*, 2006). L'observation d'une valeur plus faible au niveau de l'activité NKA induite par le choc de température signifierait que les smolts perdent leur capacité à survivre en milieu marin. D'après Stefansson *et al.* (2008), la température influence la durée de la période où le saumon est apte à survivre en milieu marin. De plus, dans cette étude, il est précisé que les caractéristiques des smolts sont perdues plus rapidement lorsque les smolts sont dans des rivières où la température est élevée et dans des cas extrêmes, celle-ci peut même arrêter totalement la smoltification. Une autre étude menée sur la souche Loire-Allier, a abordé ce sujet en précisant que la température idéale pour la progression de la migration de dévalaison était située entre 7,5 et 13,5°C (Martin *et al.*, 2012). Grâce à cet article, il a pu être déterminé que la vitesse de nage était réduite de 80% pour des températures en-dessous de 4°C et au-dessus de 17°C. Par ailleurs, une température supérieure à 20°C entraîne un arrêt du mouvement de dévalaison.

Les valeurs du facteur de condition K pour les échantillons de laboratoire et de terrain présentent toutes une légère diminution globale, même si elles sont généralement stables. Cette observation laisse supposer que les saumons sont en train de s'affiner au fur et à mesure des prélèvements comme nous le confirme la littérature (Fessler et Wagner, 1969 ; Hoar, 1988 ; McCormick *et al.*, 2000 ; Handeland *et al.*, 2004). Cependant, rien ne peut être retiré sur l'effet de la température sur ce paramètre.

Etant donné que tous les changements associés à la smoltification sont sous contrôle endocrinien (Hoar, 1988 ; Bœuf, 1993 ; McCormick *et al.*, 1998 ; Ebbesson *et al.*, 2003 ; Stefansson *et al.*, 2008), les résultats des dosages hormonaux doivent être pris en compte pour comprendre l'ensemble de la réponse à un saut de température.

En ce qui concerne les valeurs de concentration plasmatique en GH et IGF-1, seules deux dates ont été analysées pour les échantillons de terrain. Les données d'IGF-1 montre une diminution entre Méry et Lixhe. Le rôle de l'IGF-1 dans l'osmorégulation serait corroboré par les résultats de la NKA plus faible à Lixhe.

Bien qu'aucune tendance à la hausse ou à la baisse ne puisse être retirée des dosages des hormones thyroïdiennes T3 et T4, il apparaît qu'un choc thermique provoque des fluctuations importantes de ces hormones. Ici également, la variabilité des résultats était tellement grande qu'il a été nécessaire de modifier les résultats avec la fonction logarithme. Outre le rôle des hormones thyroïdiennes dans la modification du comportement et la stimulation de la nage au cours de la smoltification, la T3 agit également sur les cellules à chlorure et peut interagir avec l'axe GH/IGF-1 dans la capacité d'osmorégulation (Dickhoff *et al.*, 1978, McCormick, 2011). A nouveau, la forte variabilité ne laisse conclure à une implication des hormones

thyroïdiennes dans la diminution de l'activité de la NKA de plus qu'aucune diminution d'argenture ou réapparition de marque de tacon sous forme de tache orange ou rouge n'a été remarquée.

D'après la théorie, une activité NKA importante entraîne une augmentation de la concentration plasmatique en sodium et une diminution de celle en potassium (Bystriansky et Schulte, 2011). Au niveau des conditions de laboratoire et de terrain, la concentration plasmatique en sodium et en potassium augmente lorsque l'activité NKA est faible. Il est possible que les saumons activent d'autres mécanismes de contrôle de la concentration plasmatique en ions lorsque l'activité NKA n'est pas suffisante pour assurer une osmorégulation suffisante (Hoar, 1988 ; McCormick et Saunders, 1987 ; Bœuf, 1993). En principe, l'osmolalité varie majoritairement en fonction de la concentration plasmatique en sodium. Cependant, ces valeurs sont relativement stables entre elles pour les échantillons de laboratoire et de terrain. Il est étonnant que les valeurs d'osmolalité n'aient pas augmenté pour les résultats des échantillons des circuits T2 et T3 alors qu'une augmentation de la concentration plasmatique en sodium a été observée. D'après Saunders et Henderson (1970), les valeurs d'osmolalité restent stables au cours de la smoltification. D'autres systèmes d'osmorégulation sont possiblement moins sensibles à une augmentation de la température et permettraient de minimiser une hausse de l'osmolalité.

Lors des tests de salinité, les paramètres les plus importants dans la détermination de la tolérance à la vie en milieu marin sont l'osmolalité et la concentration plasmatique en sodium (Handeland *et al.*, 1998, 2000, 2003 ; Sigholt et Finstad, 1990 ; Finstad *et al.*, 1988 ; Stagg *et al.*, 1989). Pour la souche Cong, l'augmentation significative de l'osmolalité pour les smolts issu des circuits T2 et T3 (335 mosm/kg H<sub>2</sub>O) indique une moindre capacité d'osmorégulation. La concentration plasmatique en ions sodium supérieure à 225 mM conforte cette observation. Le fait que le circuit T2 montre une différence par rapport au circuit T1 mais que le circuit T3 n'est pas différents des deux autres laisse penser que l'influence de la température est fonction du temps. En d'autres termes, les smolts du circuit T2 désmoltifient depuis plus longtemps que ceux du circuit T3. Cette remarque est également valable pour les smolts Loire-Allier. Toutefois, comme l'osmolalité des saumons varie entre 260 et 360 mOsm/Kg (Stefansson *et al.*, 2008), nos valeurs ne témoignent pas d'un inconfort sévère des poissons par rapport à la concentration hypertonique du milieu. Gardons néanmoins à l'esprit que le test n'a duré que 96h ce qui ne permet pas d'observer des conséquences à long terme. Il semble donc que les saumons sont toujours aptes à survivre à la transition vers le milieu marin en date du 06 juin tout comme ceux du circuit contrôle qui conservent une capacité d'osmorégulation supérieure.

### 3.5.8. Conclusions

Concernant l'étude des marqueurs de la smoltification, les résultats obtenus en conditions contrôlées ont montré que l'évolution de certains indicateurs comme l'activité Na<sup>+</sup>K<sup>+</sup> ATP-ase était parallèle à celle des processus de smoltification. En milieu naturel comme dans des conditions contrôlées, les profils de cette activité étaient caractérisés par une décharge entre fin mars et mi-avril et une seconde intervenant entre fin avril et la première quinzaine de mai. L'intensité de la smoltification pourrait être maximale peu avant ou au cours de la période de cette deuxième décharge de NKA car cela correspond au pic de dévalaison observé sur l'Ourthe.

L'analyse des marqueurs de smoltification en fonction du pool génétique nous ont permis de mettre en évidence une différence dans le timing de smoltification entre les deux souches de saumon étudiées. En effet, lors de notre étude, les tacons de la souche Loire-Allier ont smoltifié de manière plus précoce que ceux de la souche Cong. Cette différence serait probablement due aux différences du patrimoine génétique des deux souches. Ceci confirme

l'étude préliminaire de l'année dernière et soutient l'hypothèse de l'importance du pool génétique dans le timing de la smoltification et dans le choix de la souche utilisée dans les programmes de réhabilitation de l'espèce qui ne doit pas uniquement se baser sur la disponibilité ou des raisons financières.

De plus, nous avons également mis en évidence une différence du timing de smoltification entre les smolts dans les conditions de laboratoire et de terrain. Ceci montre une fois de plus l'importance de corroborer les études en conditions de laboratoire par un suivi en milieu naturel puisqu'il est impossible de recréer tous les facteurs environnementaux influençant la smoltification en milieu contrôlé.

En résumé, cette étude a permis de confirmer qu'un saut de température pendant la dévalaison affectait de manière significative le statut physiologique des smolts comme mis en évidence par l'activité  $\text{Na}^+\text{K}^+$  ATPase plus faible chez les smolts soumis au choc de température. Les deux souches réagissent de la même façon aux changements de condition thermique après une période de 8 à 10 jours. Nous avons également remarqué qu'il n'y avait pas de différence entre les circuits à la même température. Les mécanismes sous-jacents ne sont pas encore clairs. Comme les smolts des deux circuits expérimentaux ayant subi un saut de température ont réagi de la même manière, l'augmentation rapide de la température semble être plus importante que les niveaux de température entre lesquelles les sauts sont réalisés ou encore le moment de la dévalaison auquel le saut a lieu. L'étude de terrain a permis de confirmer que la température agissait sur le statut physiologique des smolts en conditions naturelles ce qui suggère que les smolts dans le bassin mosan sont négativement impactés par les conditions thermiques rencontrées avant d'arriver en mer.

Les conclusions de cette étude montrent l'intérêt d'une meilleure caractérisation du statut physiologique des smolts dévalant en vue d'améliorer le management du programme de repeuplement. Il serait toutefois intéressant de compléter les analyses de l'étude en cours et d'envisager d'autres protocoles d'études sur le statut physiologique des smolts :

- L'étude fondamentale pourrait être élargie à d'autres marqueurs comme la quantité et la taille des cellules à chlorure branchiales, la concentration plasmatique en ions chlorure ou encore l'analyse du rapport glucose/glycogène hépatique au cours de la smoltification
- L'étude des mécanismes moléculaires sous-jacents permettrait de comprendre comment la température influence la smoltification.
- Comme nous avons vu une différence dans le timing de smoltification entre la souche Loire-Allier et Cong en milieu contrôlé, il serait intéressant de voir comment la souche Cong évoluerait en conditions naturelles lorsque tous les facteurs environnementaux sont présents.
- Pour les conditions de terrain, il serait intéressant de créer deux systèmes parfaitement semblables entre Méry et Lixhe. En effet, il s'agissait d'un vivier à Méry et d'un bassin à Lixhe ce qui pourrait entraîner des variations non liées à la température au sein des résultats.

#### **4. Élaboration d'un protocole de cryoconservation et d'une cryobanque de sperme de salmonidés (UNamur)**

#### 4.1. Détermination du moment optimum de collecte de la semence pour la cryoconservation de la semence des jeunes saumons :

- *L'objectif :*

L'objectif est de consolider l'étude destinée à déterminer la variation de la qualité du sperme de saumon au cours de la saison de reproduction afin d'identifier un moment optimal de collecte de spermatozoïdes plus résistants aux processus de congélation-décongélation. En plus des paramètres d'évaluation de la qualité du sperme, une partie des échantillons est destinée à l'analyse d'extraction des lipides afin de vérifier s'il existe une corrélation entre la qualité des acides gras et celle des spermatozoïdes cryopréservés.

- *Protocole expérimental :*

- L'expérience a été réalisée sur des jeunes saumons d'origine Loire-Allier (femelle F1 x male sauvage) âgés d'environ deux ans et élevés à station salmonicole d'Erezée.
- Ils étaient répartis dans deux bassins d'une vingtaine de poissons par bassin dont dix individus étaient identifiés par des Pit-Tags le 11 décembre 2014, jour du premier prélèvement.
- Deux prélèvements ont été réalisés le 11/11/2014 et 15/01/2015 ; en mi-février, il n'a pas été possible de faire un échantillonnage car le volume de sperme était faible pour pouvoir faire toutes les analyses.
- Pour la collecte de sperme, le stripping était réalisé de façon à épuiser le stock disponible afin de déterminer l'évolution de la production spermatique.
- Après prélèvement, chaque échantillon de sperme était subdivisé en deux aliquots, soit une partie conditionnée avec du dilueur IMV additionné de jaune d'œuf (1:5) et qui servira pour l'évaluation de la motilité après cryoconservation. La seconde partie du sperme est conditionnée avec le même dilueur IMV additionné de BSA (1:5) pour les analyses des lipides totaux et acides gras.
- Le remplissage des paillettes a été faite environ 30 min après dilution sur place à Erezée. Les paillettes sont ensuite placées pendant 4 min au-dessus de la vapeur d'azote puis plongées dans l'azote liquide pour la cryoconservation.
- Un aliquot d'un ml de sperme frais non dilué est ramené au laboratoire URBE à Namur pour l'extraction des lipides totaux ; tandis que le restant du sperme dilué avec les deux solutions est testé deux heures après au centre de l'AWE à Ciney afin d'avoir les caractéristiques de la semence fraîche.
- Les caractéristiques de la motilité du sperme frais ont été testées par la méthode CASA ; l'analyse du sperme cryopréservé n'est pas encore faite à cause d'une forte occupation des équipements du centre de Ciney. En effet, suite à la forte réduction de la durée d'activation des spz poisson par les processus de congélation-décongélation, un paramétrage spécifique est nécessaire, et une telle adaptation devrait se faire pendant les périodes creuses du centre. En revanche, il a été possible d'appliquer la méthode de cytométrie en flux pour l'évaluation de la viabilité et la qualité des membranes des spz frais et cryopréservés.
- Les caractéristiques morphométriques des jeunes saumons testés au cours de deux dates sont présentées dans les tableaux 22a-b

**Tableau 22a: Caractéristiques biométriques des jeunes saumons Loire-Allier prélevés à la station salmonicole d'Erezée le 11/12/2014**

<b>Cuve n° 1 11/12/2014</b>	Numéro	Longueur à la fourche (cm)	Poids vif (g)	Couleur paillette <b>Canister Jaune</b>
Bassin A22				
1	0006CE3A8A	26.5	210.4	Vert-blanc
2	0006C9CAA9	27.8	227.1	Jaune-blanc
2	0006CE37E0	25.4	184.1	Blanc-blanc
4	0006CA1B80	26.5	228.9	Rouge-blanc
5	0006C9ACFA	24.6	198.7	Gris-blanc
Bassin B32				
1	0006CE4374	27.9	235.2	Vert-blanc-barre
2	000CA16C9	24.6	178.8	Jaune-blanc-barre
3	0006CE4D38	25.7	188.9	Blanc-blanc-barre
4	0006CE3430	25.6	183.1	Rouge-blanc-barre
5	0006C9BD3E	23.8	156.4	Gris-blanc-barre

**Tableau 22b: Caractéristiques biométriques des jeunes saumons Loire-Allier prélevés à la station salmonicole d'Erezée le 15/01/2015**

<b>Cuve n° 1 15/01/2015</b>	Numéro	Longueur à la fourche (cm)	Poids vif (g)	Couleur paillette <b>Canister Rouge/Jaune</b>
Bassin A22				
1	0006CA0C3D	26.9	231.0	Vert-blanc
2	0006C9CAA9	27.3	212.0	Jaune-blanc
2	0006CE37E0	24.7	158.0	Blanc-blanc
4	0006CA1B80	26.6	210.0	Rouge-blanc
5	0006C9ACFA	25.0	168.0	Gris-blanc
Bassin B32				
1	0006CE4374	27.9	235.2	Vert-blanc-barre
2	000CA16C9	24.6	178.8	Jaune-blanc-barre
3	0006CE4D38	25.7	188.9	Blanc-blanc-barre
4	0006CE3430	25.6	183.1	Rouge-blanc-barre
5	0006C9FE2B	23.8	156.4	Gris-blanc-barre

N.B. : Deux poissons morts avant le second prélèvement ont été remplacés (cfr 0006CA0C3D, 0006C9FE2B)

▪ *Résultats :*

(a) *Production spermatique :*

- La production spermatique a été estimée par le volume et la concentration en spermatozoïdes. Les valeurs individuelles et moyennes concernant le volume de sperme ainsi que la concentration en spz par unité de volume sont reprises dans le tableau 23 et les figures 44a-b, respectivement.
- Une légère augmentation de volume en janvier associée à une légère diminution de densité en spermatozoïdes est observée comparativement aux valeurs obtenues en mi-décembre. Mais les moyennes ne sont pas statistiquement différentes contrairement aux résultats de la saison de reproduction 2013 au cours de laquelle le volume de sperme était significativement plus élevé en janvier comparativement aux valeurs de décembre. Des variations annuelles dans la production spermatiques sont souvent observées chez la plupart d'espèces de poissons d'élevage. Néanmoins, les différences observées au cours de la saison 2013 pourraient être relatives aux variations individuelles car suite à une forte mortalité, il n'a pas été possible de prélever les

mêmes individus au cours des deux moments d'évaluation. Dans l'étude de 2014, les groupes comparés étaient composés des mêmes individus sauf deux cas de mortalité avant le test de mi-janvier 2015.

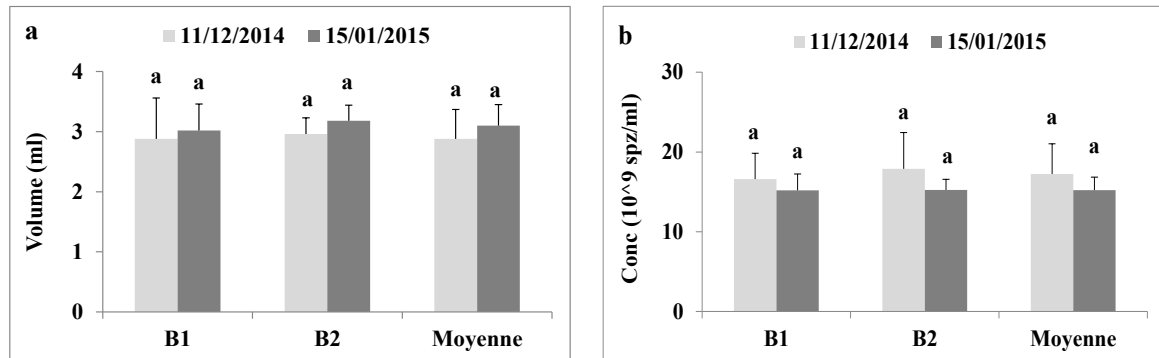


Figure 44a-b: Variation du volume (a) et de la concentration en spz (b) chez les jeunes saumons d'Erezée au cours de la saison de reproduction 2014-2015.

Tableau 23: Valeurs individuelles de la production spermatique et des caractéristiques de la viabilité des spermatozoïdes (spz) frais ou cryopréservés (cryo) des jeunes saumons prélevés en mi-décembre 2014 et mi-janvier 2015 à la station salmonicole d'Erezée

Bassin/date	N°	Vol (ml)	[10 <sup>9</sup> spz/ml]	% spz vivants		% spz vivants avec PMS		Bassin/date	N°	Vol (ml)	[10 <sup>9</sup> spz/ml]	% spz vivants		% spz vivants PMS	
				Frais	Cryo.	Frais	Cryo.					Frais	Cryo.	Frais	Cryo.
<b>B1/11-12-2014</b>								<b>B1/15-01-2015</b>							
	S1	3,8	18,8	96	76	94	75		S1	3,5	13,5	97	43	94	42
	S2	2,0	16,8	92	50	90	49		S2	2,8	16,9	94	52	91	52
	S3	3,1	15,6	90	59	87	56		S3	3,5	17,5	91	48	88	48
	S4	2,5	11,7	94	52	90	51		S4	2,6	12,8	94	51	92	50
	S5	3,0	20,1	88	58	85	57		S5	2,7	15,3	90	46	89	46
<b>B2/11-12-2014</b>								<b>B2/15-01-2015</b>							
	S1	2,5	14,1	98	73	99	72		S1	2,9	16,6	98	42	92	41
	S2	3,0	24,3	85	24	82	23		S2	3,0	15,3	95	41	90	39
	S3	3,0	15,7	88	38	85	38		S3	3,4	16,5	92	43	88	42
	S4	3,2	14,3	94	59	92	56		S4	3,1	13,7	94	58	90	58
	S5	3,1	21,1	92	47	87	46		S5	3,5	14,0	92	66	90	65

. PMS : Phospholipides membranaires stables

(b) La viabilité des spermatozoïdes frais et cryopréservés :

- Les données individuelles et moyennes concernant la viabilité (% des spermatozoïdes vivants) ou la qualité des membranes des spz vivants (% spz avec des phospholipides membranaires stables) avant et après congélation sont présentées dans le tableau 23 et les figures 45a-b, respectivement.
- Comme pour la production spermatique, la viabilité des spermatozoïdes frais (Figure 45a) n'a pas varié de manière significative au cours de la saison de reproduction. Néanmoins sur le plan individuel, trois individus sur les dix poissons testés ont montré une viabilité légèrement faible (< 90% de spz vivants) en mi-décembre alors qu'en janvier toutes les valeurs sont au-dessus de cette norme indiquant une qualité optimale du sperme (Tableau 23). Parallèlement à la viabilité, la stabilité membranaire des spz est excellente pour tous les individus testés et ne montre pas non plus de différences entre les deux périodes testées (Figure 45b).
- Comme déjà montré par l'analyse microscopique dans nos rapports précédents, la méthode de cytométrie en flux a révélé que la viabilité est affectée par la cryoconservation mais que la survie des spz reste bonne car elle varie entre 48 et 59% (Figure 45a) avec des valeurs pouvant aller jusqu'à 73-76% (Tableau 23) pour certains individus. Bien que l'âge très jeune puisse jouer en défaveur de la résistance au refroidissement, les valeurs de la survie des spz après cryoconservation sont comparables à celles obtenues chez d'autres espèces de poissons (Martinez-Paramo *et al.*, 2012). Il est aussi intéressant de constater que le refroidissement n'a pas affecté la

stabilité des membranes des spermatozoïdes cryopréservés vivants car les proportions sont restées élevées (Figure 45b) et proches de celles des spz cryopréservés vivants comme c'est le cas pour les spermatozoïdes frais.

- Globalement, les données de survie après cryoconservation n'ont pas montré de différence dans le temps indiquant que la capacité de survie était comparable entre les deux périodes testées. En effet, après cryoconservation, des valeurs d'une survie inférieure à la moyenne ont été obtenues en mi-décembre chez deux individus (23 et 38%) alors que la survie était supérieure à 40% en mi-janvier ; mais c'est aussi en décembre que deux individus (73-76%) d'une plus grande capacité de survie ont été observés.

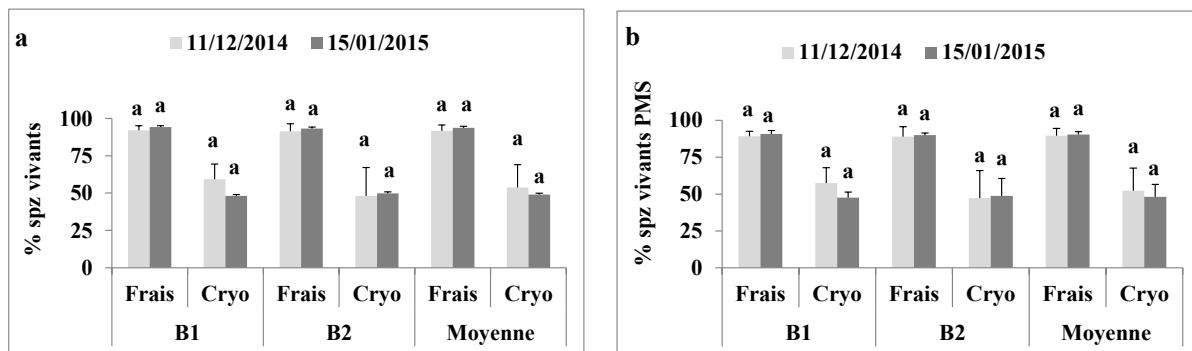


Figure 45a-b: Variation de la viabilité (% spermatozoïdes vivants) (a) et la qualité des membranes des spz (spz avec des phospholipides membranaires stables, PMS) (b) avant et après la cryoconservation du sperme des jeunes saumons d'Erezée au cours de la saison de reproduction 2014-2015.

(c) *Motilité des spermatozoïdes frais :*

- Les données individuelles et moyennes concernant les principaux paramètres de la motilité des spermatozoïdes frais sont présentées dans le tableau 24 et les figures 46a-f, respectivement.
- Contrairement à la production spermatique et à la survie, les valeurs relatives aux principaux paramètres (Figure 46) de la motilité des spz frais indiquent que la qualité du sperme est significativement meilleure en mi-janvier qu'en mi-décembre à l'exception de la mobilité totale (% spz mobiles, Figure 46a) ou linéaire (% des spz mobiles linéaires, Figure 46e). Cette tendance corrobore les résultats déjà obtenus par microscopie au cours de la saison 2013 ; mais il est difficile à ce stade de tirer une conclusion définitive car l'analyse des paramètres de la motilité du sperme cryopréservé n'est pas encore réalisée.
- Sur le plan individuel, les valeurs des paramètres de motilité montrent une faible variabilité, mais des valeurs faibles ont été observées chez deux individus sur les dix testés en décembre et aussi en janvier pour un de ces derniers (Tableau 24, poisson n° 5) indiquant que ces individus pourraient être peu fertiles.
- L'analyse des taux de lipides et des profils en acides gras est en cours afin de tester une corrélation éventuelle avec la variation dans les caractéristiques de la motilité des spz au cours de la saison de reproduction.

**Tableau 24: Valeurs individuelles des principaux paramètres de la motilité des spz frais des jeunes saumons prélevés en mi-décembre 2014 et mi-janvier 2015 à la station salmonicole d'Erezée**

Bassin/date N° mâle	% motilité	% Progressif	VCL	VSL	LIN	ALH	Bassin/date N° mâle	% motilité	% Progressif	VCL	VSL	LIN	ALH
<b>B1/11-12-2014</b>							<b>B1/15-01-2015</b>						
S1	79	33	110	86	0,78	3,85	S1	95	59	185	150	0,81	6,54
S2	96	49	125	101	0,82	4,28	S2	97	55	189	152	0,80	7,03
S3	94	39	112	93	0,83	3,63	S3	93	63	185	156	0,84	5,67
S4	99	59	125	105	0,84	3,88	S4	90	59	196	167	0,85	6,37
S5	93	29	156	117	0,75	6,71	S5	90	58	194	168	0,86	4,95
<b>B2/11-12-2014</b>							<b>B2/15-01-2015</b>						
S1	98	38	147	119	0,81	4,83	S1	88	44	176	151	0,85	5,42
S2	90	42	120	97	0,80	3,57	S2	92	46	173	138	0,79	6,42
S3	96	38	143	117	0,82	5,02	S3	96	60	186	159	0,85	5,23
S4	92	39	133	108	0,82	4,69	S4	91	58	192	158	0,82	6,27
S5	82	28	145	109	0,75	6,29	S5	84	43	166	130	0,78	6,62

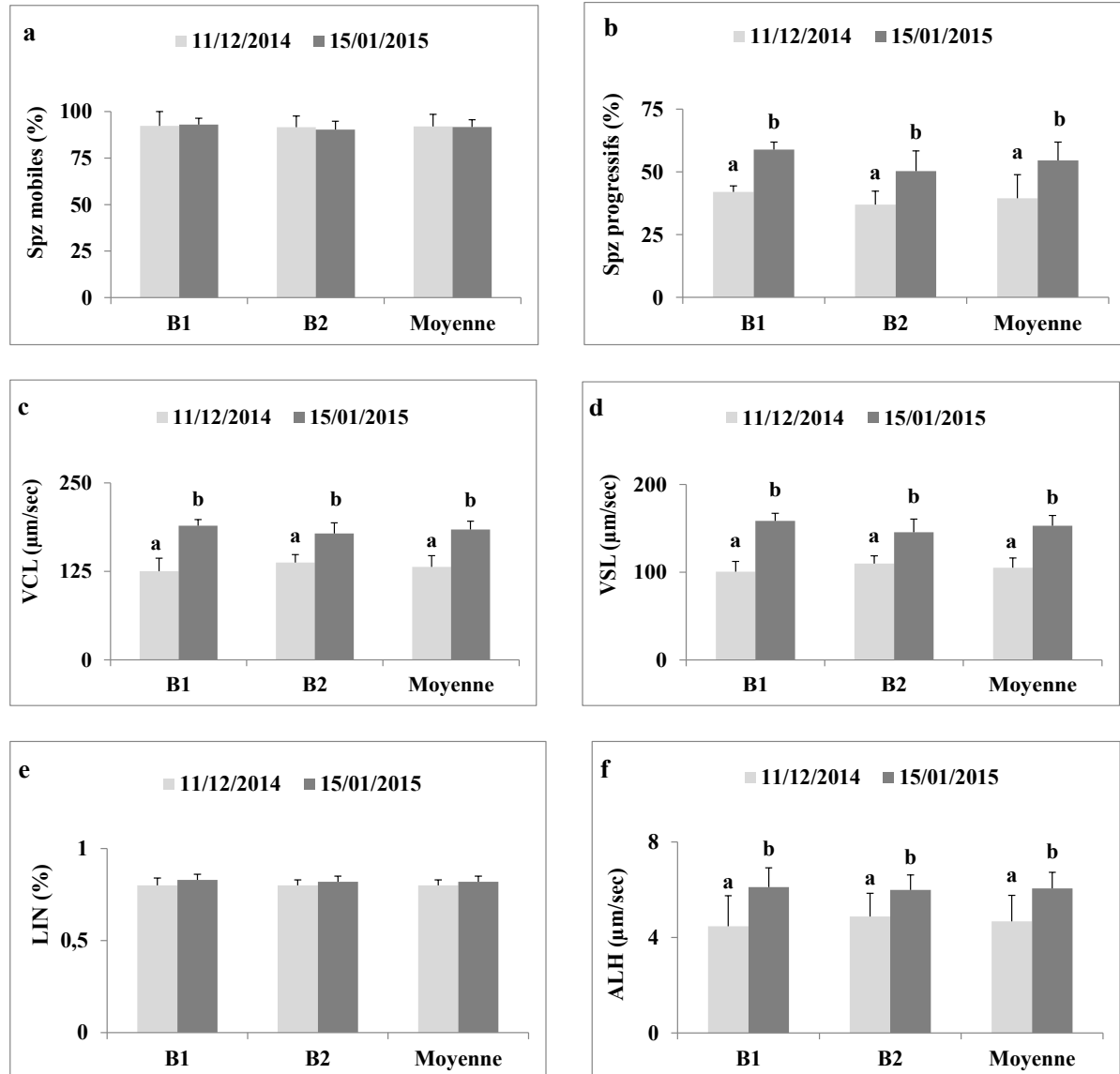


Figure 46a-f: Variation des principaux paramètres de la mobilité des spermatozoïdes des jeunes saumons d'Erezée au cours de la saison de reproduction 2014-2015. (a) % de spz mobiles, (b) % spz progressifs, (c) Vitesse curvilinéaire (d) Vitesse linéaire, (e) % spz à vitesse linéaire, (f) Amplitude de déplacement latéral de la tête

## 4.2. Testage des géniteurs disponibles à la station d'Erezée et stockage de gamètes

Comme tous les mâles sauvages capturés ont été utilisés pour la reproduction, aucun lot n'a été destiné au stockage de semence à long terme.

## **4.3. Développement de la structure de la cryobanque saumon**

### **4.3.1. Collaboration avec l'AWE-Ciney**

- La collaboration avec l'AWE-Ciney a consisté à l'appui technique concernant les analyses de la viabilité et la motilité du sperme par les méthodes de cytométrie en flux et CASA.
- Ce type de collaboration concernant l'évaluation des paramètres de viabilité des spermatozoïdes ainsi que l'aide au marquage des paillettes sera poursuivi étant donné que nous ne disposons pas encore d'équipements propres au projet.

### **4.3.2. Entretien du stock du sperme cryopréservé disponible**

- Un remplissage bihebdomadaire d'azote liquide est réalisé en vue de maintenir l'intégrité du sperme cryopréservé issu des essais antérieurs. En rappel, il s'agit de trois petites cuves GT35 contenant environ 584 paillettes utilisables pouvant donc permettre de fertiliser environ 70 kg d'œufs.
- En vue d'une meilleure pérennité de la cryobanque saumon, des contacts ont été établis l'année dernière entre l'équipe du Prof Isabelle Donnay de l'UCL et du centre de recherche agronomique (CRAw) de Gembloux.
- Ces deux centres ont reçu une promesse de la part de RW d'appuyer leurs actions de mise en place d'une localisation secondaire d'une cryobanque de sperme d'espèces en déclin en Belgique. Un local est déjà mis en disposition par le CRAw mais son aménagement dépend de la convention en attente de financement par la RW.
- Ces deux centres sont d'accord que ce local pourra servir de localisation secondaire pour deux grandes cuves de cryoconservation de sperme saumon moyennant une participation aux frais d'entretien y relatifs.

**5. Caracterisation de l'efficacite de la remontee des poissons dans l'axe forme par la meuse en aval du barrage de lixhe, les barrages de monsin et d'yvoz-ramet et la basse ourthe en amont du barrage de liege/ grosses battes**

**(UNIVERSITE DE LIEGE)**

## 5.1. Contrôle des remontées dans les échelles à poissons de Lixhe sur la Meuse en 2014

### 5.1.1. Conditions de réalisation de l'étude

Les contrôles de la grande échelle (GE) en 2014 (16<sup>ème</sup> année consécutive) ont été réalisés du 2 janvier au 29 décembre (122 contrôles et 362 jours de piégeage en continu). Dans la petite échelle (PE), les contrôles ont couvert la période du 12 mai au 19 septembre (42 contrôles et 130 jours de piégeage en continu). Les contrôles de la PE sont en lien avec le projet FEP « Stock Anguille Meuse » dont le LDPH est promoteur et les résultats (dynamique de migration et évaluation du stock entrant d'anguilles en Meuse belge) ne seront pas détaillés dans ce rapport saumon.

Les débits de la Meuse à Lixhe sont disponibles grâce aux relevés du SETHY-SPW (fig. 47) et le régime thermique est connu (fig. 48) grâce à des enregistrements en continu de la température de l'eau spécialement mis en place par l'ULG sur le site via des loggers de la marque Onset.

#### *Régime des débits*

En 2014 de début janvier à début mars les débits enregistrés sont compris entre 400 et 600 m<sup>3</sup>/s. Le débit de la Meuse a ensuite diminué régulièrement avec des moyenne mensuelle de 197 m<sup>3</sup>/s en mars, 79 m<sup>3</sup>/s en avril, 86 m<sup>3</sup>/s en mai et 59 m<sup>3</sup>/s en juin et durant cette période le débit a atteint un minimum de 12 m<sup>3</sup>/s le 27 juin 2014. Par la suite plusieurs hausses du débit ont été enregistrées le 10 juillet avec 485 m<sup>3</sup>/s, le 27 août avec 356 m<sup>3</sup>/s, le 21 septembre avec 336 m<sup>3</sup>/s et le 9 octobre avec 283 m<sup>3</sup>/s. Au cours du mois de décembre le débit a atteint 1000 m<sup>3</sup>/s le 14/12. Par rapport à l'année 2013, le débit 2014 est marqué par des débits printaniers et automnaux plus bas. Il y a par contre eu en 2014 trois pics de débit >300 m<sup>3</sup>/s pendant la période estivale (Fig. 47).

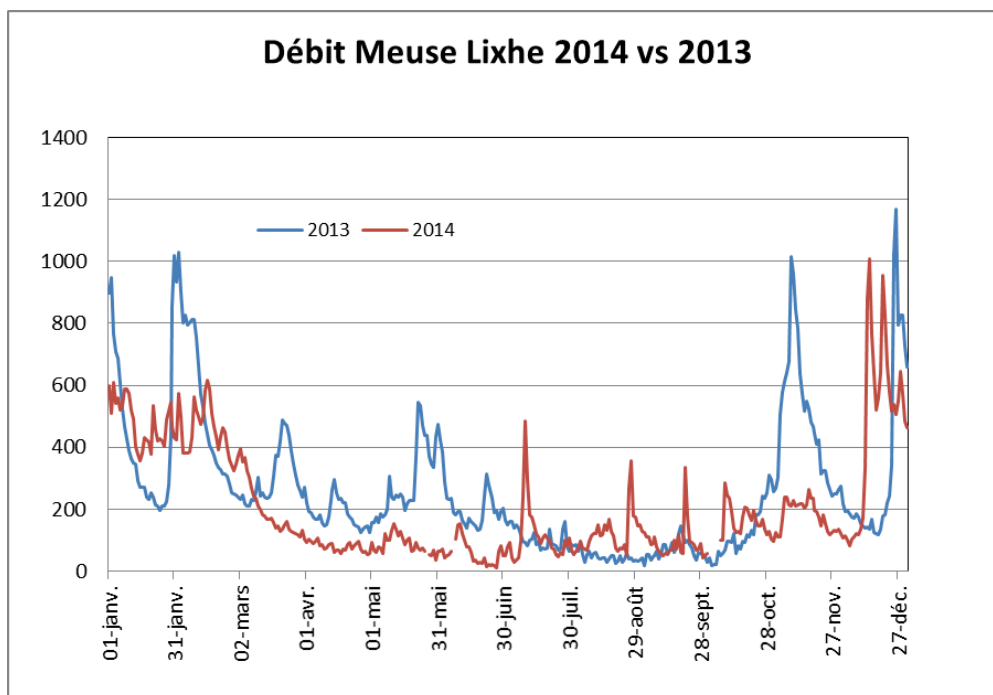


Figure 47. Débits moyens journaliers de la Meuse à Visé-Lixhe en 2014 (trait rouge) par rapport à 2013 (trait bleu) (source : SETHY SPW).

## Régime des températures de l'eau

En 2014, la température de l'eau est restée inférieure à 10°C jusqu'à la mi-mars, puis elle a augmenté progressivement pour atteindre 12°C fin mars et 17°C fin avril. La température s'est maintenue entre 17 et 20°C durant le mois de mai et une partie du mois de juin. De mi-juin à fin août la température est montée au-dessus des 20°C et a atteint un maximum de 24°C le 1 août. Elle est ensuite progressivement redescendue en dessous de 20°C en septembre à l'exception du 21 septembre, de 18°C en octobre et de 14°C en novembre pour atteindre une moyenne mensuelle de 7°C en décembre avec un minimum de 5°C le 31 décembre.

Le régime thermique de la Meuse à Lixhe apparaît nettement plus chaud en 2014 qu'en 2013 à des périodes critiques pour la migration des poissons. Cette période est comprise entre début mars et fin juin, avec 10,9°C en mars (vs 6,8°C en 2013), 15,3°C en avril (vs 10,8°C en 2013), 17,5°C en mai (vs 14,4°C en 2013) et 21,2°C en juin (vs 18,4°C en 2013). En 2014 la période comprise entre mi-juillet et mi-septembre est légèrement plus froide que celle de 2013. Ensuite, le régime thermique de la Meuse est relativement identique à celui de 2013.

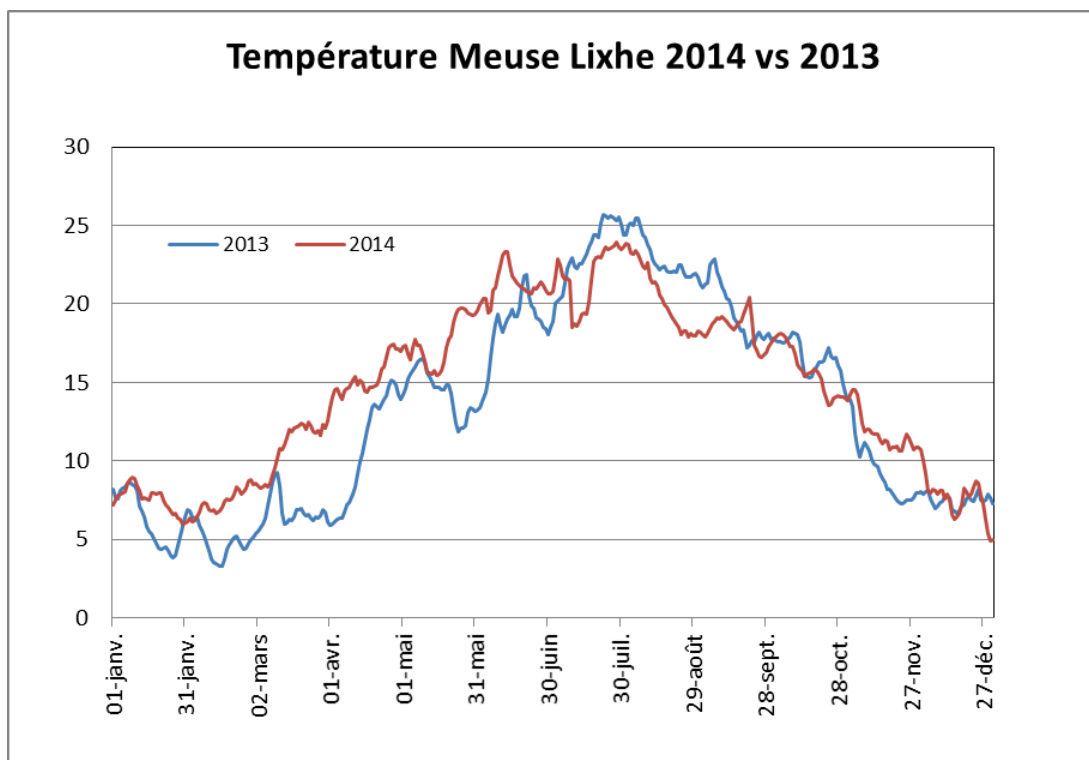


Figure 48. Régime des températures moyennes journalières dans la Meuse à Lixhe en 2014 (trait rouge) par rapport à 2013 (trait bleu).

### 5.1.2. Statistiques de base des captures

Les résultats des captures 2014 sont synthétisés dans le tableau 25. Ils peuvent être comparés à ceux des contrôles en 2013 (tabl. 26). Les captures totales en 2014 se montent à n=1674 poissons (non 0<sup>+</sup>) pour une biomasse de 1332,05kg versus n=1804 poissons non 0<sup>+</sup> et une biomasse de 1202,07kg en 2013.

Tableau 25. Statistiques des captures des poissons en migration de remontée dans les deux échelles à poissons du barrage de Lixhe sur la Meuse entre janvier et décembre 2014 dans la grande échelle (122 contrôles) et entre début mai et fin septembre dans la petite échelle (42 contrôles entre mai et septembre). GE = grande échelle (contrôlée toute l'année) PE = ancienne petite échelle (contrôlée de mai à septembre).

	Nombre			Biomasse (Kg) (sauf 0+)		
	GE	PE	Total	GE	PE	Total
Saumon atlantique	15	1*	15+1*	56,20	0,01	56,21
Truite commune	31	-	31	62,30	-	62,30
Truite AEC	-	1	1	-	0,29	0,29
Barbeau	39	5*	39+5*	86,70	0,03	86,73
Hotu	11	-	11	12,00	-	12,00
Chevaine	31	1*	31+1*	27,40	0,003	27,40
Spirilin 4-9 cm	-	61	61	-	0,22	0,22
Ide mélanote	6	8+2*	14+2*	6,40	0,09	6,49
Aspe	61	1*	61+1*	96,00	0,004	96,00
<b>Total rhéophiles</b>	<b>194</b>	<b>70+10*</b>	<b>264+10*</b>	<b>347,00</b>	<b>0,65</b>	<b>347,65</b>
Ablette commune	-	503	503	-	0,86	0,86
Gardon	146	5674*	146+5674*	68,10	14,94	83,04
Rotengle	-	1	1	-	0,21	0,21
Brème commune	482	3	485	674,80	4,20	679,00
Brème bordelière	1	-	1	0,40	-	0,40
Carpe commune	5	-	5	31,30	-	31,30
Grémille	-	1	1	-	0,002	0,00
Gobie	-	4	4	-	0,01	0,01
Perche	2	25208*	2+24898*	0,70	116,69	117,39
Silure	8	-	8	49,60	-	49,60
Anguille	-	254	254	-	22,60	22,60
<b>Total non rhéophiles</b>	<b>644</b>	<b>766+30882</b>	<b>1410+30882</b>	<b>824,90</b>	<b>159,50</b>	<b>984,40</b>
<b>Total général</b>	<b>838</b>	<b>836+30892</b>	<b>1674+30892</b>	<b>1171,90</b>	<b>160,15</b>	<b>1332,05</b>

\* = poissons 0+ ou assimilés : saumon smolt < 25 cm ; truite < 15 cm ; hotu < 10 cm ; chevaine < 10 cm ; aspe < 10 cm ; perche < 8 cm ; ide < 10 cm ; gardon < 8 cm

Tableau 26. Statistiques des captures des poissons en migration de remontée dans les deux échelles à poissons du barrage de Lixhe sur la Meuse entre janvier et décembre 2013 (109 contrôles) dans la grande échelle et entre fin avril et fin septembre 2013 (42 contrôles) dans la petite échelle. GE = grande échelle (contrôlée toute l'année) PE = ancienne petite échelle (contrôlée de avril à septembre).

	Nombre			Biomasse (Kg) (sauf 0+)		
	GE	PE	Total	GE	PE	Total
Saumon atlantique	7	1	7+1*	29	0,02	29,02
Truite commune	11	3	14	15,6	0,35	15,95
Barbeau	14	16+2*	30+2*	30,2	1,91	32,11
Hotu	5	1	6	3,3	0,09	3,39
Chevaine	14	4+1*	18+1*	19,2	1,46	20,66
Spirilin 4-9 cm	-	16	16	-	0,04	0,04
Vandoise	-	2+2*	2+2*	-	0,05	0,05
Ide mélanote	3	2+3*	5+3*	2,1	0,47	2,57
Aspe	22	17*	22+17*	35	0,09	35,09
<b>Total rhéophiles</b>	<b>76</b>	<b>44+26*</b>	<b>120+26*</b>	<b>134,4</b>	<b>4,48</b>	<b>138,88</b>
Ablette commune	-	327	327	-	4,04	4,04
Gardon	147	217+8*	364+8*	28,9	23,7	52,6
Brème commune	595	102	697	833	18	851
Brème bordelière	5	1	6	1,8	0,22	2,02
Carpe commune	5	-	5	38,1	-	38,1
Tanche	1	-	1	2,7	-	2,7
Perche	3	3+277*	6+277*	0,02	1,27	1,29
Sandre	-	1	1	-	0,54	0,54
Silure	12	-	12	81,8	-	81,8
Anguille	(+)	265	265	(+)	29,1	29,1
<b>Total non rhéophiles</b>	<b>768</b>	<b>916+285*</b>	<b>1684+285*</b>	<b>986,32</b>	<b>76,87</b>	<b>1063,19</b>
<b>Total général</b>	<b>844</b>	<b>960+311*</b>	<b>1804+311*</b>	<b>1120,72</b>	<b>81,35</b>	<b>1202,07</b>

\* = poissons 0+ ou assimilés : saumon smolt < 25 cm ; truite < 15 cm ; barbeau < 10 cm ; hotu < 10 cm ; chevaine < 10 cm ; aspe < 10 cm ; perche < 8 cm ; ide < 10 cm ; gardon < 8 cm.

(+) anguilles interceptées dans la grande échelle au moyen de nasses ou filets ou lors de vidanges (n= 132 et B= 14,26kg)

Le nombre total de captures dans la GE est légèrement inférieur à 2013 (1674 en 2014 vs 1804 en 2013). Par contre nous observons une augmentation du nombre d'alevins 0+ par rapport à 2013 (30892 en 2014 vs 311 en 2013).

En 2014, les captures dans la GE entre janvier et début juin représentent 72 % du nombre total des captures annuelles pour 2014. Entre le 12 mai et le 19 septembre 2014, près de 68 %

de la biomasse des poissons migrateurs est concentrée dans la grande échelle.

Les captures totales de 1332,05 kg sont pratiquement du même ordre de grandeur mais un peu plus élevées en 2014 qu'en 2013 (1202,07 kg ; voir tabl. 24).

### 5.1.3. Analyse des observations 2014 pour les espèces et les groupes d'espèces

#### 5.1.3.1. Saumon atlantique (tabl. 27 ; fig. 49-51)

Les captures de saumons atlantiques s'élèvent à n=15. Le nombre de captures est deux fois plus important que pour l'année 2013 où 7 individus avaient été interceptés. Bien que le succès des remontées soit lié à une multitude de facteurs, un point important en 2014 est **l'arrêt des turbines de la centrale du 7 février au 11 septembre 2014 pour cause de travaux**. Le rejet des turbines peut exercer un effet attractif sur les poissons qui trouvent plus facilement l'entrée de la GE en phase de remontée.

**Tableau 27. Liste et caractéristiques (biométrie, souche) des saumons adultes (n=15) capturés dans la nouvelle passe à poissons du barrage de Lixhe au cours de l'année 2014 et données environnementales associées**

Date	Débit m3/s	Temp °C	Oxygène mg/l	Oxygène % sat.	Taille	Poids	Sexe	Taille mandibule	Souche (analyse DNA)
23-04-14	82,5	16,5	9,3	95	907	6000	F	82	Loire-Allier
05-05-14	73	15,8	-	-	790	3870	F	75	Loire-Allier
12-05-14	134,3	15,8	7,8	79	930	7280	F	82	Loire-Allier
14-05-14	129	15,4	7,8	77	723	3380	F	63	Loire-Allier
28-05-14	51	13,1	-	-	658	2380	M	64	Loire-Allier
30-05-14	35,1	19,1	6,7	72	694	3070	M	71	Loire-Allier
24-07-14	55,1	25,6	-	-	800	4060	M	75	Loire-Allier
01-09-14	127,6	17,9	7,3	76	748	3220	F	65	Loire-Allier
01-09-14	127,6	17,9	7,3	76	856	4440	F	69	Loire-Allier
03-09-14	111,3	17,9	7,4	77	803	4220	F	69	Loire-Allier
10-10-14	244,4	16,5	7,5	77	790	3430	F	67	Loire-Allier
13-10-14	137,2	15,7	8,7	88	725	2670	M	61	Loire-Allier
27-10-14	136,4	13,9	9,2	88	615	2000	F	54	Irlande
06-11-14	237,8	13,1	9	86	697	2500	M	92	Ecosse
12-11-14	218,6	11,7	10	97	772	3630	F	71	Irlande

Les analyses génétiques réalisées par l'équipe de l'UCL indiquent que la majorité (12 sur 15) des saumons capturés à Lixhe est de souche Loire-Allier mais qu'il y a également 2 saumons de souche irlandaise et un de souche écossaise.

Il faut signaler que le saumon capturé le 2 juin dans la petite échelle est un smolt provenant probablement des déversements de tels poissons effectués dans la basse Berwinne.

En 2014, sur les 4 saumons marqués à Lith par Rijkswaterstaat Waterdienst, aucun individu équipé de transpondeur NEDAP n'a été capturé à Lixhe. Aucun des saumons capturés à Lixhe n'a donc été intercepté aux Pays-Bas en 2014. En 2013, 2 saumons avaient été capturés à Lixhe, le 1 juillet et le 2 décembre, équipés d'un transpondeur NEDAP (fig. 49).



Figure 49. Saumon marqué dans l'estuaire et capturé le 2 décembre 2013 à Lixhe  
(Photo : SP/SPW de la pisciculture d'Erezée)



Figure 50. Saumon atlantique capturé dans la passe à poissons de Lixhe le 03 septembre 2014 (930mm – 7280g)  
(Photo : SP/SPW de la pisciculture d'Erezée).



Figure 51. Saumon atlantique capturé dans la passe à poissons de Lixhe le 5 mai 2014 (790mm – 3870g).  
(Photo : SP/SPW de la pisciculture d'Erezée).

Il faut noter la capture d'un saumon de 740mm pour 2670g dans la passe à poissons des Grosses Battes sur l'Ourthe à Angleur le 27 octobre 2014 par l'équipe du DNF d'Erezée. Ce saumon n'est manifestement pas passé par l'échelle de Lixhe. Il a utilisé l'écluse de Lanaye entre la Meuse et le C. Albert.

### 5.1.3.2. Truite commune de mer et de rivière (tabl. 28-29)

On enregistre la capture de 31 truites communes dans la grande échelle. Il s'agissait en  
76

majorité de grands poissons de 445mm - 670mm, surtout des truites de mer, interceptées entre le 2 janvier à 7,6°C et le 24 novembre à 11,3°C.

**Tableau 28. Liste des truites communes adultes (n=31) capturées dans la nouvelle passe à poissons du barrage de Lixhe au cours de l'année 2014.**

Date	Débit m3/s	Temp °C	Oxygène mg/l % sat.		Taille	Poids	Sexe	Echant. génétique	Observation
02-01-14	511	7,6	11,6	99	561	2590	F		Erezée
26-05-14	57	19,6	7,5	82	572	2667			Marque RFID
27-05-14	51,6	19,6	7,3	80	670	3670	F	14 01	Erezée
28-05-14	50,9	19,5	-	-	-	-			Sortie de la cage
30-05-14	35,1	19,1	6,7	72	475	1670	F	14 02	Erezée
03-06-14	42,2	20,6	12,9	143	634	3160	F	14 03	Erezée
03-06-14	42,2	20,6	12,9	143	502	1860	F	14 04	Erezée
06-06-14	65,8	20,1	7,8	86	497	1602		41	Marque Vemco
06-06-14	65,8	20,1	7,8	86	463	1540		42	Marque RFID
10-06-14	153,9	22	4,8	55	600	2620	M	14 05	Erezée
16-06-14	31,3	21,2	5,3	59	488	-			Morte dans la cage
18-06-14	25,3	21,3	-	-	492	1410	F	14 06	Erezée
25-06-14	21,3	20,9	-	-	475	1403	F	14 07	Erezée
07-07-14	41,3	21,7	7,4	84	500	1540		14 08	Erezée
11-07-14	294,6	18,7	7,4	79	490	1525			Marque Vemco
16-07-14	111,8	19,8	6,4	69	445	1026		48	Marque RFID
16-07-14	111,8	19,8	6,4	69	521	1478		49	Marque RFID
22-07-14	73,4	23	5,1	59	465	1161	F	14 09	Erezée
22-07-14	73,4	23	5,1	59	620	2908	F	50	Morte dans la cage
22-07-14	73,4	23	5,1	59	618	2655	F	53	Morte dans la cage
01-09-14	127,5	17,9	7,3	76	683	3400	F	14 10	Erezée
13-10-14	137,2	15,7	8,7	88	-	-	-	-	Sortie de la cage
27-10-14	136,4	13,9	9,2	88	453	1216	F	56	Marque RFID
29-10-14	127,6	14,1	-	-	702	4500	M	14 13	Erezée
29-10-14	127,6	14,1	-	-	595	2120	F	14 14	Erezée
29-10-14	127,6	14,1	-	-	521	1550	M	14 15	Erezée
03-11-14	111,86	14,6	8,5	85	492	1411	F	57	Marque RFID
03-11-14	111,86	14,6	8,5	85	603	3228	F	58	Marque Vemco
12-11-14	218,5	11,7	10	97	520	1480	F	14 19	Erezée
13-11-14	217,3	11,7	-	-	576	2180	M	14 20	Erezée
24-11-14	152,5	11,3	10,3	93	534	1443	M	14 21	Erezée

En 2014 pour la période printemps/été (janvier-juillet) le nombre de captures s'élève à n=20 soit 65% de l'ensemble des captures de 2014 tandis que les captures de l'automne représentent 32%. A noter la capture de 12 truites à des températures supérieures à 20°C ; n=3 de ces 12 truites n'ont pas survécu dans le piège certainement par manque d'oxygénation. On observe la capture de n=3 individus le même jour, et ce à deux reprises, le 22 juillet et le 29 octobre 2014.

Sur l'ensemble des truites capturées et restées en vie, 6 individus ont été marquées avec des transpondeurs RFID en vue de leur détection dans les échelles en amont (voir chapitre 5.2), 17 ont été transférées à la pisciculture d'Erezée et 3 ont été munies d'un transpondeur

acoustique Vemco pour suivre leur migration vers l'amont grâce à une série de balises acoustiques de type VR2 installées dans la Meuse, dans la Dérivation et dans la basse Ourthe (voir chapitre 7).

Pour l'ensemble de l'année 2014, les captures de truites communes (mer + rivière) adultes dans la grande échelle de Lixhe s'élèvent à 31 individus contre 11 en 2013 et 10 en 2012.

En 2014, 4 truites ont été marquées à Lith avec un transpondeur NEDAP mais nous n'avons capturé aucune de ces 4 truites à Lixhe, contrairement à 2013 où 1 individu muni d'un transpondeur NEDAP avait été capturé le 15 juillet dans la passe à poisson de Lixhe. Il avait été retrouvé mort dans la cage lors du contrôle avec une plaie ouverte au niveau du marquage.

Dans la petite échelle, il n'y a pas eu de capture de truite en 2014.

Il faut noter la capture de 8 individus dans la passe à poissons des Grosses Battes sur l'Ourthe à Angleur entre le 2 octobre et le 8 décembre 2014 via le monitoring de l'équipe DNF d'Erezée.

**Tableau 29. Liste des truites communes adultes (n=8) capturées dans la passe à poissons du barrage des Grosses Battes à Angleur entre le 2 octobre et le 8 décembre 2014.**

Date	Débit m3/s	Temp °C	Taille	Poids	Sexe	Echant. génétique	Observation
02-10-14	26,6	14,8	540	2320	F	14 11	
02-10-14	26,6	14,8	709	4780	M	14 12	
03-11-14	45,6	11,8	604	2377	M	14 16	Morte
04-11-14	77,9	11,7	597	2915	F	14 17	Morte
05-11-14	92,6	10,7	546	1706	F	14 18	
02-12-14	30,3	5,8	670	2877	F	14 22	
02-12-14	30,3	5,8	640	2118	F	14 23	
08-12-14	31,4	5,7	-	-	-	-	Echappée

### 5.1.3.3. Cyprins d'eau rapide et assimilés

#### (a) Barbeau

Les captures de barbeaux en 2014 sont supérieures à celles de 2013 avec 39 individus contre seulement 14 en 2013. Mais l'année 2012 reste une année record depuis l'ouverture de l'échelle avec 44 individus.

Une première vague de remontées (n=25 individus et biomasse=71,6 kg) se produit en début d'année (versus 7 en 2013) avec des captures qui s'étalent entre le 10 mars à 9,9°C et le 25 août à 18,2°C. Cette remontée constituée majoritairement de reproducteurs de 40 - 72 cm est associée au passage de la température de l'eau au-dessus des 14°C qui marque le début de l'activité de ponte. Une deuxième vague automnale de remontée des barbeaux (n= 14 individus et B=15,1 kg) (versus 8 en 2013) se déroule en fin d'année entre le 22 septembre à 18,9°C et le 12 novembre à 11,7°C et correspond à un changement de milieux de vie à l'approche en prévision des conditions hivernales. A noter la capture le 24 mars d'un barbeau d'une taille record de 74 cm pour 6,1kg.

On observe la présence de 5 barbeaux de 6,7-7,9 cm dans la PE en 2014 contre 16 individus en 2013.

#### *(b) Chevaine*

Les remontées des chevaines ont lieu principalement dans la grande échelle et s'élèvent à un effectif de 31 individus de 23,1-48,6 cm (biomasse de 27,4 kg). Les captures de chevaines sont en augmentation par rapport à 2013 (n=14 et B=15kg). Les captures s'étalent sur une période comprise entre le 19 mars à 12,3°C et le 17 novembre à 11,1°C. A noter la capture de 4 chevaines en automne.

Dans la petite échelle, les captures de chevaines se limitent à 1 individu juvénile de 4 cm.

#### *(c) Hotu*

Onze hotus adultes de 38-46,7 cm (biomasse 12 kg) ont été capturés entre le 10 mars à 9,9°C et le 14 avril à 14,9°C dans la grande échelle contre 5 individus en 2012. Pas de capture dans la PE.

#### *(d) Vandoise*

On n'enregistre aucune capture de vandoise en 2014.

#### *(e) Aspe et ide mélanote*

Dans la GE, on enregistre en 2014 **la capture record (depuis 1999) de 61 aspes adultes** de 43,1-61,1 cm (biomasse =96 kg), contre n=22 et B=35 kg en 2013, ancien record. Ces remontées se déroulent du 4 avril à 14,6°C au 21 octobre à 15,3°C. On observe la capture groupée de 10 individus le 4 avril, de 9 individus le 22 avril et le 28 avril. La majorité des captures se déroulent au mois d'avril qui représente 75% des captures de 2014. Dans la PE, on trouve 1 juvénile de 7,5 cm.

Cinq ides mélanotes adultes de 34,2- 48,8cm sont capturées dans la GE ente le 17 mars à 12,1°C et le 28 novembre à 10,4°C. Dans la PE, on ne retrouve que 10 juvéniles de 6-12 cm.

### **5.1.3.4. Cyprins ubiquistes et d'eau lente**

#### *(a) Gardon, ablette commune et rotengle*

On observe une stabilisation du nombre de captures de gardons dans la GE avec 146 individus contre n=147 en 2013 et une forte augmentation dans la PE (n =5674 surtout des 0+ vs n=225 en 2013). La majorité des captures dans la GE a lieu en dehors de la reproduction entre le 5 septembre à 19,9°C et le 22 septembre à 18,9°C.

On observe une augmentation des captures pour l'ablette commune dans la PE : n=503 en 2013 contre n=327 en 2012.

On notera la présence d'un rotengle dans la PE le 5 septembre.

#### *(b) Brèmes commune et bordelière*

On observe une légère diminution des captures de brèmes communes en 2014 avec un effectif

de 485 poissons (n=482 dans la GE et n=3 dans la PE) contre n=697 en 2013 et une seule captures de brème bordelière en 2014 contre n=6 en 2013.

*(c) Carpe commune et tanche*

Cinq carpes communes de 56,7-72,2 cm pour une biomasse de 31,2 kg ont été capturées dans la GE en 2014.

On n'observe aucune capture de tanche dans la GE contrairement aux deux dernières années.

*(d) Silure*

On a enregistré une constance des captures dans la GE avec 8 individus de 80,9-120 cm pour une biomasse de 49,6 kg en 2014 contre n=8 (B=81,8 kg) en 2013, n=5 (B=42,2 kg) en 2012, n=8 (B=84,4 kg) en 2011, n=6 (B=96,5 kg) en 2010 et n=12 (B=149,6 kg) en 2009.

*(e) Perche fluviatile*

N=25210 perches de 3,5-34,5 cm pour une biomasse de **117,3 kg** (n=2 dans GE et n=25208 dans PE) ont été capturées entre le 11 avril à 15,4°C et le 22 septembre à 18,9°C. La totalité des captures dans la PE représente des individus juvéniles 0+, ce qui explique le nombre très important d'individus capturés.

*(f) Anguille européenne*

Le nombre d'anguilles interceptées dans le piège de la PE s'élève à n= 254 pour une biomasse de 25,6 kg, un effectif qui diminue par rapport à 2013 avec n=265, et à 2012 avec n=322. En 2014 la majorité des anguilles a été capturée entre le 30 mai à 19,1°C et le 25 juillet à 23,5°C. On observe un pic de captures le 16 juin avec 110 individus capturés à une température de 21,2°C Pour cette espèce, la forte diminution du recrutement se confirme (fig. 52). Des résultats complémentaires relatifs à l'anguille sont traités dans un rapport spécifique au projet FEP-ULG-SPW Anguille 2012-2014.

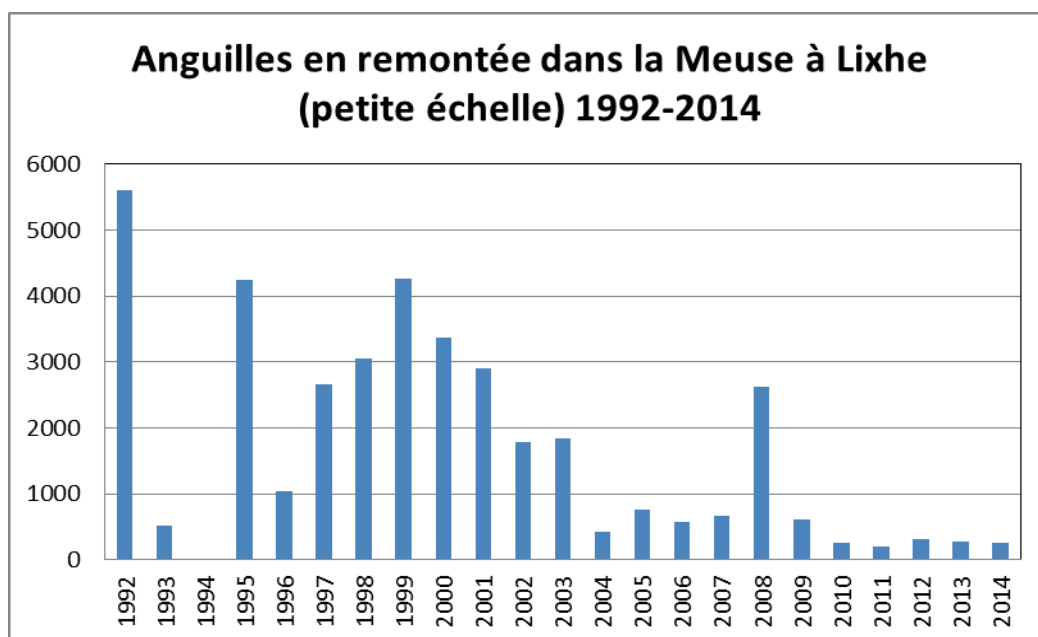


Figure 52. Tendance d'évolution de 1992 à 2014 du nombre d'anguilles jaunes capturées en remontée dans la petite

*g) Espèces de petite taille*

Il faut signaler la capture dans la petite échelle de 61 ablettes spirilins de 4,8-8,3 cm contre n=12 en 2013.

On enregistre dans la PE la présence d'une grémille et de 4 gobies dont 3 gobies à taches noires et 1 gobie demi-lune.

#### 5.1.4. Evolution historique de 1998 à 2014 pour quelques espèces cibles dans la GE

##### Aspe et silure

Depuis l'ouverture de l'échelle à poissons de Lixhe en fin 1998 (fig.53), on observe durant les 10 premières années de faibles captures pour l'aspe et le silure. Par la suite, on remarque une tendance à l'augmentation de l'aspe avec plus de 20 individus en 2013 et 61 individus en 2014. Pour le silure, avant 2008, les captures ne dépassent pas 5 individus. On enregistre un pic de captures de silures en 2008 avec 16 individus ; après 2008 les captures se situent entre 5 et 12 individus.

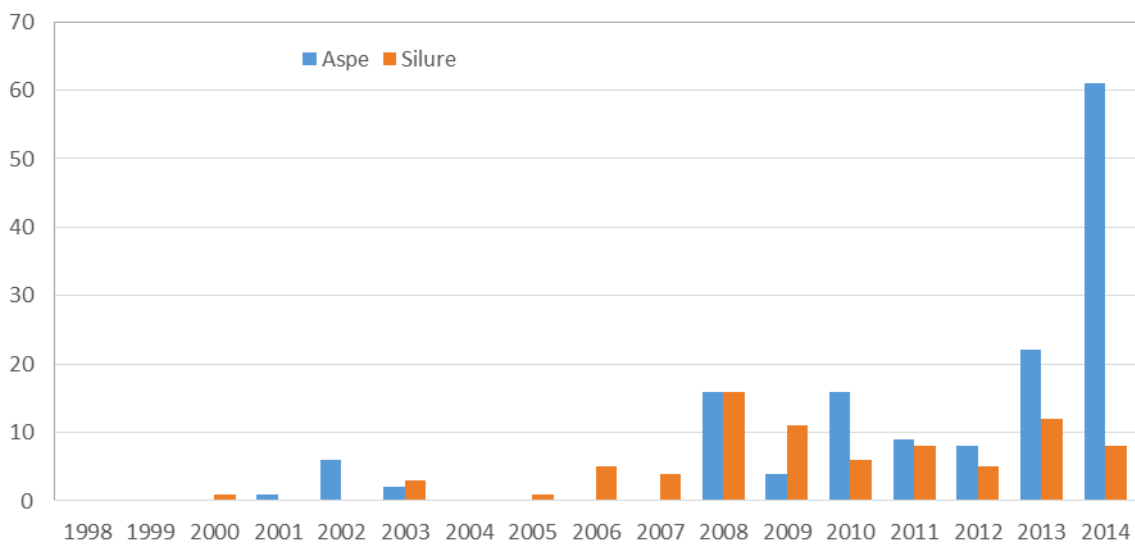


Figure 53. Tendance d'évolution de 1998 à 2014 du nombre d'aspes et de silures capturés en remontée dans la grande échelle à poissons du barrage de Lixhe sur la Meuse.

##### Truite et saumon

Au cours des 17 années de contrôle de l'échelle à poissons de Lixhe (fig.54), on observe une tendance à l'augmentation des captures de truites, malgré certaines années avec des captures qui restent faibles. On enregistre un nombre record de 31 individus en 2014 et sur la période de contrôle, on totalise 174 truites.

Le nombre de captures de saumons s'élève à 66 entre 2000 et 2014, avec 16 individus capturés en 2012 et 15 en 2014. On observe une tendance à l'augmentation des captures ces trois dernières années. On notera en 2013, l'arrêt des turbines de la centrale hydroélectrique de Lixhe pour cause de travaux qui peut expliquer une diminution de l'attractivité de l'échelle et des captures des salmonidés.

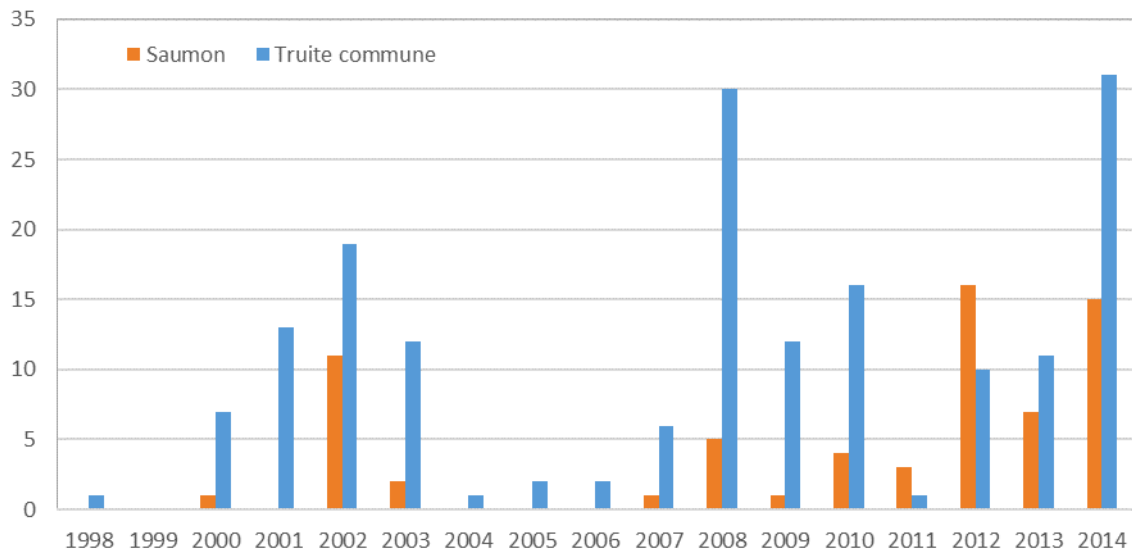


Figure 54 : Tendence d'évolution de 1998 à 2014 du nombre de saumons et de truites capturés en remontée dans la grande échelle à poissons du barrage de Lixhe sur la Meuse.

### Cyprinidés rhéophiles

On enregistre entre 1998 et 2014 (fig.55), la capture de n=527 chevaines, n=279 barbeaux et n=237 hotus. On observe une tendance à l'augmentation des captures de barbeaux avec un maximum de 44 individus en 2012 et 39 en 2014. Les captures de chevaines sont très variables au cours de cette période mais on remarque tout de même une tendance à la diminution, hormis la capture record de 81 chevaines en 2005. Depuis l'ouverture on observe une augmentation des captures de hotus avec un maximum de 59 individus, suivie d'une importante diminution jusqu'en 2011. Cependant ces 3 dernières années on remarque une légère reprise des captures. Comme pour les truites et saumons, les faibles taux de captures pour 2013 peuvent s'expliquer par l'arrêt des turbines.

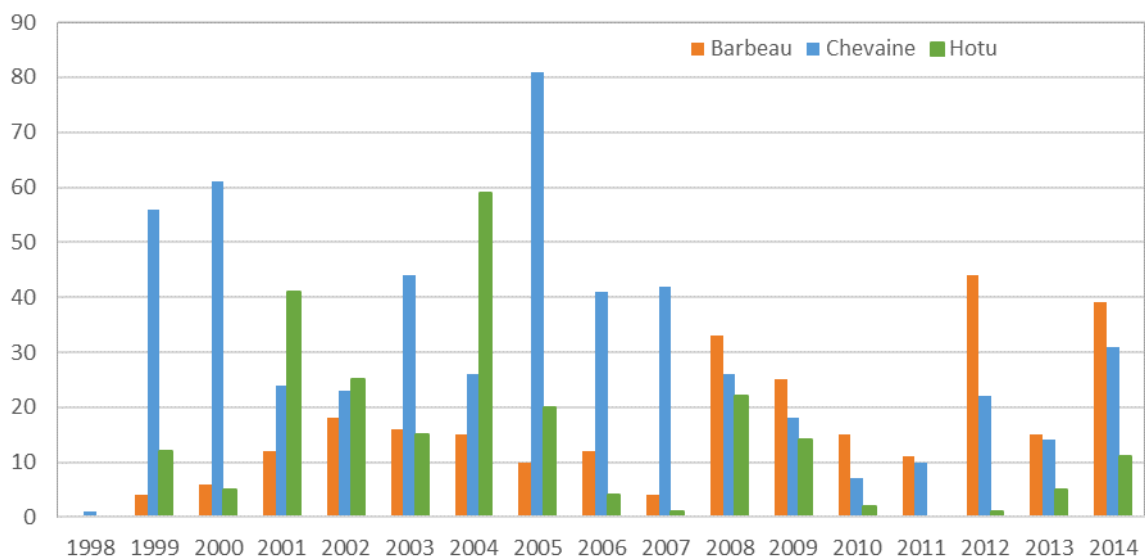


Figure 55 : Tendence d'évolution de 1998 à 2014 du nombre de barbeaux, de chevaines et de hotus capturés en remontée dans la grande échelle à poissons du barrage de Lixhe sur la Meuse.

### **5.1.5. Questions relatives à la bonne gestion du site des échelles à poissons de Lixhe**

Le placement d'un container à déchets serait le bienvenu car lors des contrôles scientifiques, de nombreux déchets sont retirés des grilles du piège par l'équipe et ces déchets doivent être remis à l'eau.

### **5.1.6. Marquage des poissons au moyen de puces électroniques**

Dans le cadre du projet Anguille 2012-2014 FEP/ULG/SPW, une station RFID a été mise en place en 2013 sur le site de Lixhe avec une antenne dans le dernier bassin en amont de la GE et dans l'avant dernier bassin de la PE. Ces antennes ont été installées en vue d'estimer le stock d'anguilles jaunes à hauteur du barrage et de la centrale hydroélectrique de Lixhe par marquage-redétection ou recapture.

Des puces électroniques RFID ont été placées sur un échantillon de 363 poissons appartenant à 11 espèces et écotypes. Ces poissons, à l'exception des anguilles qui étaient relâchées 600 m à l'amont du barrage de Lixhe (km 127,7), étaient déversés en amont de l'échelle en vue de leur détection automatique dans l'échelle à bassins du barrage de Monsin (km 114,6), 13,1 km à l'amont (voir point 5.2.) avec poursuite possible jusqu'au barrage d'Yvoz-Ramet sur la Meuse (km 97,1) à 30,6 km de Lixhe et 17,5 km de Monsin et jusqu'à celui de Liège Grosses-Battes sur la basse Ourthe, à 22 km de Lixhe.

Les résultats de cette étude sont analysés en détail au point 5.2.

### **5.1.7. Perspectives de programme pour 2015**

Poursuite des contrôles annuels et en continu des remontées des poissons dans les échelles du barrage de Lixhe impliquant les opérations suivantes :

(a) interception des saumons et des truites de mer à transférer (avec l'appui du Service de la Pêche) à la pisciculture d'Erezée ou à utiliser pour des études télémétriques/RFID ;

(b) Interception de toutes les autres espèces de poissons et marquage d'un maximum de poissons cibles (truite commune, barbeau, hotu, aspe, anguille, chevaine) au moyen de puces électroniques pour suivre leur migration vers l'amont grâce à leur détection automatique (RFID) lors du passage dans les échelles de Monsin et d'Yvoz-Ramet sur la Meuse et d'Angleur Grosses Battes sur l'Ourthe. Envisager de poursuivre les suivis vers la Vesdre, dont le cours inférieur est depuis 2014 équipé d'une échelle à poisson (site de Chênée).

L'exécution de ce programme permettra aussi un suivi de l'évolution de la biodiversité des poissons dans la basse Meuse. Les échelles à poissons du barrage de Lixhe constituent en effet d'intéressants outils de surveillance de la biodiversité des poissons dans la Basse Meuse et il est primordial de poursuivre leur contrôle en 2015 sous cet angle afin de ne pas interrompre une série d'observations de 16 années dans la grande échelle et de 23 années dans la petite échelle. Une attention particulière doit être accordée à des espèces en régression (anguille, gardon, ablette commune) et en expansion (silure, aspe, ide mélanote, gobie).

## 5.2. Caractérisation en 2014 de la migration de remontée dans l'axe Meuse entre Lixhe, Monsin, Yvoz-Ramet et Liège Grosses Battes de poissons marqués par puce RFID à Lixhe

### 5.2.1. Mise en place du programme CIPAM en Meuse liégeoise

La libre circulation des poissons migrateurs en remontée dans la Meuse liégeoise à partir de la frontière néerlandaise mitoyenne à Eijsden (km 128,4 en Région wallonne) est perturbée par quatre grands barrages de navigation associés à une centrale hydroélectrique (fig. 56 et 57). De l'aval vers l'amont, ces ouvrages sont situés à Lixhe-Visé (km 127,7), Monsin-Liège (km 114,6), Yvoz-Ramet (km 97,1) et Ampsin-Neuville (km 82,7).

Dans le cadre du programme Saumon Meuse, ces barrages ont été équipés par le SPW d'une nouvelle échelle à poissons moderne en 1999 à Lixhe, 2001 à Monsin et 2002 à Yvoz-Ramet et d'autres nouvelles constructions sont prévues : une passe spécifique à anguilles à Yvoz-Ramet et une rivière de contournement à Ampsin. Dans le bief entre les barrages de Monsin et d'Yvoz-Ramet débouche l'Ourthe barrée par un obstacle majeur, le barrage des Grosses Battes à Liège, qui a aussi été équipé en 2009 d'une passe à poissons moderne.

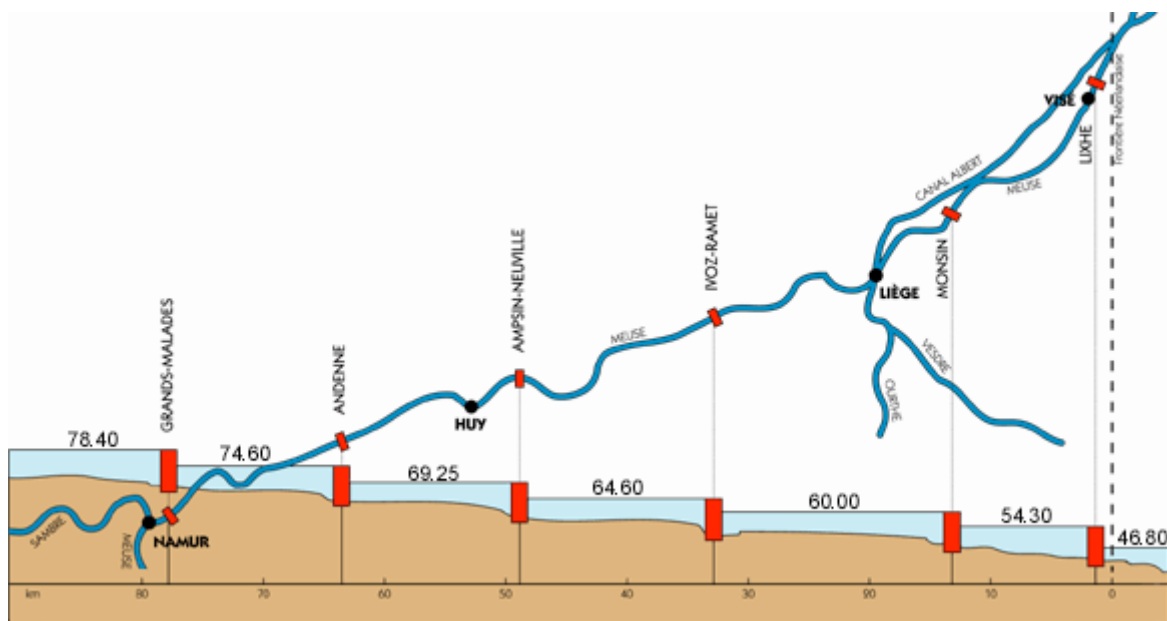


Figure 56. Localisation des barrages de navigation+ centrales hydroélectriques sur la Meuse wallonne entre Visé et Namur (source : SPE).

Jusqu'à 2010, l'efficacité du rétablissement de la libre remontée des poissons migrateurs en Meuse liégeoise a surtout été vérifiée grâce à des pièges de capture installés dans les échelles de Lixhe et de Liège Grosses Battes. Dépourvues de piège de capture, les échelles de Monsin et d'Yvoz n'ont pu être contrôlées qu'exceptionnellement par vidange complète des bassins et récolte des poissons à l'épuisette. La passe à poissons de Liège Grosse Battes n'est plus contrôlée depuis janvier 2013 (hormis des contrôles ponctuels par le DNF lors des remontées de saumons) pour cause de dommages engendrés aux poissons piégés dans la cage.

Au cours de la dernière décennie, quelques observations intéressantes ont toutefois pu être réalisées grâce au suivi téléométrique de poissons interceptés en remontée à Lixhe, pourvus d'un émetteur radio, relâchés dans la Meuse en amont du barrage puis radio-pistés

manuellement dans l'axe Meuse et dans la basse Ourthe (voir rapports saumon des années 1997-1998)

A partir de 2010, l'ULg a entrepris de mettre en place progressivement en région liégeoise un réseau moderne de détection automatique (méthode RFID d'identification par radio-fréquence) du passage dans les ouvrages de franchissement des barrages de poissons porteurs d'une puce électronique. Pour suivre la remontée de poissons au-delà du barrage de Lixhe, la mise en place du réseau de détection a progressé selon le calendrier suivant : échelle de Monsin en 2010, échelle d'Yvoz-Ramet en 2011 et échelle de Liège Grosses Battes en 2012. En 2013 la passe à poissons de Lixhe a été équipée d'une station RFID à deux antennes (PE et GE) pour permettre des études d'estimation de stock par marquage-redétection.

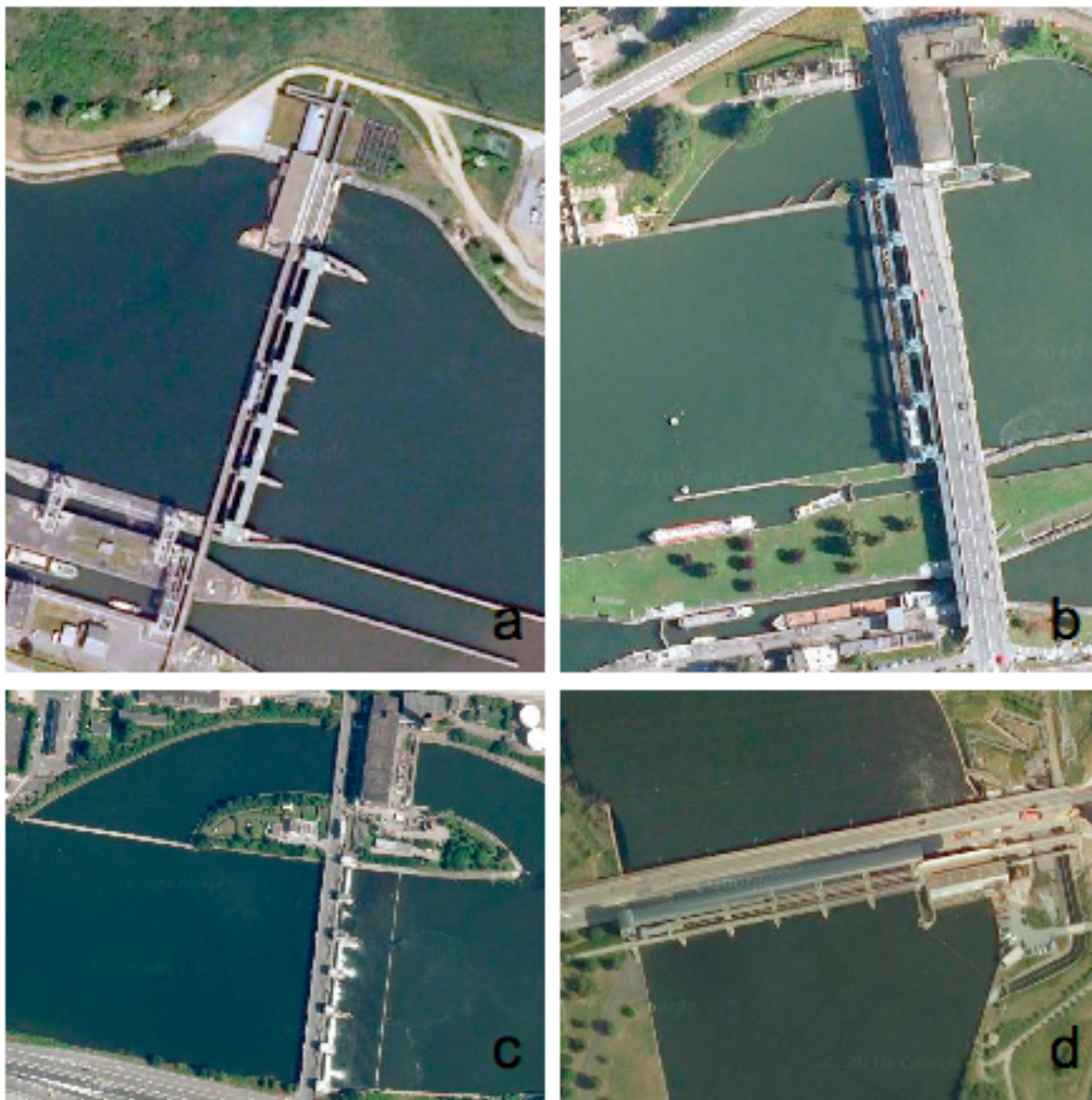


Figure 57. Vues aériennes (Google map) des sites des barrages + centrales hydroélectriques d'Ampsin-Neuville (a), Yvoz-Ramet (b), Monsin-Liège (c) et Lixhe –Visé (d) sur la Meuse liégeoise.

## 5.2.2. Description du réseau de détecteurs RFID en Meuse liégeoise

### 5.2.2.1. Méthode utilisée

L'équipement de détection automatique (société CIPAM) permet de suivre individuellement les poissons marqués avec un transpondeur RFID. Le poisson marqué est détecté automatiquement lors de son passage à travers une antenne installée dans la passe à poissons et reliée à une station d'enregistrement puis l'information est directement transmise à cette station. Le code du poisson détecté est stocké en mémoire avec comme informations la date et l'heure de la détection et le numéro d'antenne (dans le cas où plusieurs antennes sont installées). Ces données seront par la suite transférées sur un ordinateur pour y être analysées.

Le marquage s'effectue par insertion du transpondeur RFID (fig. 58) dans la cavité abdominale du poisson. Le poisson est au préalable anesthésié et les instruments désinfectés. Une incision de 3mm est réalisée pour permettre l'insertion de la puce dans la cavité abdominale. Une fois le marquage effectué le poisson est maintenu en stabulation le temps qu'il soit bien réveillé.



Figure 58. Transpondeur TIRIS (Texas Instrument) et lecteur de marque portable



Figure 59. Partie supérieure de l'échelle à poissons à bassins du barrage de Monsin-Liège sur la Meuse (km 114,6). L'antenne de détection RFID a été placée au niveau de la dernière échancrure de la passe à poissons de Monsin.

### 5.2.2.2. Echelle à poissons du barrage de Monsin-Liège

L'équipement de détection automatique RFID (identification par radio-fréquence) de poissons marqués par transpondeurs TIRIS Texas-Instruments, a été installé en début 2010 dans un bassin supérieur de l'échelle de Monsin (fig. 59). Fin 2014 nous avons remplacé l'antenne qui avait subi des dommages lors d'une vidange de l'échelle.

### 5.2.2.3. Echelle à poissons du barrage d'Yvoz-Ramet

Une installation de détection RFID a été mise en place (fig. 60) en fin juillet 2011 dans l'échelle à poissons d'Yvoz-Ramet, au km 97,1 de la Meuse wallonne et à 17,5 km et 30,6 km en amont de Monsin et de Lixhe respectivement.



Figure 60. Détecteur RFID de poissons pucés installé en 2011 dans la passe à bassins du barrage d'Yvoz-Ramet sur la Meuse (km 97,1). Au-dessus : antenne de détection placée sur la fente du bassin supérieur à sec (à gauche) et sous eau (à droite). En-dessous : boîtier électronique (à gauche) abrité dans un local du barrage + centrale hydroélectrique (à droite).

### 5.2.2.5. Echelle à poissons du barrage de Liège Grosses Battes

Dans l'échelle à poissons des Grosses Battes sur l'Ourthe (fig. 61), l'installation d'un détecteur RFID a été mise en place le 29 mars 2012 dans l'avant dernier bassin de l'échelle.



**Figure 61.** Au-dessus : antenne de détection RFID placée en 2012 au niveau d'une échancrure à l'amont de l'échelle à poissons du barrage des Grosses Battes sur la basse Ourthe à Liège. En dessous : station d'enregistrement des données logée dans une armoire métallique spécialement installée sur la pile du barrage mobile.

#### **5.2.2.6. Echelle à poissons du barrage de Lixhe**

La passe à poissons de Lixhe a été équipée d'un système de détection automatique RFID mis en route le 19 avril 2013. L'installation est composée d'une station qui est dans un petit abri en bois sous le pont de Lixhe et de deux antennes (fig. 62), une dans le dernier bassin de la grande échelle de Lixhe et la seconde dans l'avant dernier bassin de la petite échelle. Cet équipement est destiné à détecter les poissons qui seront relâchés en aval du barrage pour estimation du stock et définition des préférences de remontée via la PE ou GE. Ce dispositif nous permet également d'identifier les poissons porteurs d'une marque RFID qui auraient

dévalé en aval du barrage de Lixhe après avoir été relâchés en amont.



**Figure 62.** Au-dessus : antenne de détection RFID placée au niveau d'une échancrure à l'amont de la grande échelle à poissons de Lixhe sur la Meuse. En dessous : antenne de détection RFID placée au niveau d'une échancrure à l'amont de la petite échelle à poissons de Lixhe sur la Meuse.

## 5.2.3. Conditions environnementales

### 5.2.3.1 Station principale de monitoring au barrage de Monsin sur la Meuse

#### *Régime des débits*

Le débit de la Meuse à hauteur du barrage + centrale hydroélectrique de Monsin (débit turbiné maximum de 450 m<sup>3</sup>/s avec 3 turbines Kaplan à axe vertical de 150 m<sup>3</sup>/s) est la résultante de l'apport venant de l'amont (station de Liège) et de la dérivation de l'eau vers le canal Albert. L'eau qui arrive au barrage de Monsin est transférée vers l'aval en direction du barrage de Lixhe et des Pays-Bas par trois voies possibles : le turbinage hydroélectrique, la surverse aux déversoirs ainsi que les pertes diverses au niveau des vannes et l'alimentation de l'échelle à poissons (y compris le débit d'attrait).

Le régime des débits dans le bief Lixhe–Monsin de 13,5 km est reflété par les mesures effectuées à Lixhe (fig. 63). La situation hydrologique de la Meuse à Lixhe en 2014 contraste avec celle de 2013 caractérisée par des débits supérieurs à 200 m<sup>3</sup>/s jusqu'en fin juin. Nous n'avons pas connu en 2014 de réduction ou l'arrêt complet de l'alimentation en eau de l'échelle comme cela avait été le cas en 2011.

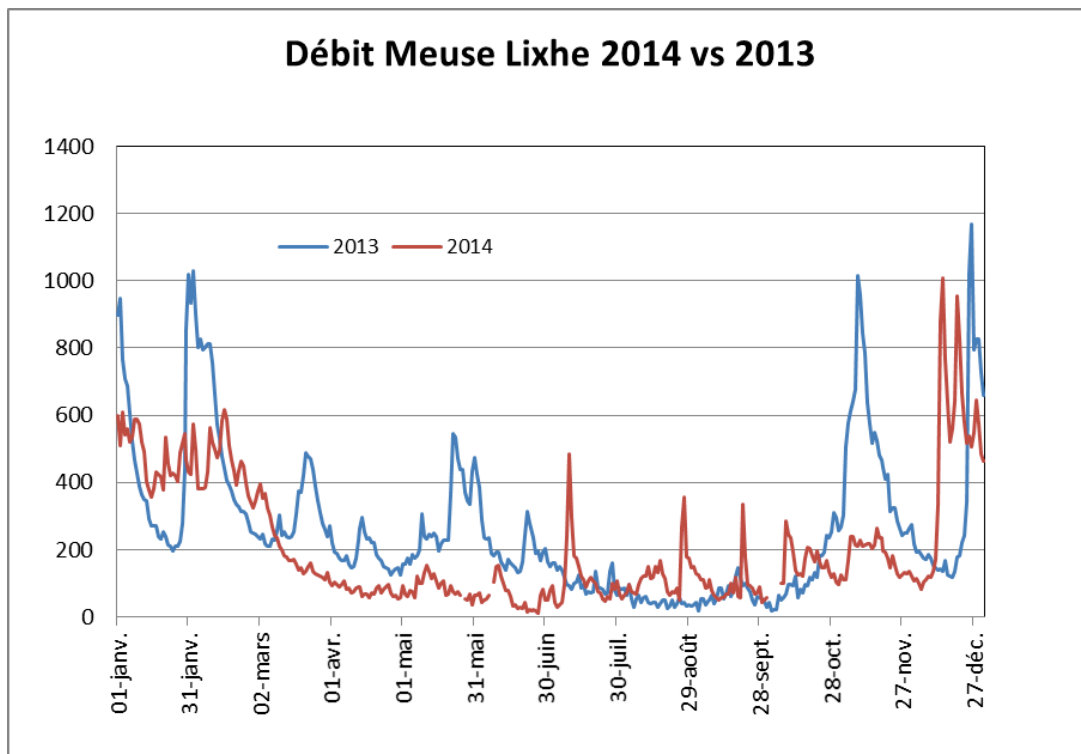


Figure 63. Débits moyens journaliers de la Meuse à Visé-Lixhe en 2014 (trait rouge) par rapport à 2013 (trait bleu) (source : SETHY SPW).

#### *Régime des températures de l'eau (fig. 64)*

Le régime thermique de la Meuse dans le bief Monsin Lixhe apparaît nettement plus chaud en 2014 qu'en 2013 à des périodes propices pour la migration des poissons. Cette période est comprise entre début mars et fin juin, avec 10,9°C en mars (vs 6,8°C en 2013), 15,3°C en avril (vs 10,8°C en 2013), 17,5 °C en mai (vs 14,4°C en 2013) et 21,2 °C en juin (vs 18,4°C en 2013). En 2014 la période comprise entre mi-juillet et mi-septembre est légèrement plus froide que celle de 2013. Ensuite le régime thermique de la Meuse est relativement identique

à celui de 2013.

Au cours de l'année 2014 nous avons rencontré à Monsin un problème au niveau de l'antenne qui permet de détecter le passage d'un poisson dans l'échelle. L'antenne fut arrachée par les débris qui transitent par l'échelle à poissons et la station a été hors d'usage du 25 mai au 3 juin 2014.

Sur la base des moyennes mensuelles (fig. 64), les régimes des températures de la Meuse à Monsin et à Lixhe sont globalement fort comparables avec toutefois une tendance à un léger échauffement artificiel à Monsin par rapport à Lixhe par les rejets thermiques industriels (CN Tihange) en amont de Liège et de la confluence de l'Ourthe. Les données de températures pour la Meuse à Yvoz-Ramet ne sont pas complètes car nous avons rencontré un problème avec l'enregistreur de températures placé dans l'échelle à poissons.

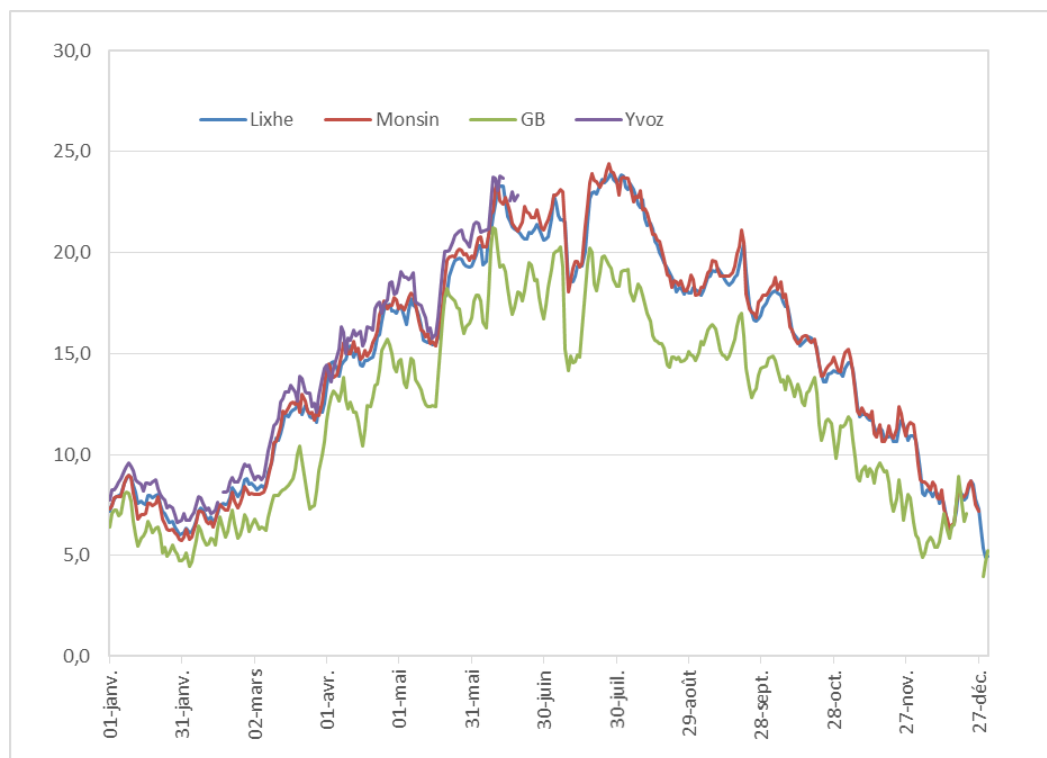


Figure 64. Comparaison des régimes des températures moyennes en 2014 dans la Meuse à Lixhe, Monsin et Yvoz-Ramet et dans l'Ourthe à Liège Grosses Battes (GB).

A hauteur du barrage d'Yvoz, la température de la Meuse est sensiblement plus élevée que dans les stations de l'aval à Monsin et Lixhe. L'écart des températures moyennes mensuelles entre Yvoz et Lixhe est d'environ  $+1^{\circ}\text{C}$  en mars,  $+0,9^{\circ}\text{C}$  en avril,  $+1,3^{\circ}\text{C}$  en mai et  $+1,2^{\circ}\text{C}$  en juin en faveur d'Yvoz. Cette situation peut s'avérer attractive pour l'anguille plutôt thermophile mais répulsive pour les salmonidés et les cyprins d'eau rapide.

En 2014 nous avons constaté le 30 avril le vol du câble qui alimente la station d'Yvoz. Ce câble a été remplacé le 15 mai.

La température moyenne de l'eau est plus basse dans l'Ourthe à Liège Grosses Battes que dans la Meuse à Yvoz-Ramet avec une différence de température qui peut atteindre  $5,5^{\circ}\text{C}$ . A la confluence Ourthe – Meuse existent donc des conditions thermiques attractives pour les poissons rhéophiles tels que les salmonidés (truite et saumon) et les cyprins d'eau rapide, spécialement le barbeau, le chevaine et le hotu.

Au cours de l'année 2014 à la station RFID des Gosses Battes, nous avons constaté une coupure de courant pour cause d'entretien du 15 mai au 19 juin, à une période propice pour les remontées de poissons.

## 5.2.4. Détections des passages de poissons pucés dans les stations de monitoring

### 5.2.4.1. Détection en 2014 des poissons marqués en 2014

Au cours de l'année 2014, 363 poissons ont été pucés à Lixhe. Tous les individus marqués ont été relâchés en amont de l'échelle dans le canal qui alimente l'échelle, à l'exception des anguilles qui ont été déversées 600 m en amont du barrage de Lixhe. Sur les 363 poissons marqués n=125 (34,4%) ont été détectés en amont de Lixhe la même année (tabl. 30) : 9 barbeaux, 13 chevaines, 3 aspes, 3 gardons, 3 truites communes et 2 hotus en 2014. Trente poissons (3 barbeaux, 3 truites, 6 chevaines, 1 aspe et 17 anguilles) ont été détectés en amont de Monsin. Sur ces n=30 poissons, 1 barbeau, 3 chevaines et 2 anguilles n'ont pas été détectés à Monsin.

**Tableau 30. Nombre de poissons des différentes espèces et écotypes marqués par puce électronique RFID après capture dans les échelles à poissons de Lixhe puis détectés lors de leur passage dans des échelles à poissons à l'amont sur la Meuse à Monsin et Yvoz et sur la basse Ourthe à Angleur-Liège pour l'année 2014.**

Espèce	Marquage 2014		Détection 2014 amont		
	Nombre	Longueur mm		n	%
		Min	Max		
Truite commune	9	445	603	3	33,3
Barbeau	28	262	742	9	32,1
Hotu	8	333	467	2	25,0
Chevaine	24	231	486	13	54,2
Gardon	22	207	355	3	13,6
Ide mélanote	2	470	488	0	0,0
Aspe	46	431	611	3	6,5
Carpe	3	567	672	0	0,0
Brochet	1		657	0	0,0
Silure	7	809	1200	0	0,0
Anguille	213	302	698	92	43,2
<b>Total</b>	<b>363</b>			<b>125</b>	<b>34,4</b>

Pour les espèces typiquement rhéophiles représentées par les salmonidés (truite fario –truite de mer) et les cyprins d'eau vive (barbeau, chevaine, hotu), le taux de franchissement de l'échelle de Monsin des individus marqués à Lixhe est de 39 % (27/69) avec un score maximum significatif chez le chevaine de 54,2 % (13/24), la truite commune de 33,3 % (3/9) et le barbeau de 32,1 % (9/28). Nous avons observé un dysfonctionnement de la station RFID à Monsin du 25 mai au 03 juin et durant cette période 3 chevaines ont probablement emprunté l'échelle. Par contre 1 barbeau et 2 anguilles ont été marqués à Lixhe et détectés en amont de Monsin avant ou après le dysfonctionnement de la station, ces trois poissons sont certainement passés par une autre voie comme l'écluse de Monsin (fig. 65).



**Figure 65.** Vue aérienne du barrage de Monsin et de l'écluse de Monsin par où les poissons peuvent bifurquer vers le canal Albert et remonter vers la Meuse, sans passer par l'échelle à poissons du barrage de Monsin.

Chez les espèces plutôt limnophiles et assimilées (aspe), le taux de franchissement à Monsin des individus marqués à Lixhe en 2014 est de 7,4 % (6/81), ce qui est assez faible mais légèrement supérieur aux résultats de 2013 (0/26) et 2012 (1/14).

Dans le cas de l'anguille, 43,2 % (92/213) des poissons marqués à Lixhe ont été détectés en amont. Ce taux supérieur à celui de 2013 (9%) peut s'expliquer par le fait qu'en 2013 la totalité des anguilles ont été marquées puis relâchées en aval du barrage de Lixhe en vue d'une estimation du stock. Ces poissons ont donc du remonter une seconde fois l'échelle de Lixhe avant de pouvoir continuer leur migration vers l'amont.

#### *Remontée des poissons dans la basse Ourthe à Liège*

La remontée depuis l'amont du barrage de Lixhe jusqu'au barrage de Liège Grosses Battes sur la base Ourthe concerne 31,8 % (22/69) du nombre de poissons réophiles marqués dont 25 % (6/24) des chevaines.

Pour ce qui concerne l'anguille le taux de reprise à Liège Grosses Battes est de 5,5 % (12/218). Ce résultat s'explique probablement parce que l'axe Ourthe correspond à un habitat (eau courante et plus froide que la Meuse) moins favorable que l'axe Meuse canalisée dans le prolongement du barrage de Monsin.

#### *Remontée des poissons dans la Meuse jusqu'au barrage d'Yvoz-Ramet*

Deux barbeaux, un aspe et une truite commune ont effectué en 2014 une migration de remontée de Lixhe jusqu'à l'échelle d'Yvoz-Ramet. La truite commune marquée le 3 novembre à Lixhe a été détectée à Yvoz-Ramet le 6 novembre 2014 après être passée par la passe à poissons de Monsin le 5 novembre 2014. Les deux barbeaux ont effectué leur migration de Lixhe à Monsin en respectivement 6 jours et de Monsin à Yvoz-Ramet en seulement 1 jour. L'aspe a parcouru les 13 km séparant Lixhe de Monsin en 8 jours et les 17 km entre Monsin et Yvoz-Ramet en seulement 1 jour.

En revanche, on a détecté à Yvoz-Ramet le passage de 5 anguilles qui ont mis de 12 à 52 jours (moyenne 32 jours) pour parcourir une distance de 30,6 km entre Lixhe et Yvoz, dont 6 jours en moyenne pour passer de Monsin à Yvoz (17,5 km). Dans l'analyse des remontées des anguilles au barrage d'Yvoz, il faut tenir compte d'une possibilité de passage de poissons par les écluses de navigation en rive droite.

Dans l'interprétation de ces chiffres, il faut tenir compte du fait qu'il s'agit de valeurs sous-estimées car :

i) bon nombre de poissons marqués en 2014 à l'amont de Lixhe pourront poursuivre leur migration de remontée en 2015 et ultérieurement;

ii) on ne doit pas exclure le franchissement du barrage de Monsin par des voies alternatives comme l'écluse de Monsin entre la Meuse et le canal Albert ou, dans le cas des anguilles, de petits interstices sous ou entre les vannes du barrage ;

iii) les poissons pucés sont susceptibles de subir une certaine mortalité pendant leur séjour en Meuse après marquage. Par expérience, cette probabilité est toutefois très faible.

#### **5.2.4.2. Détection en 2013 et 2014 des poissons marqués en 2013**

Sur les 440 individus interceptés et marqués en 2013 à Lixhe (tabl. 31), nous avons détecté en 2014 n= 46 individus (3 barbeaux et 43 anguilles) en amont de Lixhe, différents de ceux détectés en 2013. Le nombre d'anguilles détectées en 2014 est de n=43 contre n=35 en 2013. A noter la détection d'un barbeau aux GB en 2014 qui n'a pas été détecté à Monsin en 2013 et 2014 ; cet individu a certainement dû emprunter une autre voie de franchissement car aucun dysfonctionnement de la station RIFD de Monsin n'a été observé. Sur l'ensemble des poissons détectés en 2013, seul 1 chevaine a été redétecté en 2014.

Le pourcentage d'individus différents de poissons marqués en 2013 et détectés en 2013 et 2014 atteint 41 % chez les espèces rhéophiles avec 50 % (2/4) pour la truite commune, 31 % (4/13) pour le barbeau et 62 % (9/13) pour le chevaine. En ce qui concerne l'anguille le taux de détection atteint 21 % (78/380). Pour l'ensemble des espèces marquées en 2013 le pourcentage de détections pour la période 2013-2014 est de 21 %.

**Tableau 31 Nombre de poissons des différentes espèces et écotypes marqués par puce électronique RFID après capture dans les échelles à poissons de Lixhe en 2013, puis détectés lors de leur passage dans des échelles à poissons à l'amont sur la Meuse à Monsin et à Yvoz et sur la basse Ourthe à An leur-Liège en 2013 et 2014.**

Espèce	Marquage Nombre	Lixhe 2013		Détection Monsin	2013-2014		Individus différents	
		Longueur (mm) Min	Max		Yvoz	GB	N	%
Truite commune	4	357	520	1	1	1	2	50
Barbeau	13	314	650	3	1	1	4	31
Chevaine	13	286	524	8	4	2	8	62
Hotu	4	333	390	0	0	0	0	0
<i>Espèces rhéophiles</i>	<i>34</i>			<i>12</i>	<i>6</i>	<i>4</i>	<i>14</i>	<i>41</i>
Aspe	11	427	641	0	0	0	0	0
Ide mélanote	1		410	0	0	0	0	0
Carpe	1		667	0	0	0	0	0
Silure	13	803	1340	0	0	0	0	0
Anguille	380	293	856	74	9	9	78	21
<b>Total</b>	<b>440</b>			<b>86</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>92</b>	<b>21</b>

On remarque une augmentation de 2013 à 2014 des détections pour le barbeau et l'anguille. Le taux de détection pour l'anguille est passé de 9 % en 2013 à 21 % en 2014, ce qui avait déjà été observé pour les individus marqués en 2012 et détectés en 2012 et 2013 ou l'on avait remarqué une augmentation de 12,6 % en 2012 à 27,8 % en 2013. Cette observation peut s'expliquer par la faible vitesse de migration des anguilles jaunes dans le bief Lixhe-Monsin. A noter que les taux de détections au barrage des GB sont certainement sous-estimés du fait de la coupure d'électricité du 15 mai au 19 juin, à une période propice pour la remontée des cyprins rhéophiles. **Ces résultats suggèrent qu'il est important de pouvoir suivre les poissons marqués à Lixhe sur plusieurs années pour augmenter la précision des taux d'utilisation des échelles à poissons.** L'anguille est l'espèce dont la progression en Meuse est la plus lente. Contrairement aux autres espèces qui doivent se reproduire dans l'année de la remontée, les anguilles sont en phase de croissance et colonisent progressivement la Meuse et sont influencées par des phénomènes de densité-dépendance. Comme le recrutement en anguilles chute d'années en années, la compétition pour l'habitat diminue et l'impulsion à coloniser les zones amont aussi (Nzau Matondo et al., 2013).

#### **5.2.4.3. Bilan général 2010-2014 des passages de poissons pucés dans l'échelle de Monsin**

Au cours des cinq années de 2010 à 2014, 391 poissons (sans prendre en compte les anguilles) ont été marqués individuellement au moyen d'une puce électronique puis relâchés dans la Meuse en amont du barrage de Lixhe après capture dans l'une des deux échelles.

A ce jour, on a enregistré (tabl. 32) la détection dans une échelle de l'amont de Lixhe de près de 88 poissons différents (22,5%). Pour les espèces rhéophiles ce taux de détections atteint 37,6 % (79/202), avec 33,3 % pour la truite commune (9/27), 32,1 % pour le barbeau (34/106), 15,4 % pour le hotu (2/13) et 54,5 % pour le chevaine (30/55).

**Tableau 32. Nombre de poissons des différentes espèces et écotypes marqués par puce électronique RFID après capture dans les échelles à poissons de Lixhe de 2010 à 2014, puis détectés lors de leur passage dans des échelles à poissons à l'amont sur la Meuse à Monsin et à Yvoz et sur la basse Ourthe à Angleur-Liège en 2010 et 2014. Les chiffres entre parenthèses correspondent aux poissons non détectés à Monsin en raison d'un dysfonctionnement de l'antenne entre le 2 mai et le 8 juin 2012.**

Espèces	Marque Lixhe (2010-2014)	N individus détectés (2010-2014)			Individus différents détectés	
		Monsin	Yvoz	GB	N	%
Barbeau	106	29	4 (1)	19 (11)	34	32,1
Chevaine	55	21	5 (1)	13 (7)	30	54,5
Hotu	13	2	-	-	2	15,4
Truite commune	27	8	2	3	9	33,3
Truite aec	1	-	-	1 (1)	1	100,0
Espèces rhéophiles	202	60	11 (2)	36 (19)	76	<b>37,6</b>
Carpe	27	-	-	1 (1)	1	3,7
Ide mèlanote	8	-	-	-	0	0,0
Silure	28	-	1 (1)	1 (1)	2	7,1
Aspe	70	4	1	-	4	5,7
Tanche	1	-	-	1 (1)	1	100,0
Brochet	2	-	-	-	0	0,0
Brème commune	31	-	-	1 (1)	1	3,2
Gardon	22	3	-	-	3	13,6
<b>Total</b>	<b>391</b>	<b>67</b>	<b>13 (3)</b>	<b>40 (23)</b>	<b>88</b>	<b>22,5</b>

Le nombre de détection apparait très variable selon les espèces et les groupes écologiques d'espèces mais également en fonction des lieux de détections :

Les espèces rhéophiles typiques comme la truite, le barbeau et le chevaine se retrouvent comme déjà observé en majorité dans la passe à poissons des Grosses Battes sur l'Ourthe avec 77 % des poissons détectés en amont de Monsin contre 23 % dans la passe à poissons d'Yvoz-Ramet sur la Meuse. En prenant en compte l'ensemble des poissons détecté en amont de Monsin, le taux de franchissement du barrage de Monsin est de 37,6 % chez les espèces rhéophiles marqués à Lixhe contre 6,3 % chez les espèces peu rhéophiles comme la carpe, la brème commune, le brochet et le silure auxquelles on adjoint l'ide et l'aspe.

Ce taux le plus important de 37,6 % de franchissement enregistré chez les espèces rhéophiles, s'explique par le fait que ces espèces doivent migrer vers l'amont pour trouver des habitats de ponte favorables à leur reproduction, en l'occurrence dans l'Ourthe. On ne peut exclure qu'un certain nombre de ces poissons rhéophiles comme le chevaine et le hotu se reproduisent en Meuse sur les hauts-fonds en aval du barrage de Monsin.

Le très faible (6,3 %) taux de franchissement enregistré chez les espèces peu rhéophiles peut s'expliquer par le fait que les poissons concernés ne cherchent pas à remonter plus loin car ils trouvent les conditions d'habitat recherchées (végétation et gravier) dans le bief Lixhe-Monsin et notamment dans la zone en aval des déversoirs où existent des hauts fonds de gravier. Ces derniers peuvent, notamment, convenir comme frayères pour des poissons tels que l'ide mèlanote et l'aspe réputés grands migrateurs dans les fleuves.

**Il est intéressant de noter qu'on a enregistré en 2014 le passage tardif ou différé de plusieurs poissons marqués entre 2010 et 2012**

- **Un barbeau détecté le 24 mai 2014 dans la passe à poissons d'Yvoz Ramet, qui avait été marqué à Lixhe le 11 avril 2011.**
- **Quatre barbeaux marqués en 2012 ont été détectés en 2014 (2 à Monsin et aux GB, 1 à Monsin et 1 aux GB). Un des barbeaux détecté à Monsin et aux GB en 2014 l'avait déjà été en 2012 à Monsin et 2013 aux GB.**
- **Une anguille marquée en 2010 a été détectée aux GB le 20 juillet 2014**
- **Parmi deux anguilles marquées en 2011, l'une a été détectée à Monsin et aux GB et l'autre détectée à Yvoz Ramet.**
- **Sur 18 anguilles marquées en 2012, n=11 ont été détectées à Monsin, 4 aux GB et 3 à Yvoz Ramet.**

Dans l'interprétation de ces chiffres, il faut tenir compte du fait qu'il s'agit de valeurs sous-estimées car :

i) bon nombre de poissons marqués en 2014 à l'amont de Lixhe n'effectueront leur migration de remontée qu'en 2015 ;

ii) on ne doit pas exclure le franchissement du barrage de Monsin par des voies alternatives comme l'écluse de Monsin entre la Meuse et le canal Albert ou, dans le cas des anguilles, de petits interstices sous ou entre les vannes du barrage

iii) les poissons pucés sont susceptibles de subir une certaine mortalité pendant leur séjour en Meuse après marquage.

#### **5.2.4.4. Analyse fine de la dynamique de migration par détection RFID en Meuse et dans l'Ourthe**

Les stations de détections installées dans la passe à poissons de Monsin, des Grosses Battes et d'Yvoz-Ramet permettent de définir à quelle période du cycle nyctéméral les poissons utilisent les passes migratoires.

A Monsin de 2010 à 2014 (fig.66), 66 poissons différents (28 barbeaux, 21 chevaines, 8 truites, 2 hotus, 4 aspes et 3 gardons) ont été détectés dans la passe à poissons. La majorité des détections (74 %) a lieu entre 18h00 et 09h00. La période d'activité du chevaine s'étale sur les 24h, celle du barbeau se situe entre 16h00 et 11h00, celle de la truite entre 8h00 et 17h00 et celle du hotu, de l'aspe et du gardon entre 16h00 et 24h00.

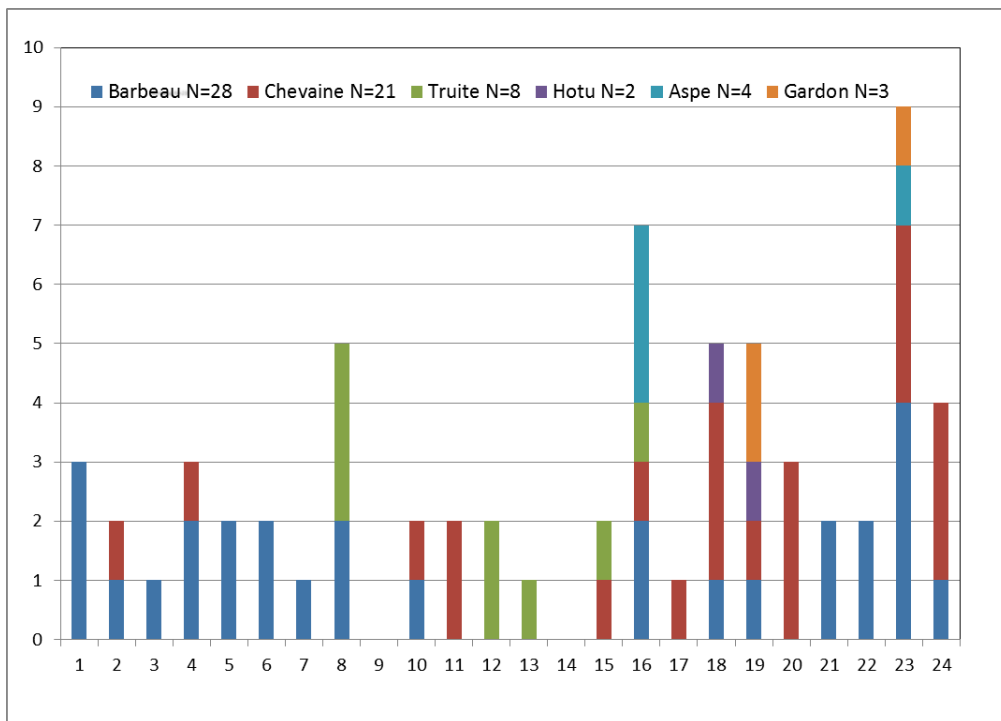


Figure 66. Heure de la première détection des poissons dans l'échelle à poissons de Monsin entre 2010 et 2014

Aux Grosses Battes 80 % des poissons sont détectés entre 18h00 et 09h00 (fig.67). Le pic d'activité se situe entre 18h00 et 04h00. La période d'activité de la truite est de 19h00 à 07h00. Seul 9 individus ont été détectés en pleine journée : il s'agit de 3 chevaines, 4 barbeaux et 2 carpes.

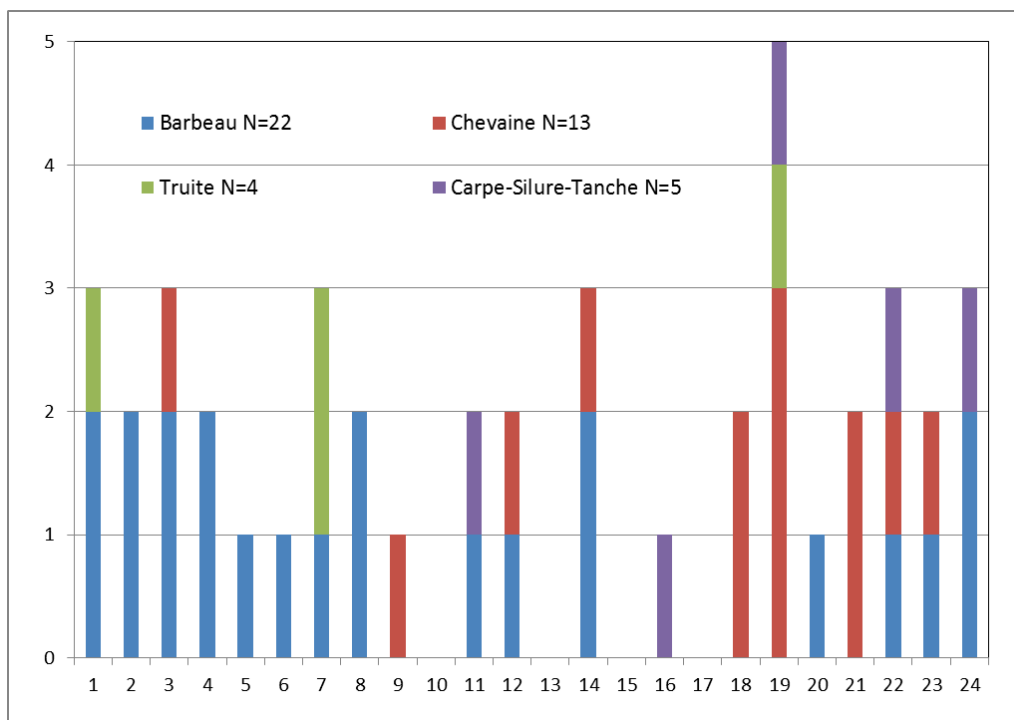


Figure 67. Heure de la première détection des poissons dans l'échelle à poissons des Grosses Battes entre 2010 et 2014

A Yvoz-Ramet 15 poissons ont été détectés entre 2012 et 2014. La majorité des poissons (n=12) a été détecté de 19h00 à 07h00. La période d'activité du barbeau s'étale de 19h00 à 7h00.

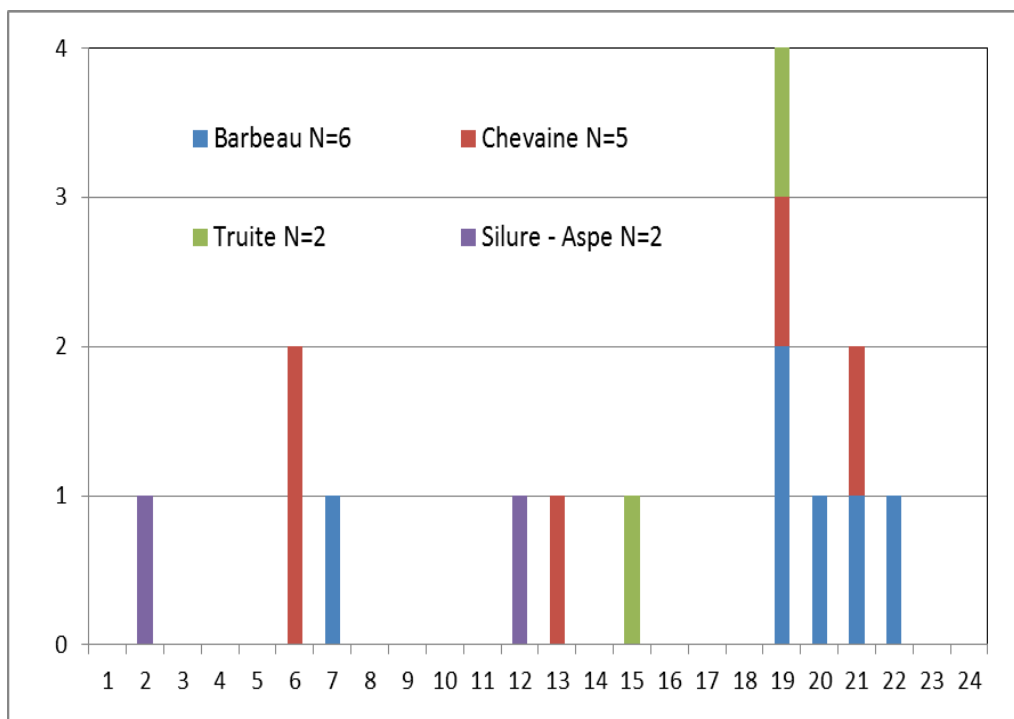


Figure 68. Heure de la première détection des poissons dans l'échelle à poissons d'Yvoz-Ramet entre 2010 et 2014

La figure 69 nous renseigne sur la période d'activité cumulée des poissons dans les échelles à poissons de Monsin et d'Yvoz-Ramet sur la Meuse et des Grosses Battes sur l'Ourthe. La majorité des détections (66 %) est comprise entre 18h00 et 9h00. On observe chez le chevaïne une activité plus marquée entre 18h00 et 24h00 et pour la truite entre 7h00 et 19h00 comme déjà observé à Monsin.

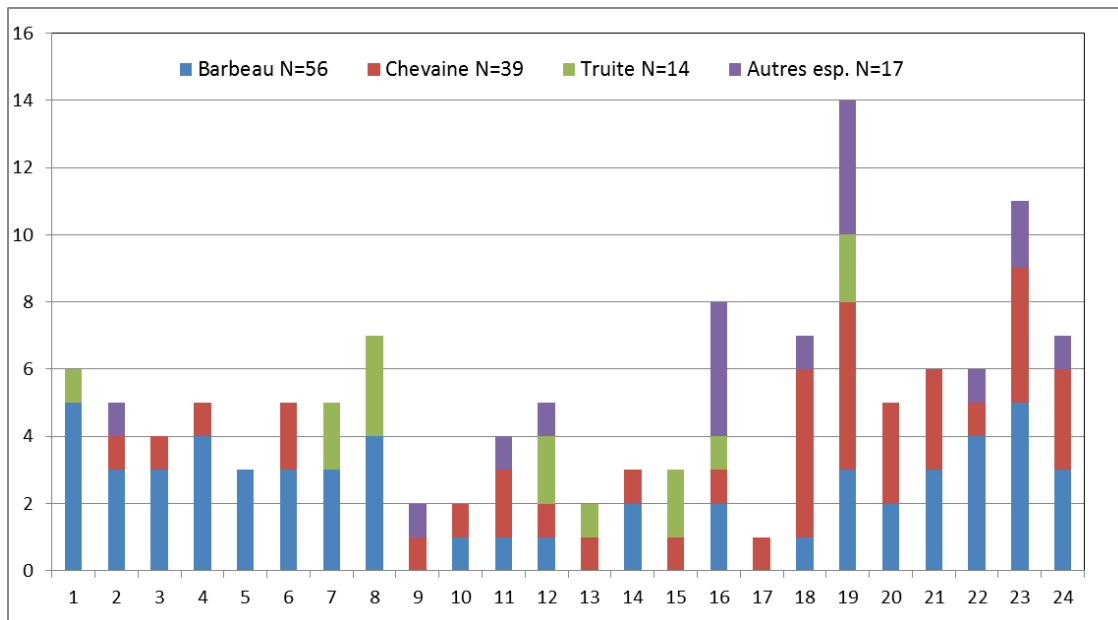


Figure 69. Heure de la première détection des poissons dans les échelles à poissons de Monsin et d'Yvoz-Ramet sur la Meuse et des Grosses Battes sur l'Ourthe entre 2010 et 2014.

Au niveau de la répartition mensuelle des captures, toutes échelles cumulées, on observe un pic de détection concentré entre avril et juillet pour le barbeau, le chevaïne et la truite (fig.70). Une seconde vague de détections est comprise entre septembre et décembre où l'on retrouve la truite mais aussi le chevaïne et le barbeau comme déjà observé durant l'ouverture de l'échelle à poissons des Grosses Battes avec n=35 barbeaux capturés en automne. Cela

confirme une utilisation des échelles à poissons de Meuse et de l'Ourthe Grosses Battes à la fois pendant et en dehors des périodes de reproduction.

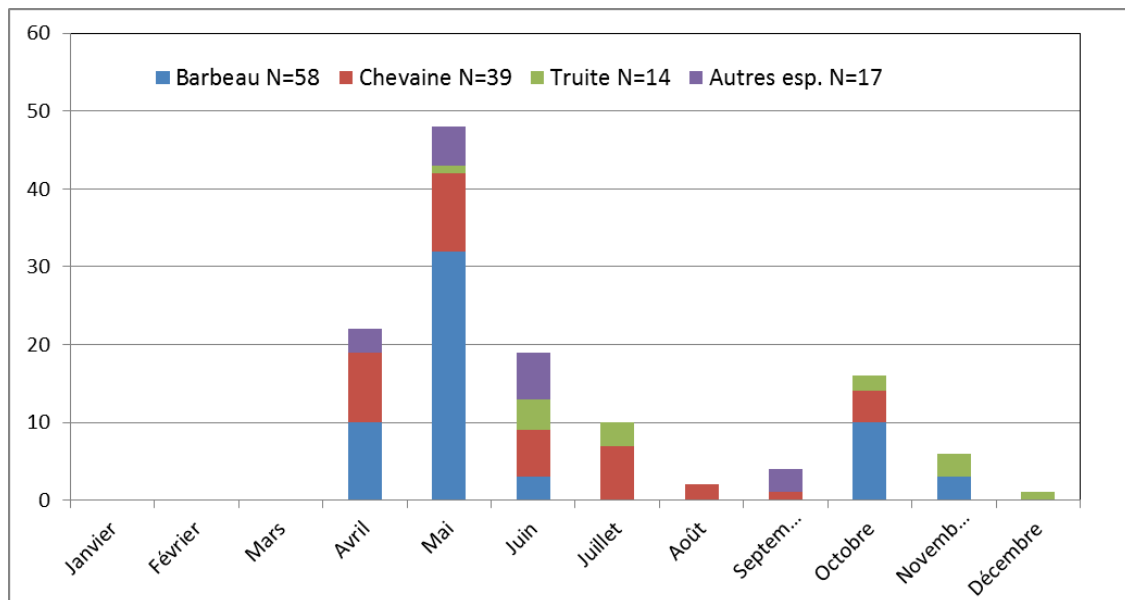


Figure 70. Nombre d'individus différents détectés dans les échelles à poissons, de Monsin, d'Yvoz-Ramet et de Liège Grosses Battes, au cours de l'année (période 2010-2014)

### 5.2.5. Conclusions générales et perspectives

Au cours de ces cinq années (2010, 2011, 2012, 2013 et 2014), la migration de poissons pucés relâchés dans la Meuse en amont du barrage de Lixhe après capture dans les échelles de ce barrage a pu bénéficier d'un monitoring automatique par système RFID installé dans trois échelles à poissons stratégiques en région liégeoise : sur l'axe Meuse aux barrages de Monsin-Liège et d'Yvoz-Ramet et sur la basse Ourthe au barrage de Liège Grosses Battes. Grâce à ce réseau de trois stations RFID, des données ont pu être collectées sur 88 (22,5 %) des 391 poissons marqués (hors anguille) en dépit du fait que l'antenne de détection de Monsin a connu une malencontreuse panne d'1 mois en mai-juin 2012.

A ce stade d'avancement de l'étude, la méthode de détection automatique de poissons marqués au moyen du système RFID s'avère très efficace et mérite d'être poursuivie pour nous permettre d'acquérir un plus grand nombre de données sur le comportement des poissons en migration. Une nouvelle station RFID a été installée en 2014 par le SPW-DGO3 sur le premier barrage de la Vesdre qui se jette dans l'Ourthe à Chênée, ce qui devrait nous permettre d'évaluer la proportion de poissons qui bifurquent vers la Vesdre après passage dans l'échelle à poissons des Grosses Battes.

**6. Caracterisation de la devalaison des smolts de saumons  
et truites de mer dans la basse ourthe a mery au printemps  
2014 au cours d'une huitieme saison de piegeage**

**(UNIVERSITE DE LIEGE)**

## 6.1. Objectifs de l'étude

Au début 2007, les sociétés Mérytherm et Profish Technology ont équipé la centrale hydroélectrique du barrage de Mery sur l'Ourthe (fig. 71) d'un exutoire de dévalaison pour poissons (fig. 72). En collaboration avec ces deux sociétés, le LDPH-ULG a eu la possibilité d'installer un piège de capture expérimental à la sortie de cet exutoire de dévalaison, spécialement dans le but d'intercepter des saumoneaux et truites de mer en migration de descente vers la Meuse et la mer. Le piège est contrôlé annuellement à la période de migration de dévalaison des smolts depuis 2007. En 2014, le piégeage s'est déroulé du 6 mars au 2 juin 2014 (93 jours) et constitue la huitième année consécutive de monitoring.

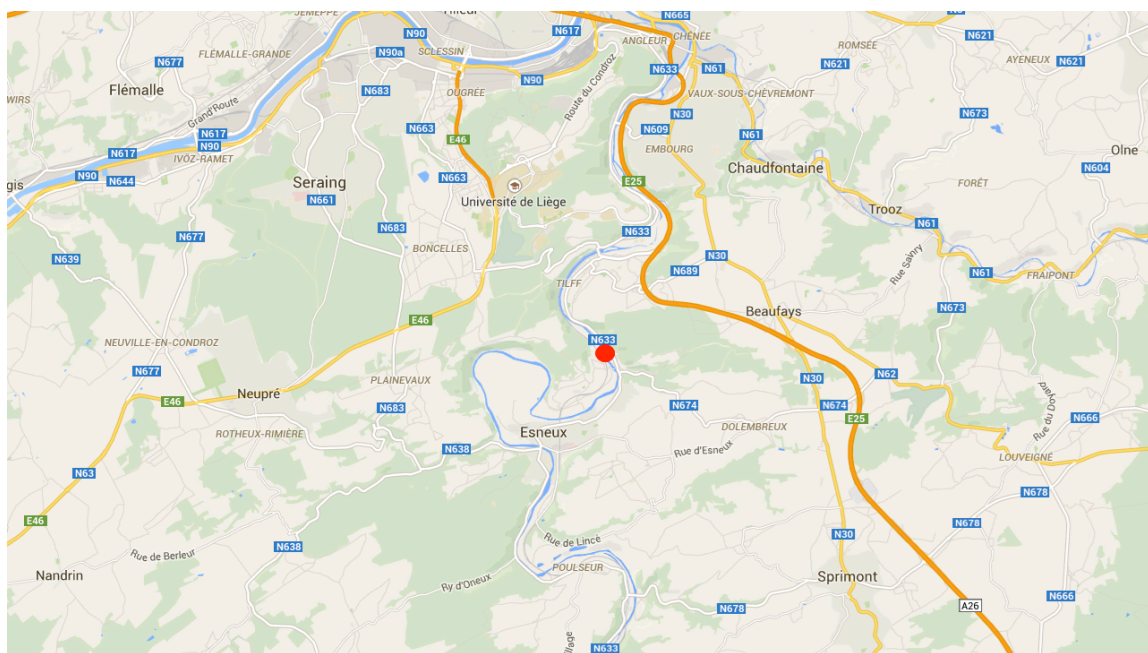


Figure 71. Carte de localisation du site du barrage avec centrale hydroélectrique de Méry sur l'Ourthe.

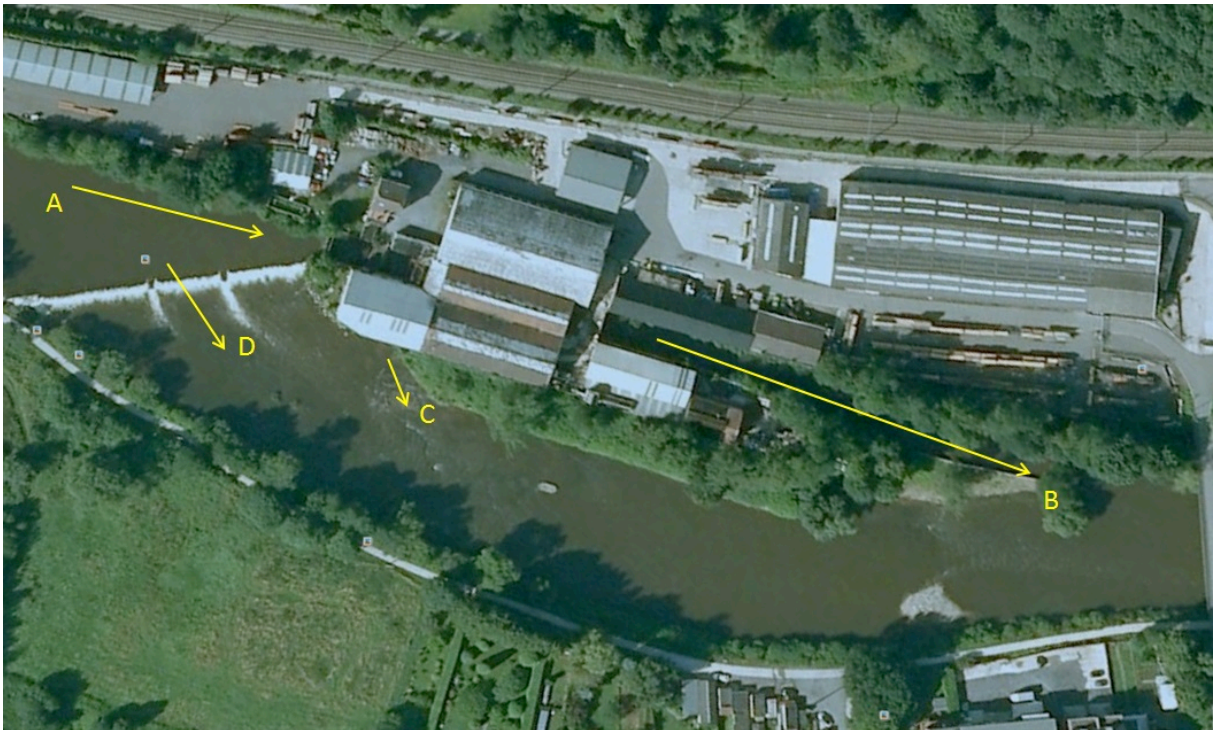


Figure 72. Vue latérale (au-dessus) et aérienne (en-dessous) du site du barrage de Méry avec la centrale hydroélectrique Mérytherm. Les flèches indiquent les mouvements d'eau : (A) entraînement de l'eau dans le canal de prise d'eau au fond duquel se trouvent l'entrée des deux turbines protégées par une grille et l'exutoire de dévalaison latéral, (B) la restitution de l'eau turbinée (max  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ), (C) la restitution de l'eau passée par l'exutoire de dévalaison et son piège de capture et (D) l'écoulement d'eau sur le déversoir.

L'exutoire de dévalaison et le dispositif de piégeage (fig. 73) ainsi que les méthodes d'étude sont décrits en détail dans le rapport annuel Saumon 2007-2008.



Figure 73. Vues (à gauche) de l'exutoire de dévalaison latéral (débit : 0,1-0,2 m<sup>3</sup>/s ; vitesse : 1-1,2 m<sup>3</sup>/s) aménagé dans le prolongement latéral de la grille de la prise d'eau de la centrale hydroélectrique Merytherm (10 m<sup>3</sup>/s maximum) sur l'Ourthe et (à droite) du système de récupération des poissons.



Figure 74. Le dispositif de piégeage à la dévalaison de Méry dans sa configuration en début 2012.

## 6.2. Conditions environnementales

### 6.2.1. Régime hydrologique

Au cours de la période de piégeage en continu de 93 jours entre le 6 mars 2014 et le 2 juin 2014, le débit de l'Ourthe n'a cessé de diminuer, passant de 40 m<sup>3</sup>/s en début mars à un minimum d'environ de 9 m<sup>3</sup>/s le 6 mai 2014 (fig. 75). On a ensuite enregistré une remontée de débit jusqu'à un maximum de 32 m<sup>3</sup>/s le 8 mai suivie d'une diminution régulière jusqu'à 8 m<sup>3</sup>/s le 4 juin 2014. Un second pic de débit a été enregistré à 37 m<sup>3</sup>/s le 11 juin.

Des débits journaliers inférieurs à 20 m<sup>3</sup>/s sont considérés comme très favorables à l'entraînement forcé des poissons dans le canal de prise d'eau vers les turbines (10 m<sup>3</sup>/s) et donc dans l'exutoire de dévalaison. De tels débits ont été observés du 28 mars au 6 mai 2014. En 2014 les débits de l'Ourthe en début mars-début juin sont restés plus bas qu'ils étaient pendant la même période en 2013.

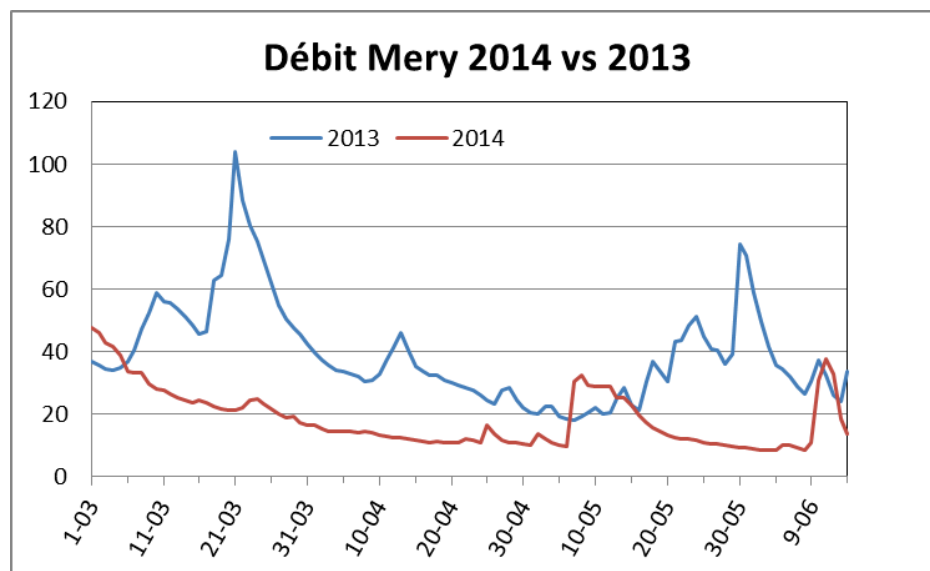


Figure 75. Régime des débits (moyennes journalières) dans l'Ourthe à Méry en mars-juin 2013 et 2014. Source des informations : SETHY-SPW.

### 6.2.2. Régime thermique

La température est restée inférieure à 10°C (Fig. 76) jusqu'au 30 mars et s'est ensuite stabilisée entre 10 et 15°C jusqu'au 18 mai 2014. C'est seulement à partir de cette date qu'on a enregistré des températures journalières de 16-18°C suivies de températures supérieures à 20°C entre le 8 et le 11 juin 2014.

La température moyenne mensuelle en 2014 a été de 8,2°C en mars (vs 4,7°C en 2013), 13°C en avril (vs 9,5°C en 2013), 15 °C en mai (vs 12,7 °C en 2013) et 18,8 °C en juin (vs 14,8°C en 2013). Le printemps 2014 a été particulièrement doux.

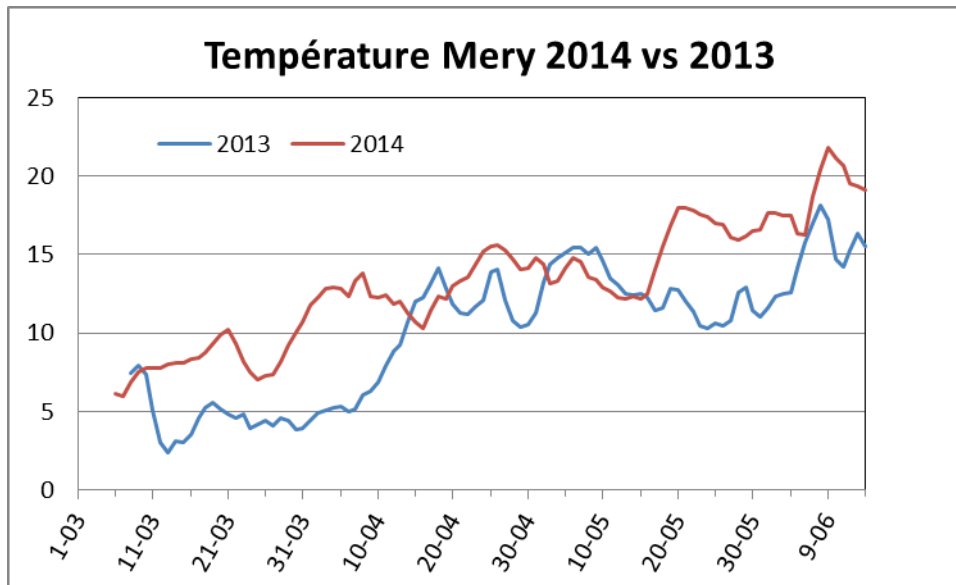


Figure 76. Régime des températures (moyennes journalières) dans l’Ourthe à Méry en mars-juin 2013 et 2014.

### 6.3. Bilan général des captures toutes espèces confondues

Le tableau 33 présente le détail des captures qui s’élèvent à 5439 poissons appartenant à 18 espèces, les plus abondantes numériquement étant le saumon atlantique (n=4527), la truite commune (n=752), le gardon (n=65) et la perche (n=34). En nombres d’individus, les résultats obtenus en 2014 sont assez proches de ceux de 2013 où 5359 individus avaient été capturés

La présence et l’abondance dans les captures de dévalants de la truite commune et du gardon ont pu être influencées par des repeuplements effectués les mois précédents en amont de Méry (dans l’Ourthe et l’Amblève).

Le nombre de smolts saumon capturés en 2014 est très proche de celui de 2013 (n=4527 en 2014 contre n=4691 en 2013). On a enregistré la capture de 752 truites dont 682 smolts. A noter la capture le 14 avril d’un grand smolt saumon (fig. 77) de 324 mm pour 302 g.



Figure 77 : smolt saumon capturé le 14 avril 2014 à Méry

On enregistre la capture de 12 ombres dont la majorité représente des individus en post-reproduction et la capture de 2 anguilles dont une de 890mm.

**Tableau 33. Bilan des captures des poissons dans le piège de dévalaison de la centrale hydroélectrique Mérytherm sur la basse Ourthe pendant la période du 6 mars au 2 juin 2014 (36 contrôles pour 93 jours de piégeage en continu).**

Espèce	Poissons capturés		Longueur Lf mm	
	N	%	Min	Max
Saumon atlantique	4527*	83,23	103	324
- smolts	4525	-	103	324
- tacons	2	-	105	125
Truite commune	752	13,83	73	396
- smolts	682	-	109	350
- non smolts	70	-	73	396
Truite aec	5	0,09	309	393
Barbeau	11	0,20	131	510
Ombre	12	0,22	311	388
Hotu	2	0,04	442	481
Chevaine	7	0,13	91	509
Ablette spirilin	2	0,04	84	90
Rotengle	11	0,20	112	180
Gardon	65	1,20	121	220
Brochet	1	0,02		290
Vairon	3	0,06	72	86
Anguille	2	0,04	214	890
Perche fluviatile	34	0,63	122	312
Lamproie	1	0,02		162
Chabot	1	0,02		113
Saumon de fontaine	1	0,02		309
Grémille	2	0,04	126	194
<b>Total</b>	<b>5439</b>			

(\*)Tous les saumons atlantiques sont des poissons issus de repeuplements de réintroduction en tacons car aucune reproduction naturelle ne s'est apparemment encore produite dans les milieux concernés. A cela s'ajoutent 40 individus smolts provenant d'un déversement de 450 smolts marqués avec des transpondeurs RFID réalisé dans le cadre du projet FEP Amblève (voir point 6.4.4.)

## 6.4. Caractéristiques de la population des saumoneaux dévalants

### 6.4.1. Tailles

La figure 78 montre l'histogramme des tailles des smolts de saumons pour 1345 individus « semi-sauvage » issus de tacons remis en rivière. Pour les smolts saumon, la taille minimum est de 103 mm et la taille maximum est de 324 mm, la taille moyenne générale étant de 152 mm.

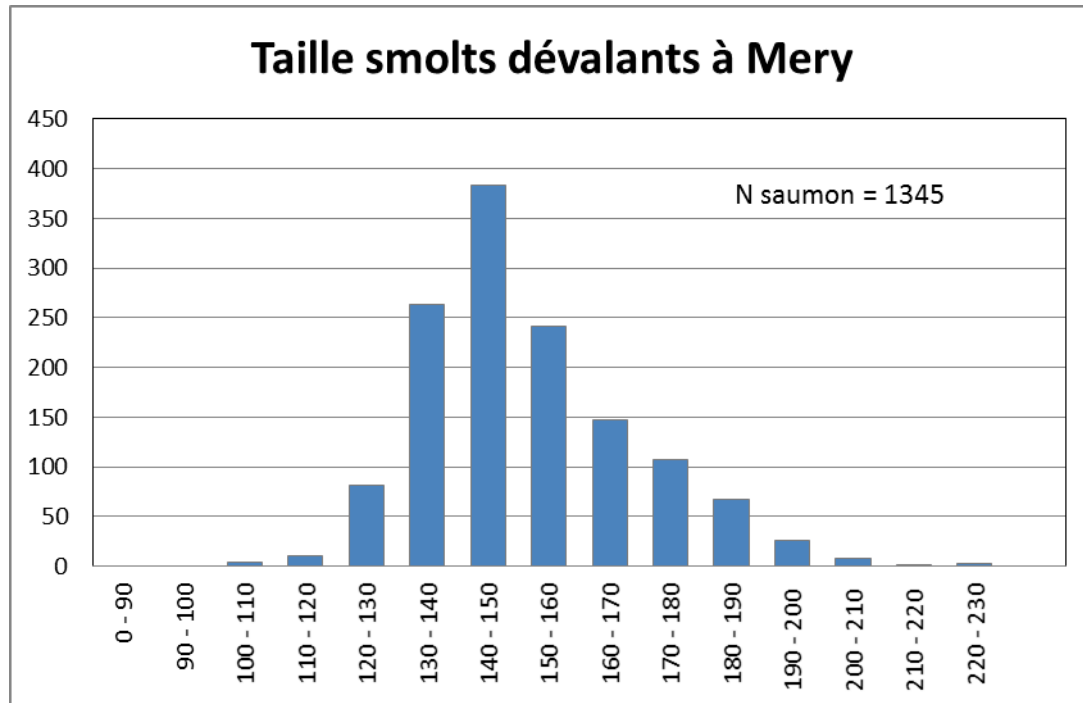


Figure 78. Echantillon d'histogramme des fréquences des tailles (longueur à la fourche, Lf en mm) des saumoneaux interceptés en dévalaison dans le piège de la CHE Mérytherm dans l'Ourthe à Méry en 2014.

### 6.4.2. Périodicité des captures en début 2014

La figure 79 montre l'évolution au cours du temps des captures à Mery des saumoneaux dévalants « semi-sauvage » issus des repeuplements en tacons de 2013. La majorité (96%) des captures de 2014 est répartie sur une période de 43 jours, du 31 mars au 12 mai et lorsque la température dépasse 9°C avec un pic de capture (n=602) le 22 avril à une température de 13,6°C. On observe des dévalaisons à partir du 10 mars, mais en faible quantité.

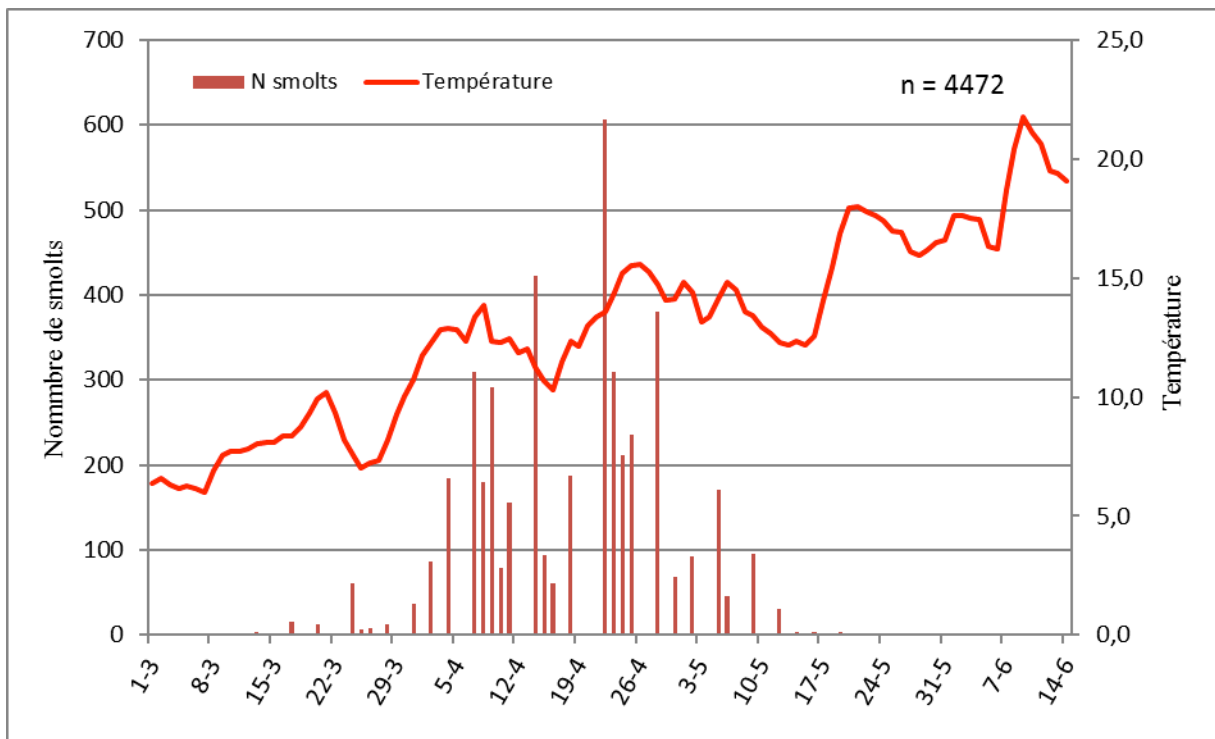


Figure 79. Nombre de saumoneaux piégés en dévalaison dans l'Ourthe à Méry au printemps 2014 en relation avec les valeurs moyennes journalières de la température de l'eau.

La dévalaison des smolts se déroule à une période où le débit diminue progressivement de 24m<sup>3</sup>/s le 24 mars à 9 m<sup>3</sup>/s le 6 mai (fig.80), des conditions hydrologiques très favorables à l'entraînement des smolts dévalants dans la prise d'eau de la centrale (10 m<sup>3</sup>/s).

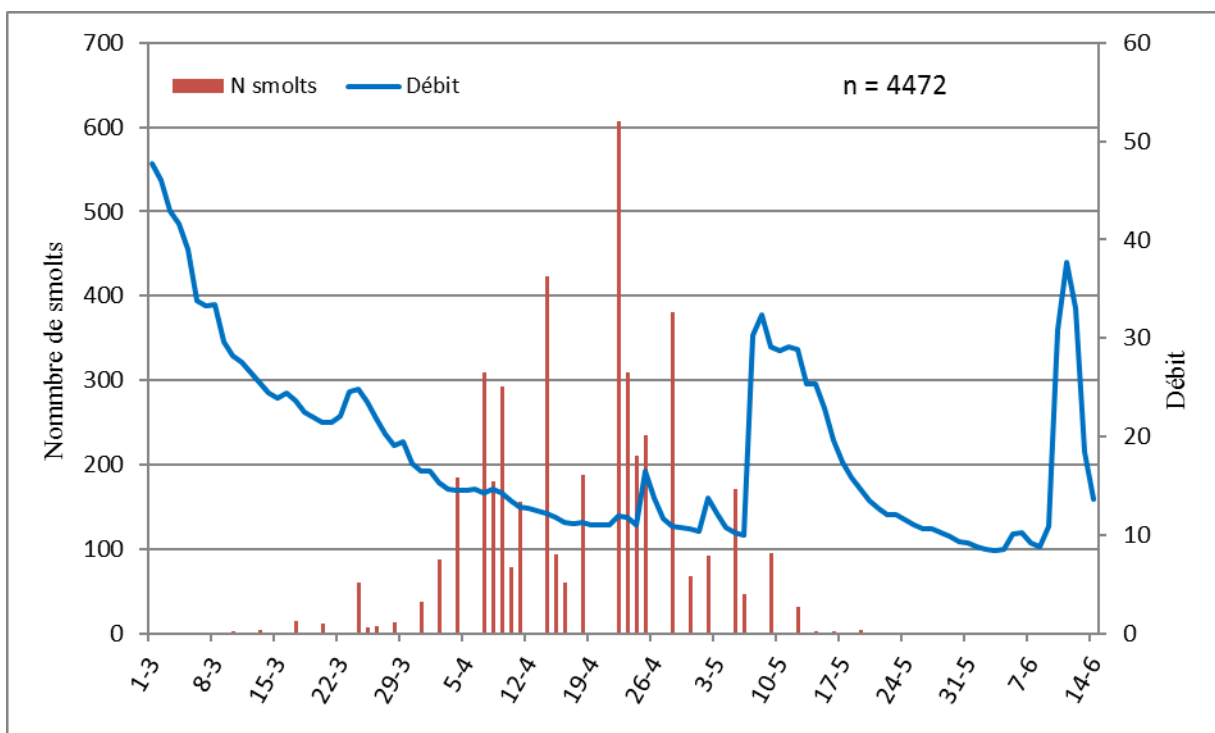


Figure 80. Nombre de saumoneaux piégés en dévalaison dans l'Ourthe à Méry au printemps 2014 en relation avec les valeurs moyennes journalières du débit.

Il y a eu au printemps 2014 concordance entre les bonnes conditions de piégeage en dévalaison au point de vue thermique (>10°C) et hydraulique (<20 m<sup>3</sup>/s).

### 6.4.3. Etat de santé des smolts

Comme les années antérieures, les smolts dévalants sont affectés par la saprolégniose (infection fongique) et par une infestation par les sangsues dans des proportions indiquées dans le tableau 34 et la figure 81 pour les deux sous-populations considérées. Les smolts « semi-sauvage » sont particulièrement affectés par des sangsues en 2013.

Tableau 34. Proportion des smolts dévalants dans l'Ourthe à Mery en 2014 affectés par la saprolégniose et les sangsues.

Pathologie	"Sauvages"	Marqués 2014
Saprolégniose	18,29%	6,25%
niveau1	14,42%	6,25%
niveau 2	3,87%	-
	246/1345	3 48
Sangsues	48,92%	2,00%
	658/1345	1 48

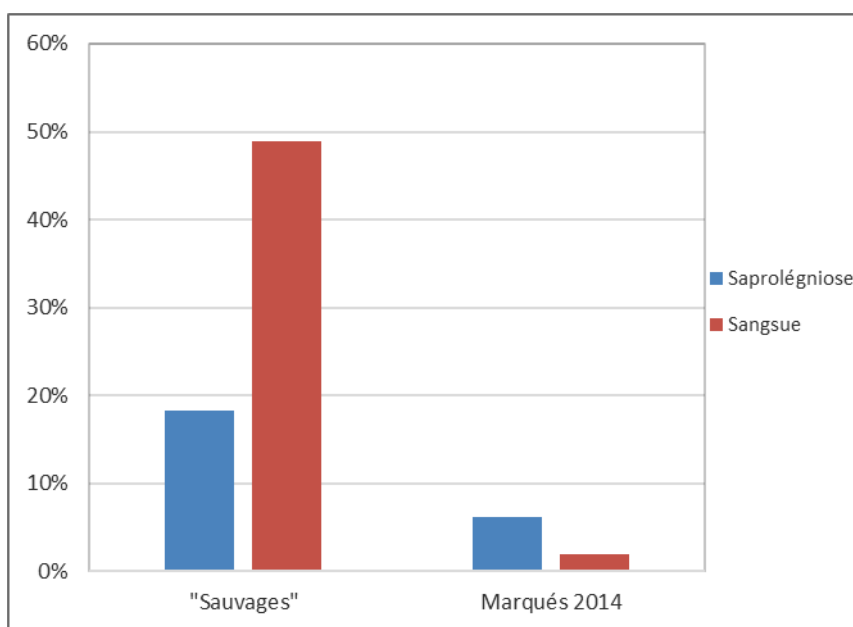


Figure 81. Taux d'infestation par les sangsues et la saprolégniose des différents lots de smolts dévalants dans l'Ourthe à Méry en 2014.

### 6.4.4. Expérience de dévalaison sur l'Amblève à Lorcé

Depuis mars 2012, le barrage de Lorcé sur l'Amblève est équipé d'un exutoire de dévalaison. Dans le cadre d'un projet FEP, une station de détection automatique RFID a été installée sur le site, munie d'une antenne placée à l'entrée de l'exutoire, pour répondre à un des objectifs de cette étude qui était de tester l'efficacité de l'exutoire. Pour cette expérience 450 smolts provenant de la pisciculture d'Erezée ont été marqués avec des transpondeurs RFID puis déversés à trois points différents en amont du barrage de Lorcé, en vue d'être

détectés au niveau de l'exutoire de dévalaison du barrage de Lorcé. Ce suivi a été réalisé en 2012, 2013 et 2014.

Les trois points de déversement sont (Benitez et al., 2013)

- **Site 1** : à 16,175 km aval de la cascade de Coo et à 1,075km en amont du barrage de Lorcé au lieu-dit « pont de Naze ».

- **Site 2** : à 300 m en aval de la cascade de Coo et à 16,7km en amont du barrage de Lorcé au niveau du parking de Plopsa Coo.

- **Site 3** : 2,45 km en amont de la cascade de Coo et à 19,4km en amont du barrage de Lorcé.

Aux printemps 2012, 2013 et 2014, 156/1350 (11,6 %) individus marqués par transpondeur RFID ont été capturés dans le piège de dévalaison de Mery situé 41km en aval du barrage de Lorcé. En moyenne, il faut 6-7 jours aux smolts pour parcourir le trajet Lorcé-Méry, avec un minimum de 2 jours et un maximum de 20 jours.

Il est intéressant de noter que durant cette expérience nous avons pu mettre en évidence une activité nocturne de recherche de l'exutoire chez les smolts (fig. 82).

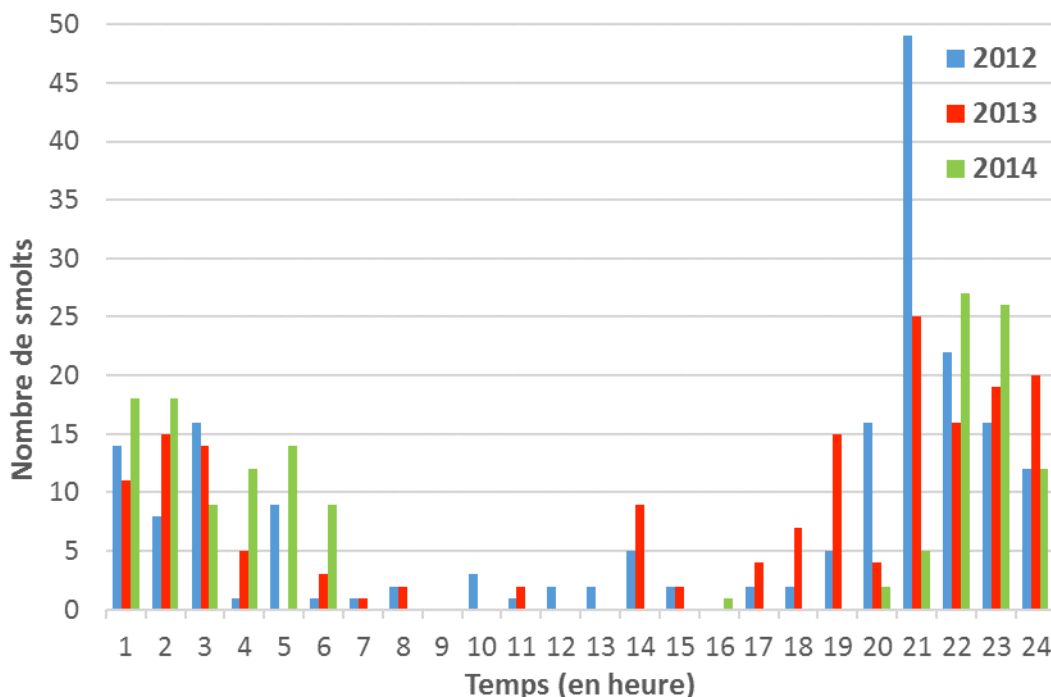


Figure 82. Pourcentage des détections totales d'individus marqués RFID au niveau de l'entrée de l'exutoire du barrage de Lorcé pour 2012 en bleu, 2013 en rouge et 2014 en vert.

#### 6.4.5. Taux de reprise des jeunes saumons déversés

Le nombre de smolts capturés à Méry peut être mis en relation avec le nombre de nombre potentiel de smolts produits à partir des tacons déversés en amont du site.

Du 24/6 au 11/7/2013, furent déversés  $n = 321\ 697$  tacons de 0,49 -1,05 g équivalents à 20 832 ssd (équivalents saumoneaux sauvages dévalants). Le taux de reprise est de  $4772/20832 = 22,9 \%$  mais ce pourcentage est probablement plus faible si l'on tient compte qu'une certaine proportion de smolts sont issus des tacons déversés en 2012.

Sur les n=450 smolts marqués-pucés de pm 33 g déversés dans l'Amblève à Lorcé du 9/4 au 6/5/2014, le taux de reprise est de  $62/450 = 13,7\%$

## 6.5. Dévalaison des autres espèces.

### 6.5.1. Smolts de truite

La figure 83 montre l'histogramme des tailles des smolts truite sur un échantillon de n=438 poissons capturés en dévalaison dans le piège de la CHE de Méry en 2014. La taille minimum est de 109 mm, la taille maximum est de 350mm et la taille moyenne est de 166mm. A noter la capture d'un grand smolt truite de 350mm pour 500g le 23 avril 2014.

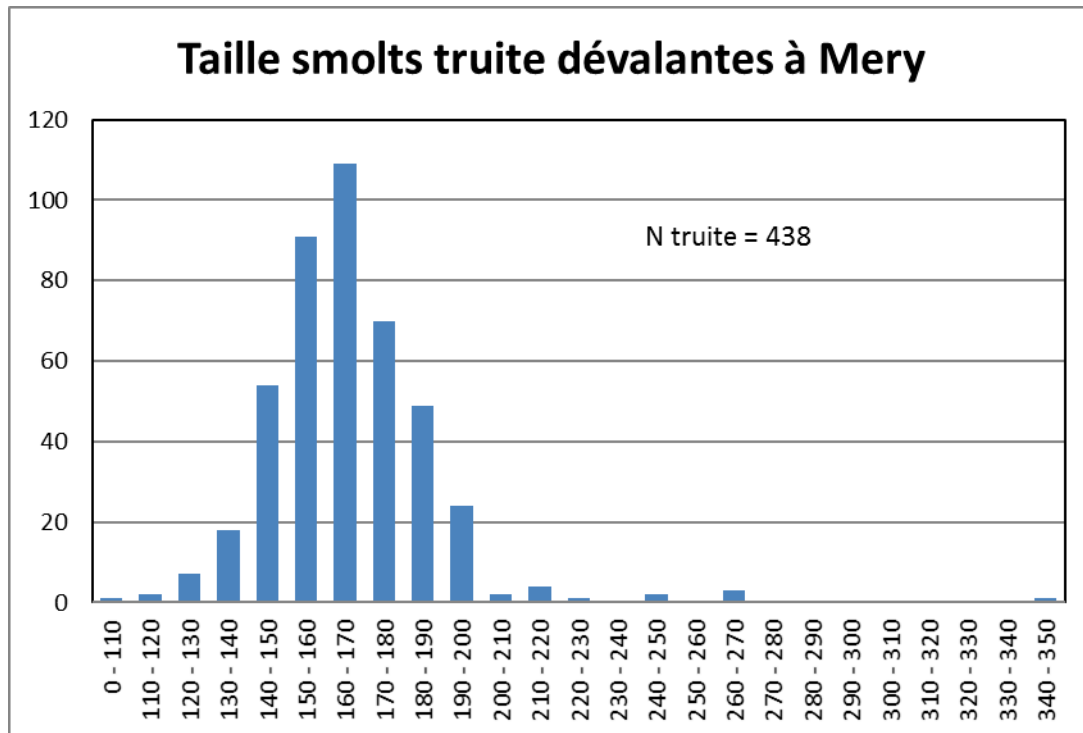


Figure 83. Histogramme des fréquences des tailles (longueur à la fourche, Lf en mm) des smolts truites interceptés en dévalaison dans le piège de la CHE Mérytherm dans l'Ourthe à Méry en 2014.

La figure 84 montre l'évolution au cours du temps des captures à Méry des smolts de truites dévalants. Les captures sont réparties sur une période de 60 jours, du 24 mars au 23 mai, lorsque la température dépasse  $4,5^{\circ}\text{C}$  avec un pic de capture de 157 individus le 5 mai à une température de  $15,1^{\circ}\text{C}$ .

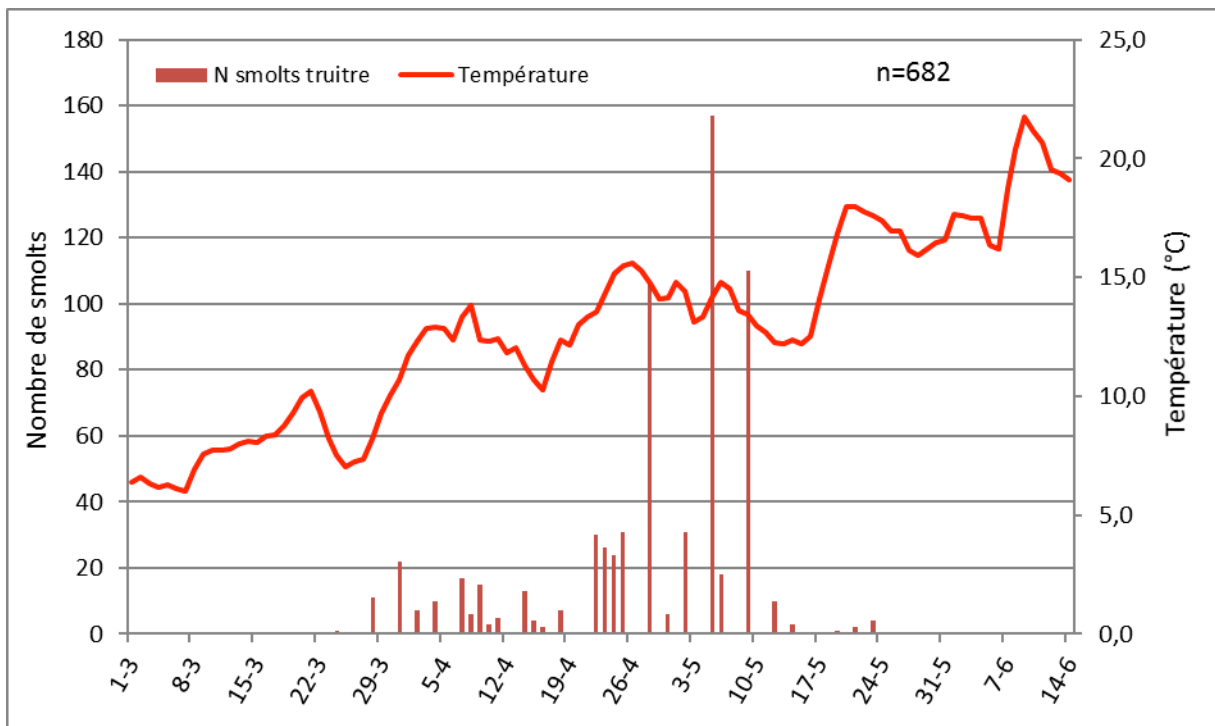


Figure 84. Nombre de smolts de truite piégés en dévalaison dans l'Ourthe à Méry au printemps 2014 en relation avec les valeurs moyennes journalières de la température de l'eau.

La dévalaison des smolts se déroule à une période où le débit diminue progressivement de 24m<sup>3</sup>/s le 24 mars à 9 m<sup>3</sup>/s le 6 mai. On observe trois pics de captures avec plus de 100 individus par contrôle (fig. 85). Des conditions hydrologiques favorables à l'entraînement des smolts de truites dévalants dans la prise d'eau de la centrale hydroélectrique (10 m<sup>3</sup>/s). On enregistre un pic de débit le 8 mai avec 32 m<sup>3</sup>/s suivis d'un pic de capture de 110 individus le 9 mai.

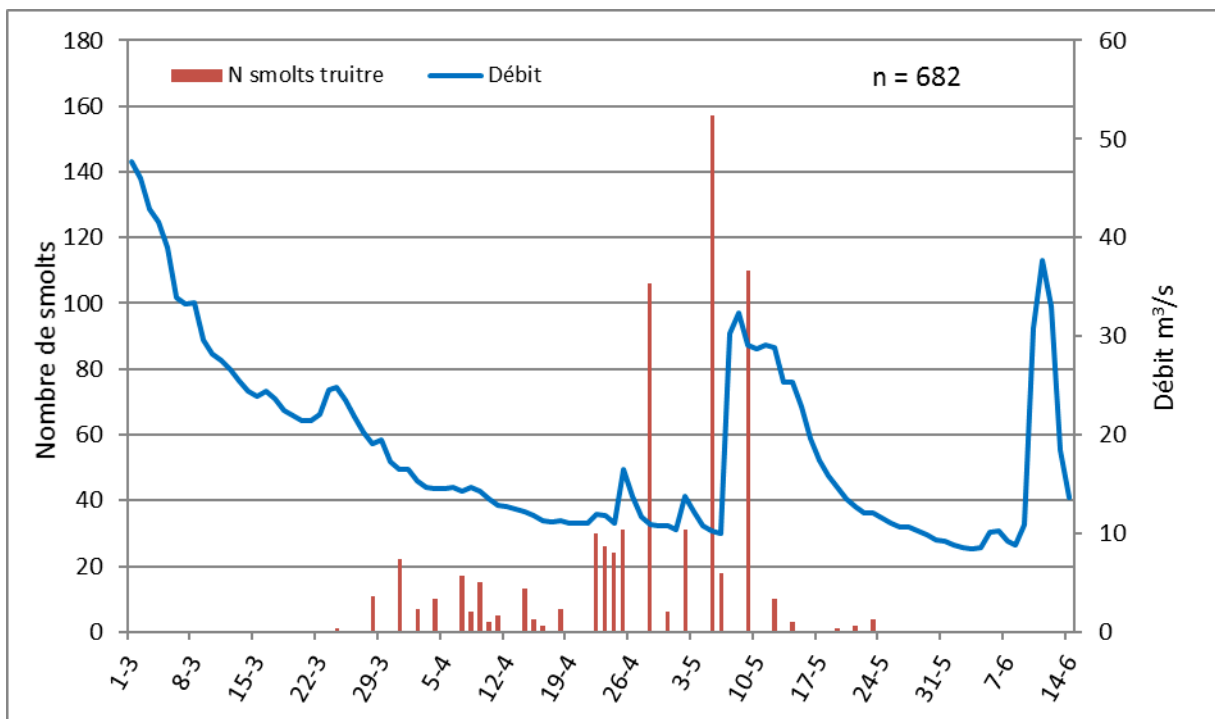


Figure 85. Nombre de saumoneaux piégés en dévalaison dans l'Ourthe à Méry au printemps 2014 en relation avec les valeurs moyennes journalières du débit.

### **6.5.2. Autres espèces**

Les captures de truite commune à morphotype fario (n=70) se produisent du 17 mars au 23 mai et sont directement liées aux repeuplements en poissons pêchables en vue de l'ouverture générale de la pêche à la ligne en juin.

Les captures des truites arc-en-ciel (n=5) se produisent du 14 mai au 2 juin et sont également liées aux repeuplements en vue de l'ouverture générale de la pêche à la ligne en juin.

Les captures d'ombres (n=12) représentent des individus en post reproduction.

Les captures des espèces autres que les Salmonidés sont fort sporadiques et portent parfois sur des individus morts ou moribonds juste après la reproduction.

### **6.6. Synthèse globale des résultats basée sur les suivis au cours des huit années de piégeage.**

Au cours des sept années (2007, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 et 2014) qui ont permis la capture de nombres importants de smolts dévalants, il apparaît que la date médiane de dévalaison (50 % de l'effectif) varie entre le 11/04 en 2011 et le 02/05 en 2013 avec les dates intermédiaires du 16/04 en 2009, du 21/04 en 2014, du 22/04 en 2012, du 23/04 en 2007 et du 30/04 en 2010 (tabl. 34). La date de la première dévalaison se situe entre le 3 et 24 mars à une température de 5,0-8,2°C. Dans l'état actuel des connaissances acquises avec la méthode d'échantillonnage utilisée, rien ne permet de penser que des dévalaisons importantes ont lieu plus tôt dans la saison et à des températures basses (< 10 °C).

La température moyenne pondérée de dévalaison varie de 10,1°C en 2013 à 14,7°C en 2007 avec une valeur de 11,0°C en 2012, de 12,6 °C en 2009, de 12,8°C en 2011, de 12,3°C en 2010 et de 13,2°C en 2014. La température moyenne de dévalaison enregistrée en 2008 est un peu plus élevée (15,1 °C) que les autres années parce que le piège n'a échantillonné que des saumoneaux en dévalaison tardive vu que le pic de migration s'est probablement produit un peu plus tôt, pendant une période de hautes eaux peu favorable à un fonctionnement efficace du piège. L'année 2008 est donc très atypique.

**Tableau 34. Comparaison des caractéristiques de la migration de dévalaison des smolts et pré-smolts du saumon atlantique dans l'Ourthe à Méry au cours de 8 années 2007-2014. L'année 2008 doit être considérée comme atypique pour l'échantillonnage des smolts dévalants.**

Caractéristiques	Années							
	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007
Période de piégeage	05/03-02/06	07/03-13/06	01/03-14/06	28/02-13/05	17/03-02/06	20/03-10/06	11/04-30/05	15/03-25/05
Durée du piégeage (j)	90	99	106	85	77	52	50	70
Nombre de poissons	4527	4691	3544	1367	451	147	35	671
Longueur min-max (mm)	103-324	84-256	97-2216	97-232	100-245	104-198	90-169	114-205
Longueur moyenne (mm)	152	147	148	-	140	133	152	?
<b>Date 1ère capture</b>	<b>10-mars</b>	<b>07-mars</b>	<b>05-mars</b>	<b>03-mars</b>	<b>24-mars</b>	<b>20-mars</b>	<b>22-avr</b>	<b>23-mars</b>
<b>Temp. 1ère capture</b>	<b>7,5</b>	<b>7,4</b>	<b>7,7</b>	<b>5</b>	<b>8,2</b>	<b>6,5</b>	<b>11,2</b>	<b>5,7</b>
Débit 1ère capture (m <sup>3</sup> /s)	28,1	41	41,8	60	62	56	61	77
Date dernière capture	30-mai	16-juin	14-juin	13-mai	31-mai	05-juin	21-mai	11-mai
Temp. dernière capture (°C)	16,5	16,3	14,6	17,5	14,4	14,3	14,7	14,7
Débit dernière capture (m <sup>3</sup> /s)	9,3	24,3	18,8	9,5	16	18,5	18	25
Date > 50 % captures	21-avr	02-mai	22-avr	11-avr	30-avr	16-avr	07-mai	23-avr
	jj 111	jj 122	jj 113	jj 101	jj 120	jj 106	jj 128	jj 113
Température moyenne (°C)	13,2	10,1	11	12,8	12,3	12,6	15,1	14,7

## 6.7. Projet de programme pour 2015

\* Réalisation, de fin mars à début juin, d'une neuvième session de piégeage des smolts de salmonidés (+ autres poissons) en dévalaison dans le piège de la centrale hydro-électrique Mérytherm sur l'Ourthe. Sollicitation de l'aide de l'équipe de la pisciculture d'Erezée pour effectuer les contrôles et transporter les saumoneaux dans la Meuse ou la basse Berwinne en aval de Lixhe lors des pics de capture. Sur ce site de piégeage de grande importance stratégique, il s'agit de prévoir une exploitation maximale des données : capture de smolts de différentes origines, recapture de lots de smolts marqués, prélèvement d'échantillons pour des études physiologiques et génétiques, relation entre la dévalaison et les conditions environnementales. A préciser avec SP

\* En parallèle avec le projet FEP dévalaison (2013-2015).

**7. Suivi par télémétrie acoustique de la migration des  
Smolts dans l'axe Ourthe Meuse Canal Albert**

**(Université de Liège en collaboration avec l'INBO)**

## 7.1. Présentation du site d'étude et objectifs

Cette étude préliminaire sur le comportement de dévalaison de smolts par télémétrie acoustique s'est déroulée dans une zone assez complexe qui offre plusieurs voies de passage pour les smolts en dévalaison : la basse Ourthe en aval du barrage des Grosses Battes à Angleur, qui débouche dans la dérivation de la Meuse, la dérivation jusqu'au pont Atlas ou elle rejoint le Meuse, la Meuse jusqu'au canal Albert, la Meuse jusqu'en aval de l'écluse de Lanaye et le canal Albert jusque Kane.

Dans le cadre de cette étude nous avons procédé à l'installation de 18 balises acoustiques avec la collaboration de l'INBO (Insttuut voor Natuur en Bosonderzoek), qui a mis 15 balises à notre disposition ainsi que 20 émetteurs pour le marquage des smolts. Les balises ont été réparties sur la basse Ourthe, la Meuse, la dérivation de la Meuse et le canal Albert comme suite : 2 en basse Ourthe, 2 dans la dérivation 11 en Meuse dont 1 en amont de la confluence avec l'Ourthe et 3 dans le canal Albert.

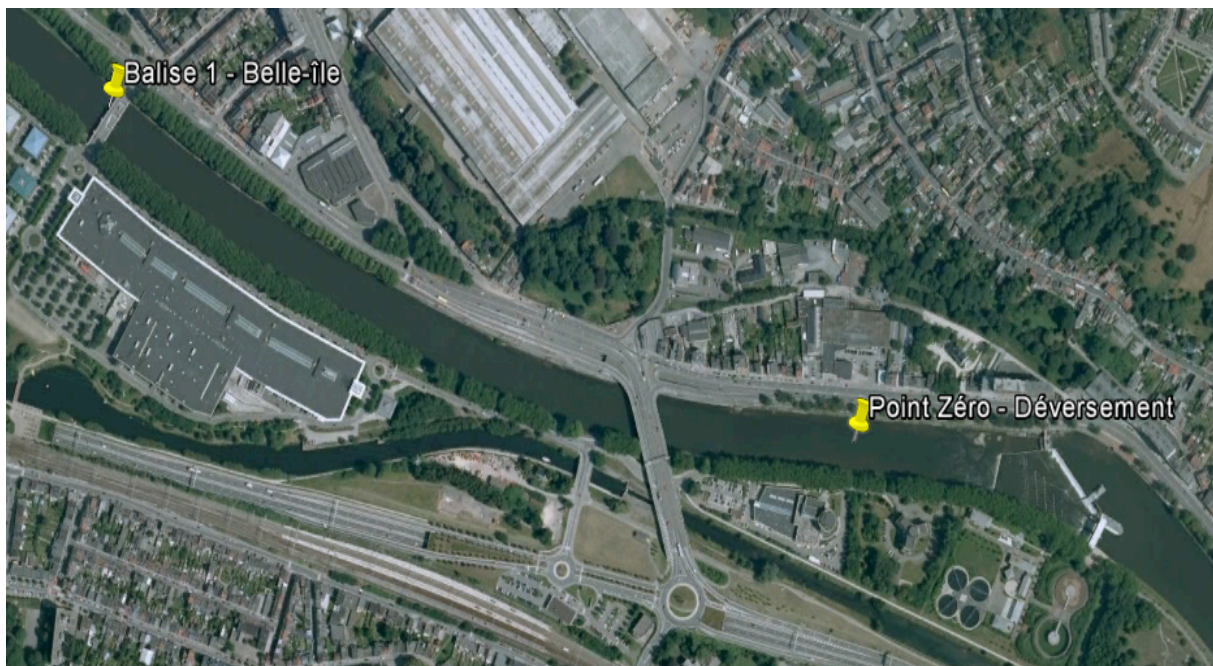


Figure 86. Point de déversement et balise 1 sur la basses Ourthe

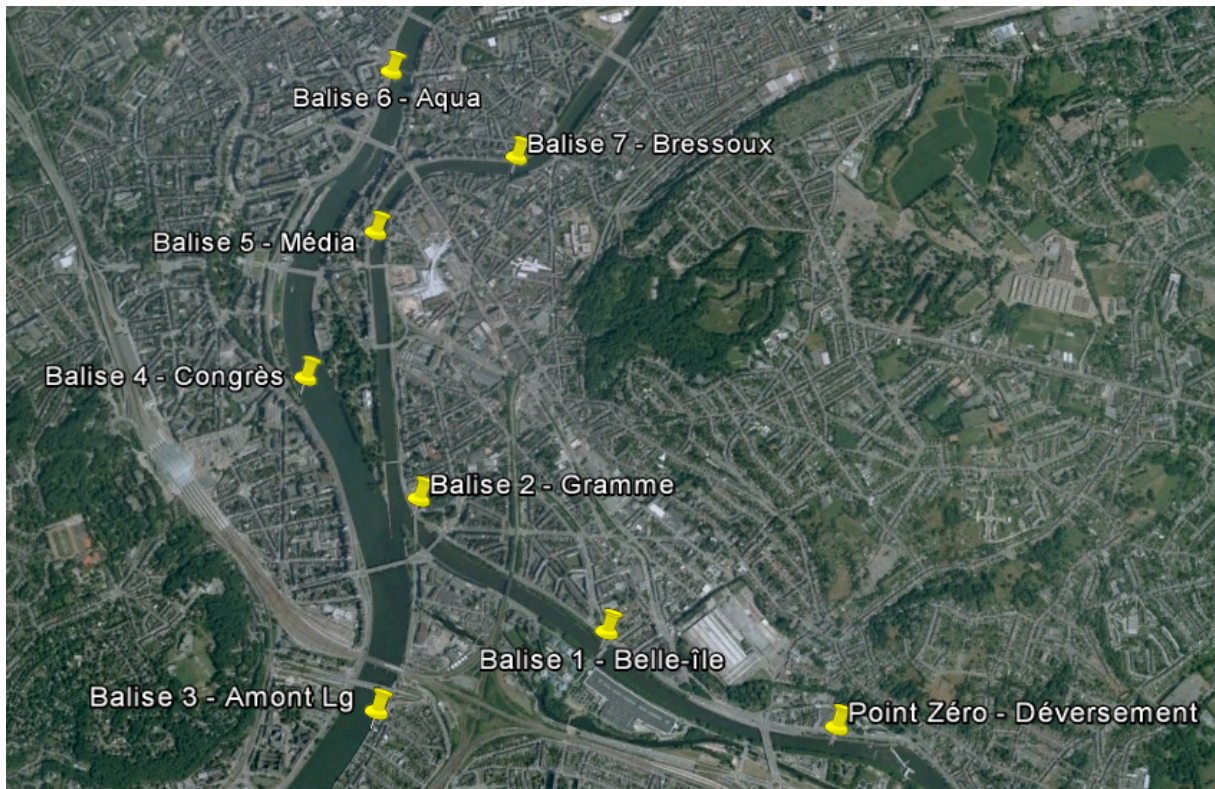


Figure 87. Balises sur la basse Ourthe (1-2), la Meuse (3-4-6) et la dérivation (5-7)

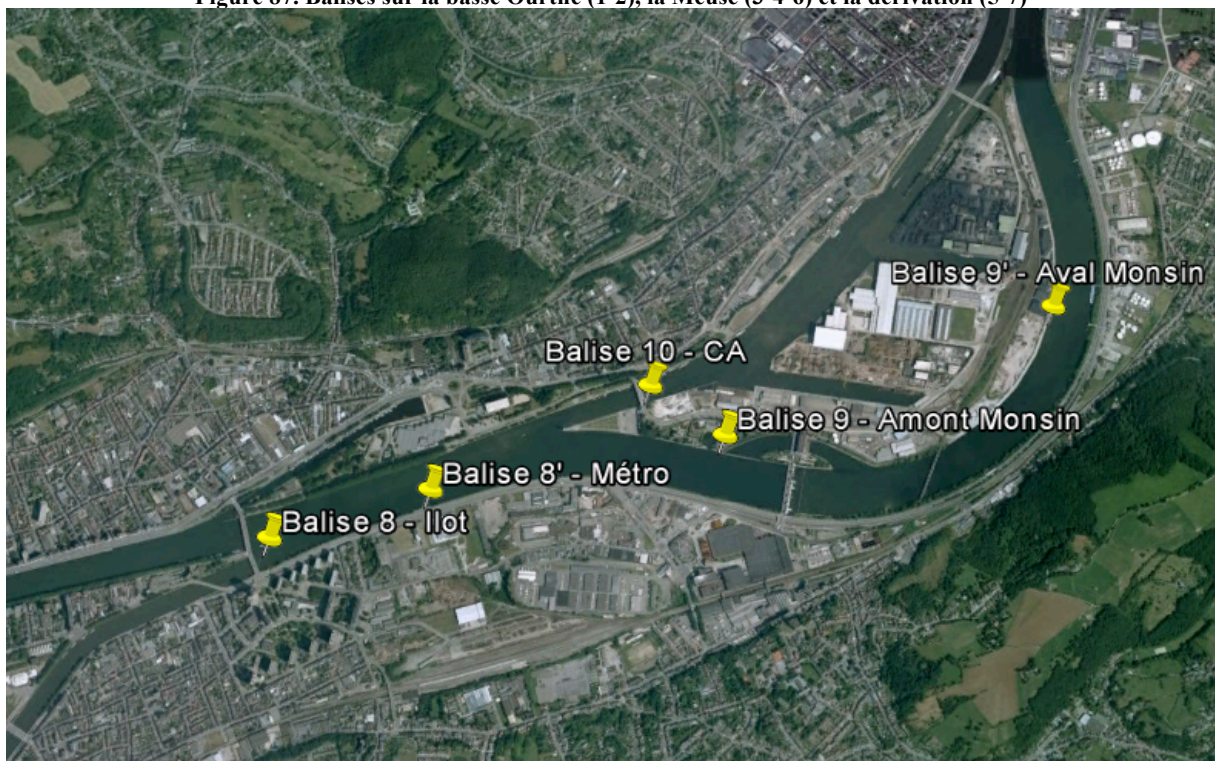


Figure 88. Balises sur la Meuse (8-8'-9-9') et le canal Albert (10)

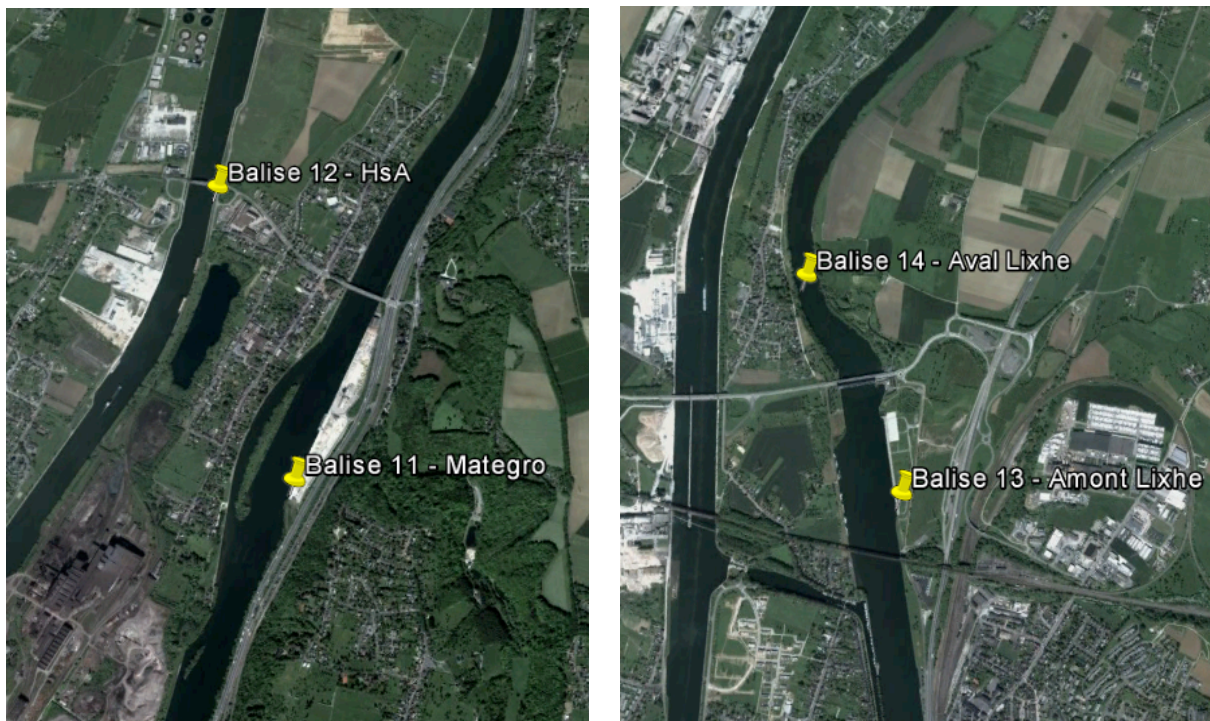


Figure 89. Balises sur la Meuse (11-13-14) et le canal Albert (12)



Figure 90. Balise sur la Meuse (15) et le canal Albert (16)

L'objectif principal de ce test préliminaire était de maîtriser la technique pour permettre le suivi automatisé et sur de longues distances de smolts en dévalaison en Meuse et dans le canal Albert. Pour ce faire nous avons réalisé des premiers essais de marquage de smolts avec des émetteurs actifs acoustiques V7 (fig. 91) et un suivi automatisé en Meuse et dans le canal Albert avec des balises de réception VR2 (fig. 91). Les balises acoustiques (Société Vemco, Canada) sont placées sous l'eau et solidement fixées dans la majorité des cas aux échelles qui se trouvent le long des berges de la Meuse par un câble en acier de 8mm. Le câble est lesté par un poids en béton pour maintenir la balise en position verticale. Pour implanter l'émetteur acoustique dans le poisson, une incision est réalisée au niveau de la cavité intra-péritonéale

entre la nageoire pelvienne et la nageoire anale. On applique ensuite deux points de suture pour une meilleure cicatrisation.

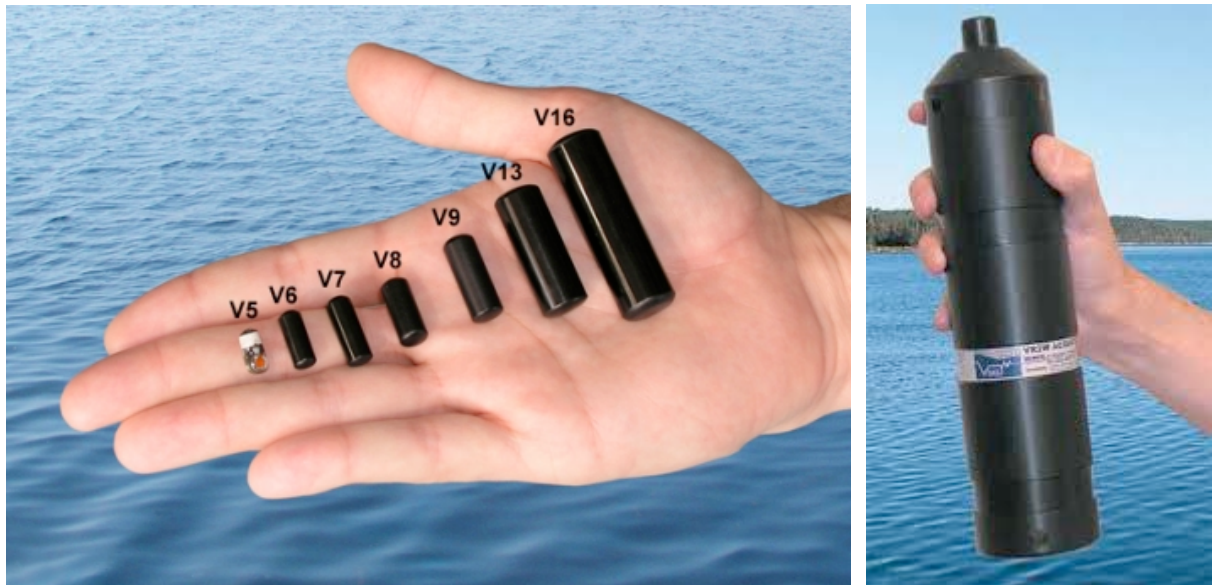


Figure 91. Emetteurs actifs acoustiques à gauche et récepteur acoustique à droite

Les signaux émis par l'émetteur acoustique sont captés par les balises qui sont en écoute permanente et placées sous l'eau. Chaque émetteur acoustique est codé, ce code unique à chaque poisson permet de les identifier individuellement. Les données sont archivées dans les récepteurs qui doivent être relevés régulièrement avec un PC. Le champ de détection de ce dispositif nous permet de couvrir toute la largeur de la Meuse. Ces données nous renseignent sur la date et l'heure de passage ainsi que l'identité de l'individu détecté à chaque balise. Nous avons effectué deux opérations de marquage de smolts, la première le 23 avril 2014, sur 10 smolts dont 5 issus dans la pisciculture d'Erezée et 5 interceptés dans la passe à dévalaison de de Merytherm sur l'Ourthe à Mery. La température de l'Ourthe et de la Meuse était respectivement de 14,1°C et de 16°C. Leur débit était de 15,6m<sup>3</sup>/s et 82,4 m<sup>3</sup>/s. La taille moyenne des smolts d'Erezée est de 253,8 mm contre 195,4 mm pour les smolts de Mery. La deuxième opération de marquage s'est déroulée le 12 mai, sur 10 individus dont 9 issus de la pisciculture d'Erezée et 1 de Mery. Les deux lots de smolts ont été déversés le jour du marquage en aval du barrage des Grosses Battes sur l'Ourthe à Angleur (fig. 86), à 1 km en amont de la première balise installée dans la basse Ourthe sur le pilier du pont de Belle Ile.

## 7.2. Résultats

Les premiers résultats montrent que les smolts de Mery relâchés le 23 avril ont été détectés par la première balise entre 26 et 50 heures alors que les smolts d'Erezée ont été détectés entre 1 et 31 heures après leur déversement. Concernant le déversement du 12 mai, le seul smolt provenant de Mery n'a pas été détecté par la balise situé à 1 km en aval du déversement, on suppose que le smolt est mort au lieu de déversement. Le 12 mai la température de l'Ourthe était de 12,5°C et celle de la Meuse de 15,6°C, le débit de l'Ourthe était de 33,9 m<sup>3</sup>/s et celui de la Meuse de 134,2 m<sup>3</sup>/s. Les 9 smolts d'Erezée ont été détectés par la balise 1 entre 1h30 et 4h20 après leur déversement.

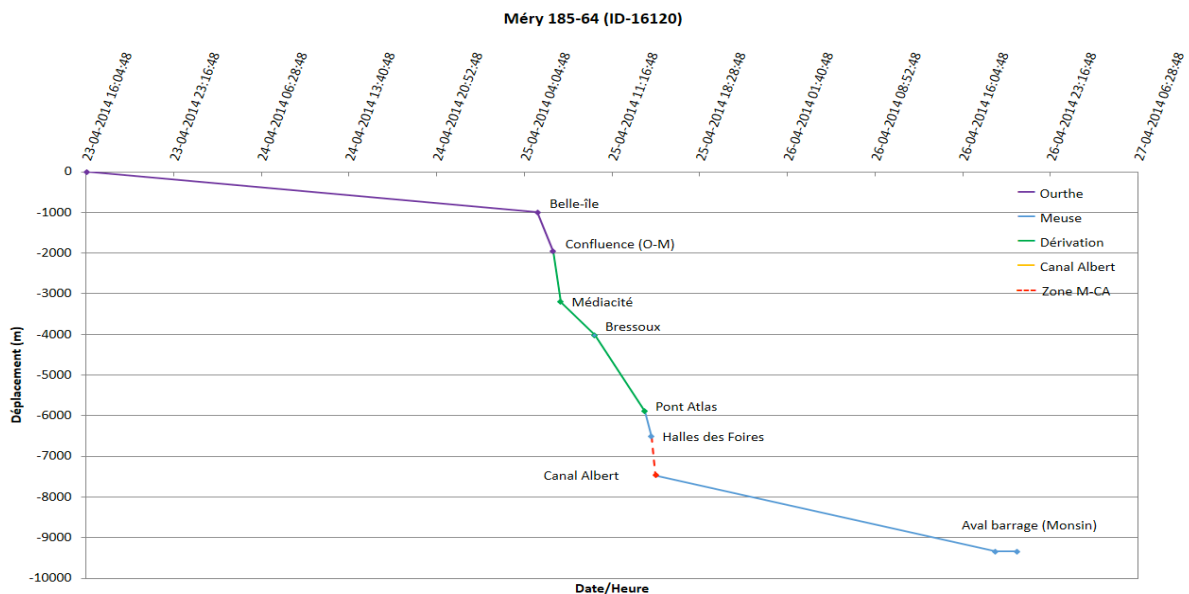
**Tableau 35. Déversements effectués le 23 avril et le 12 mai en aval du barrage des Grosses Battes de 20 smolts provenant de Mery et d'Erezée.**

	<b>23-04-14</b>	<b>Mery</b>	<b>Erezée</b>
Nombre		5	5
Taille		moy = 195,4 (185 - 208)	moy = 253,8 (244 - 263)
Poids		moy = 71,6 (63 - 83)	moy = 146,6 (115 - 171)
Temps d'acclimatation		moy = 34:45:39 (26:13:11 - 50:08:39)	moy = 10:18:46 (01:04:08 - 31:09:54)

	<b>12-05-14</b>	<b>Mery</b>	<b>Erezée</b>
Nombre		1	9
Taille		189	moy = 251,1 (231 - 275)
Poids		71	moy = 176 (139 - 286)
Temps d'acclimatation		N/A	moy = 02:32:27 (01:34:01 - 04:25:07)

Les patrons de migrations des smolts dans la Basse Ourthe, la dérivation la Meuse et le canal Albert montrent à première vue un problème au niveau de la séparation Meuse – canal Albert ou les smolts montrent des comportements d’hésitation dans la voie à choisir. Alors que les smolts ne réalisent normalement que des migrations dans le sens de la dévalaison, on observe très fréquemment des mouvements de changements de direction avec des remontées très fréquentes. Les faibles débits durant la période d’étude entraînent une zone de faibles courants en amont du barrage de Monsin, et une absence de lame d’eau au niveau des déversoirs, ce qui pose problème pour la dévalaison des smolts car aucune voie de passage à Monsin n’est possible (sauf le passage via les turbines). La figure 92 donne un aperçu de tous les comportements individuels des smolts suivis.





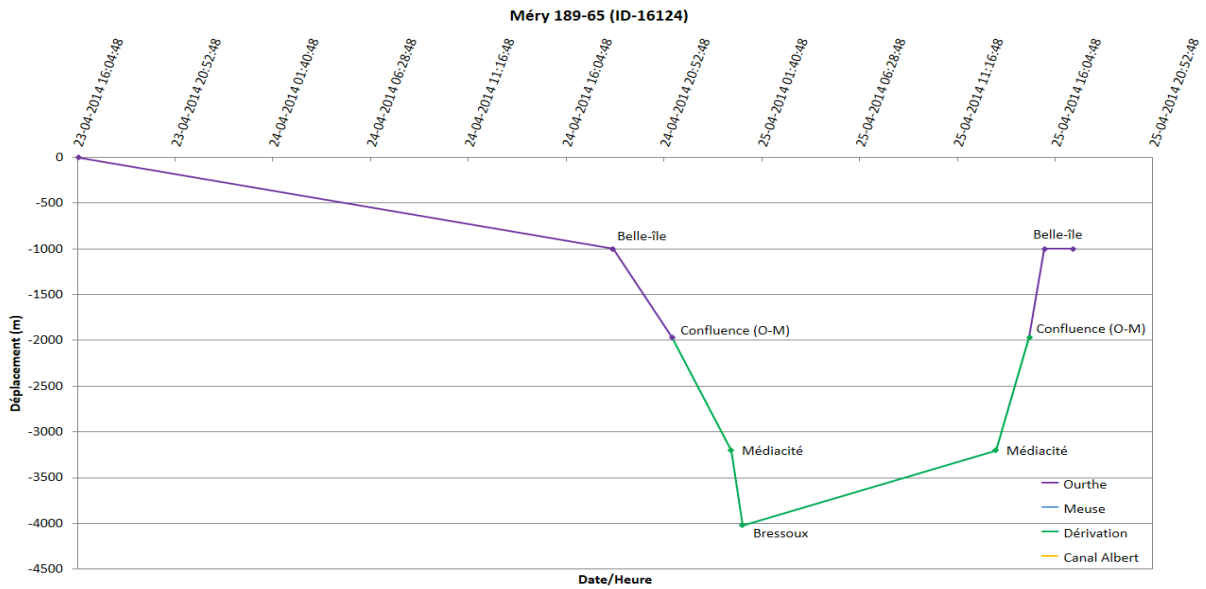
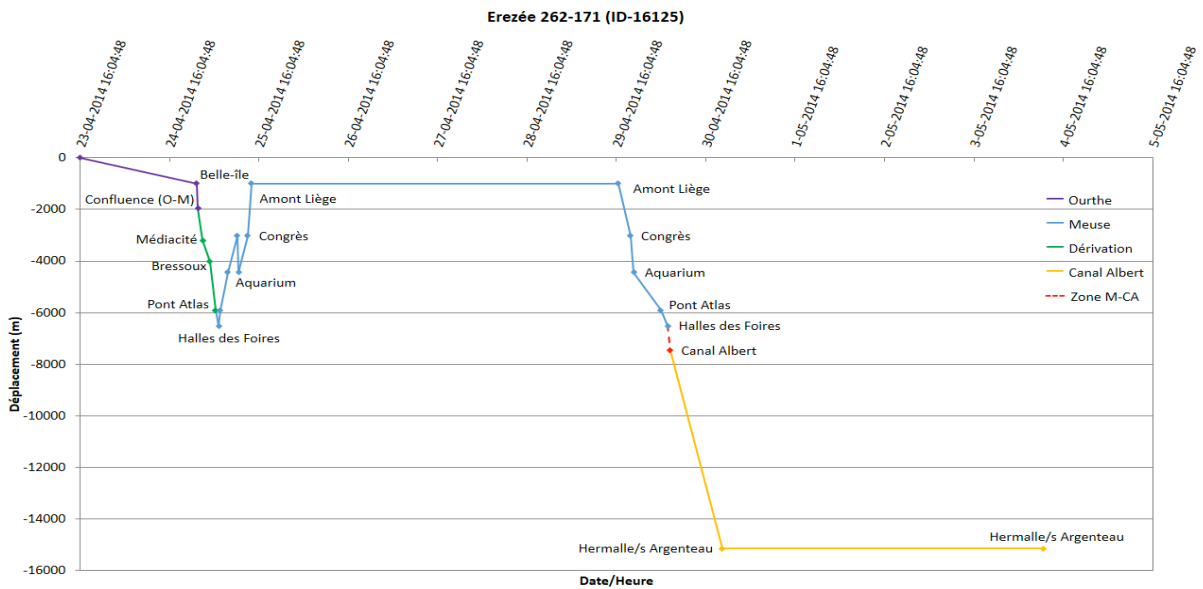
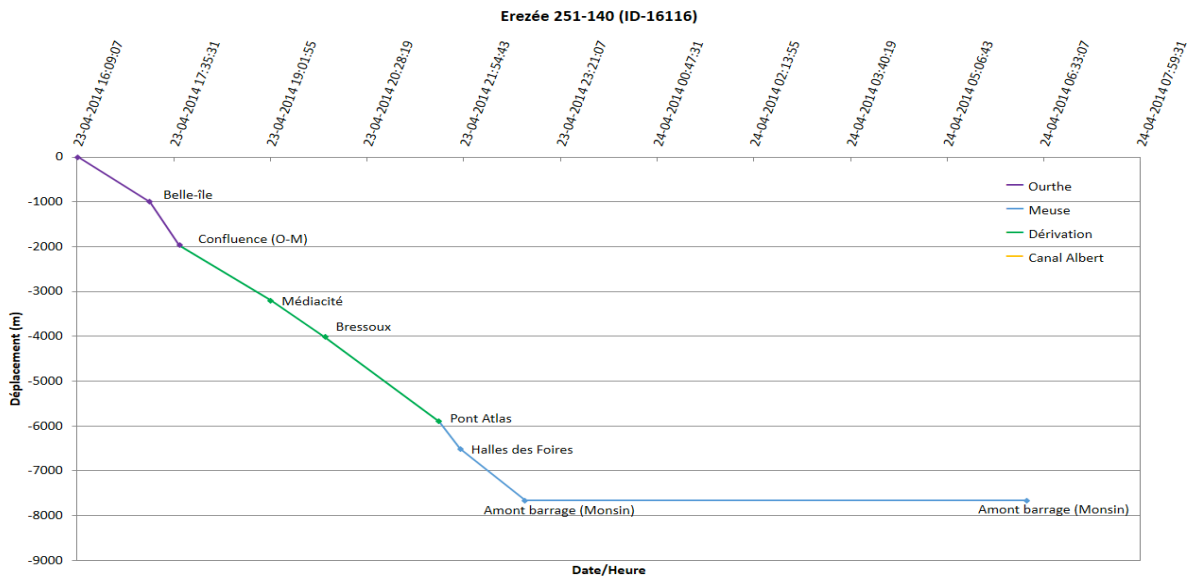
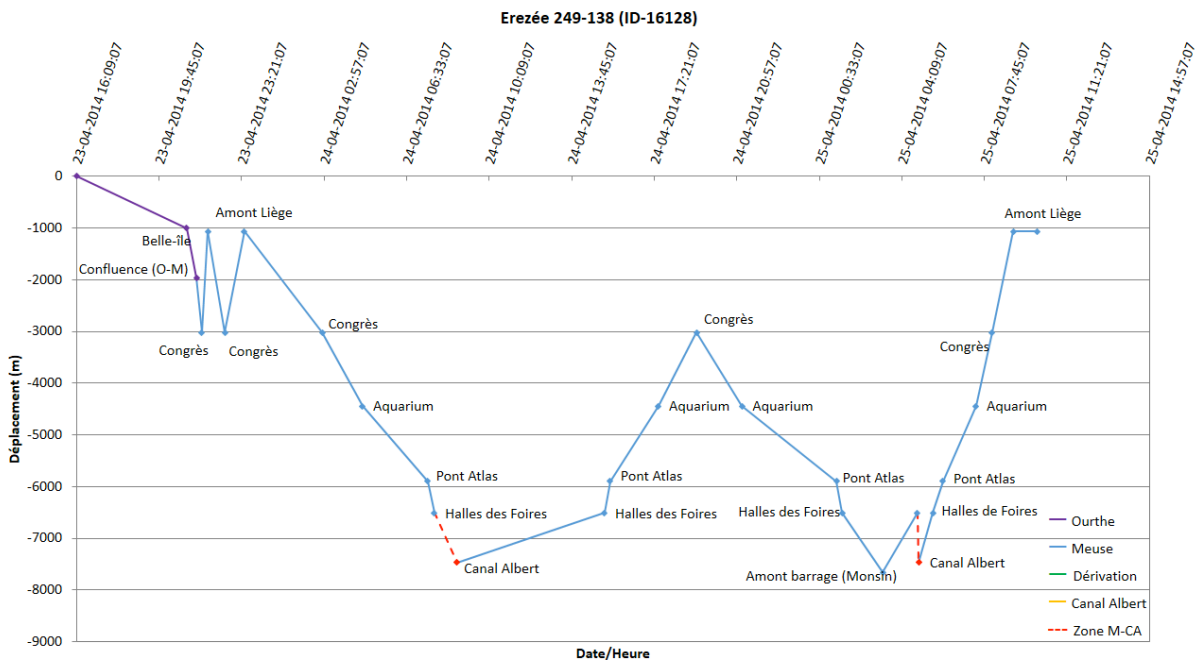
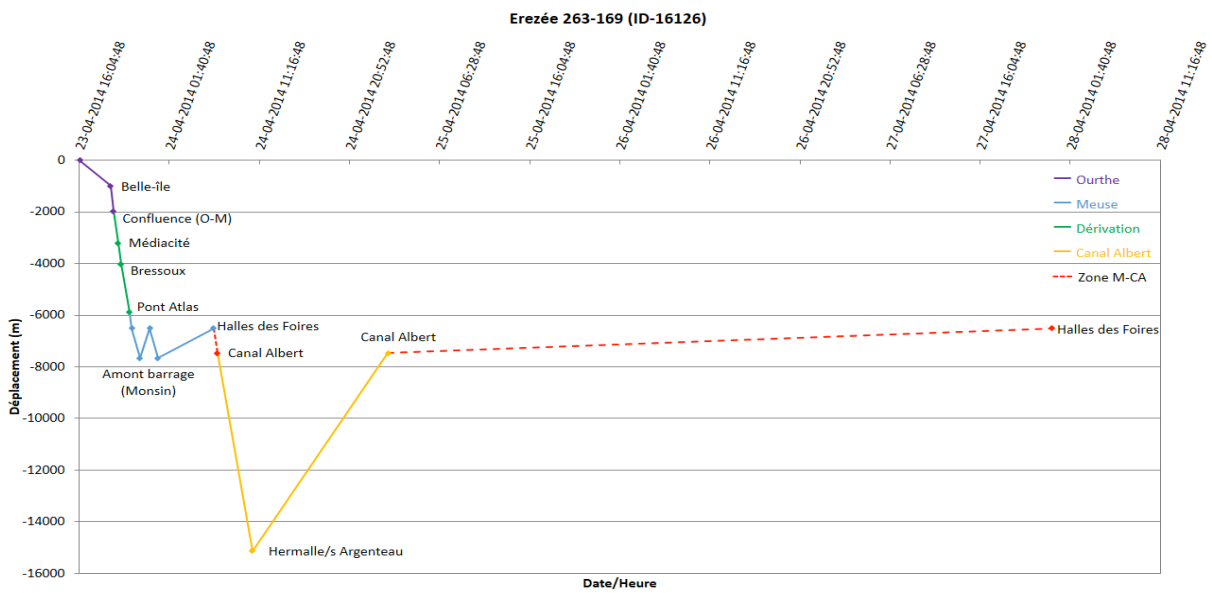
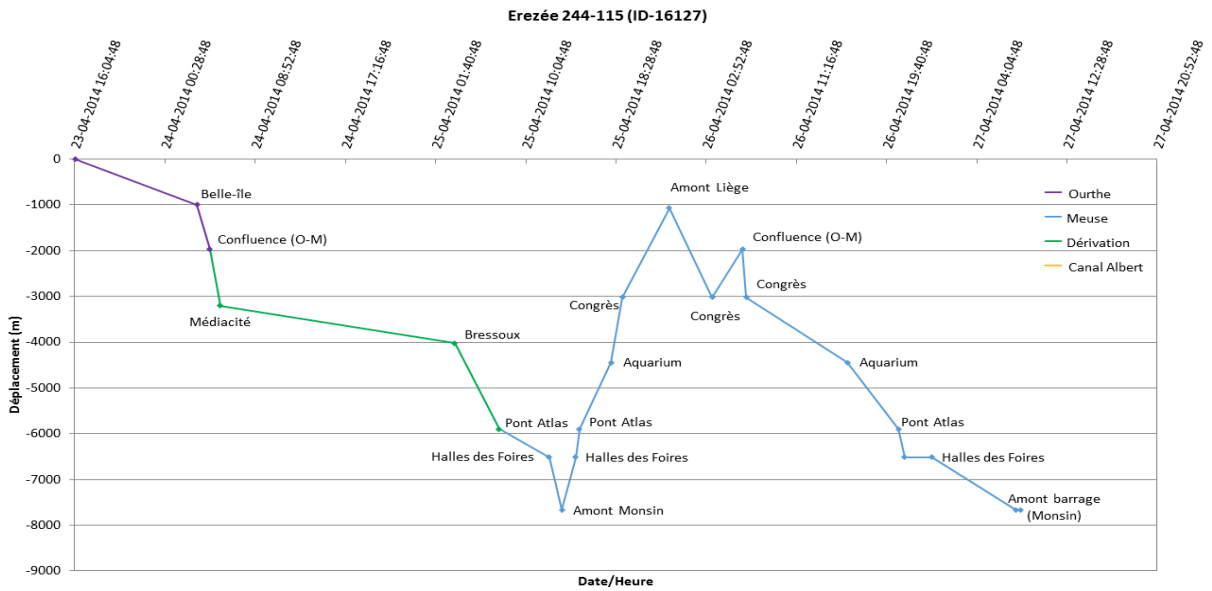
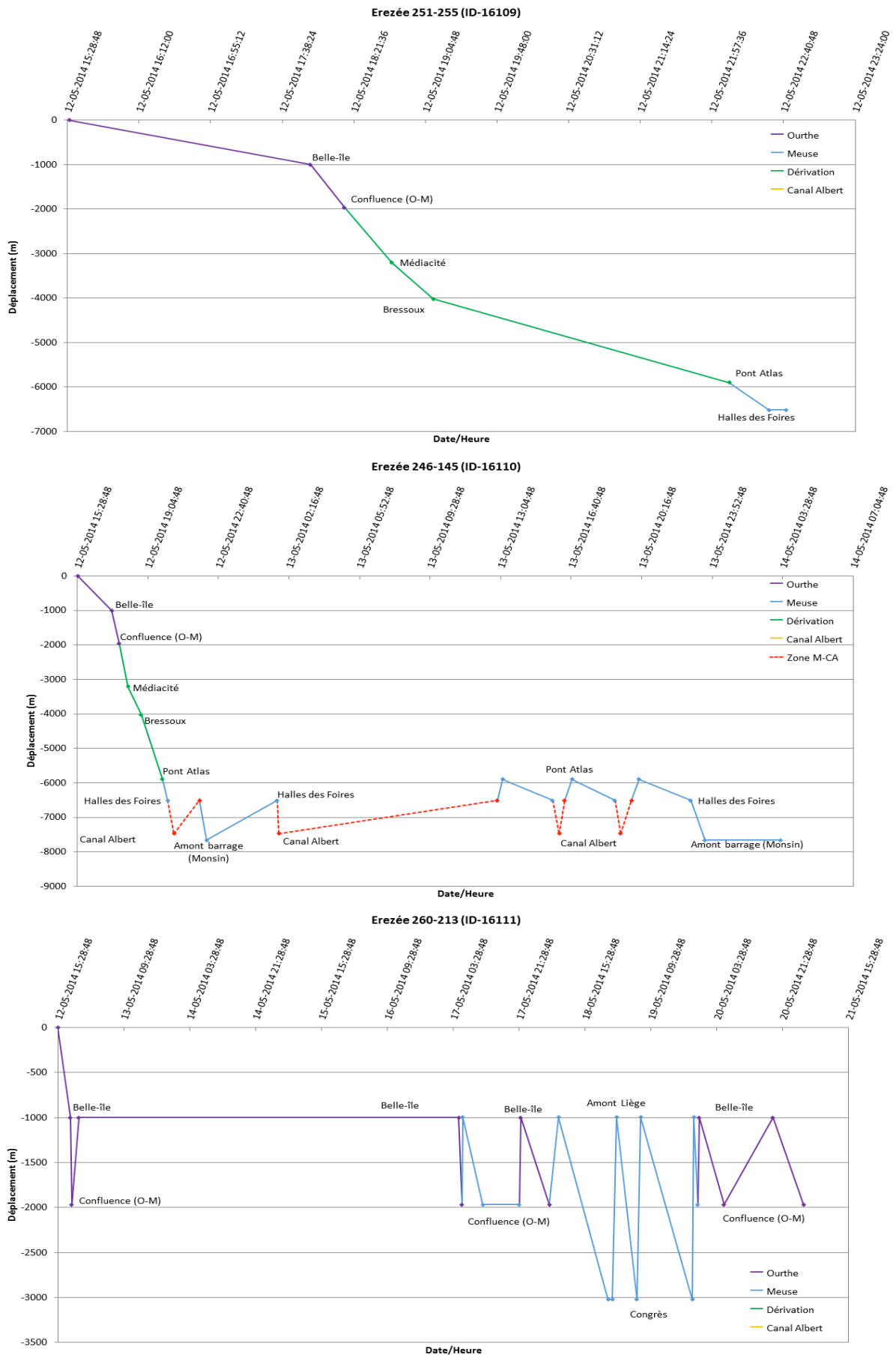


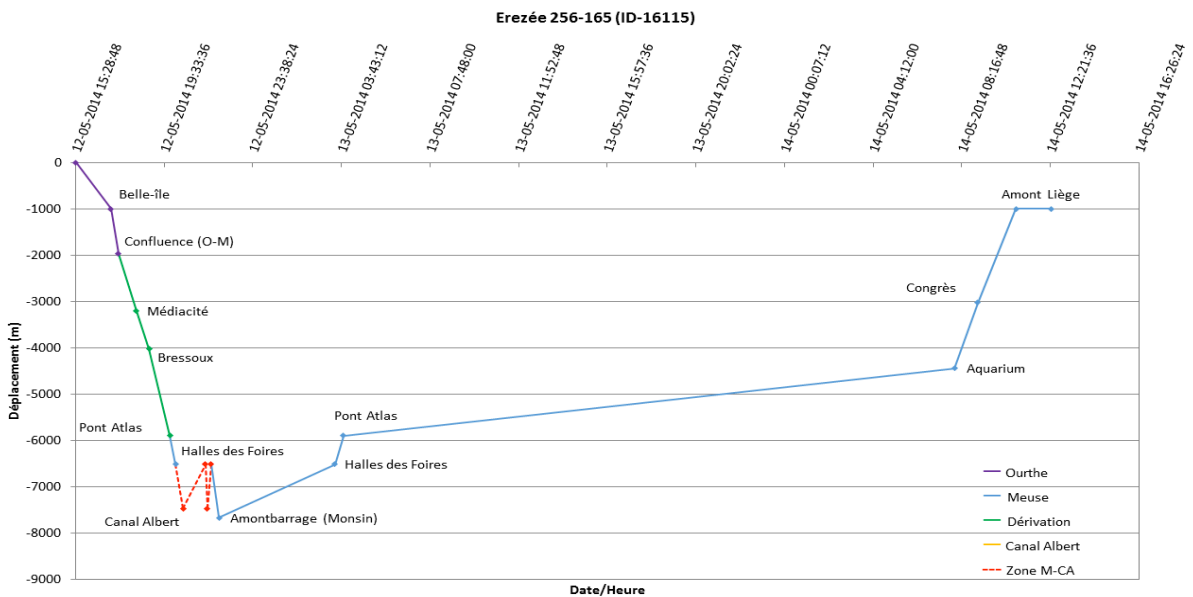
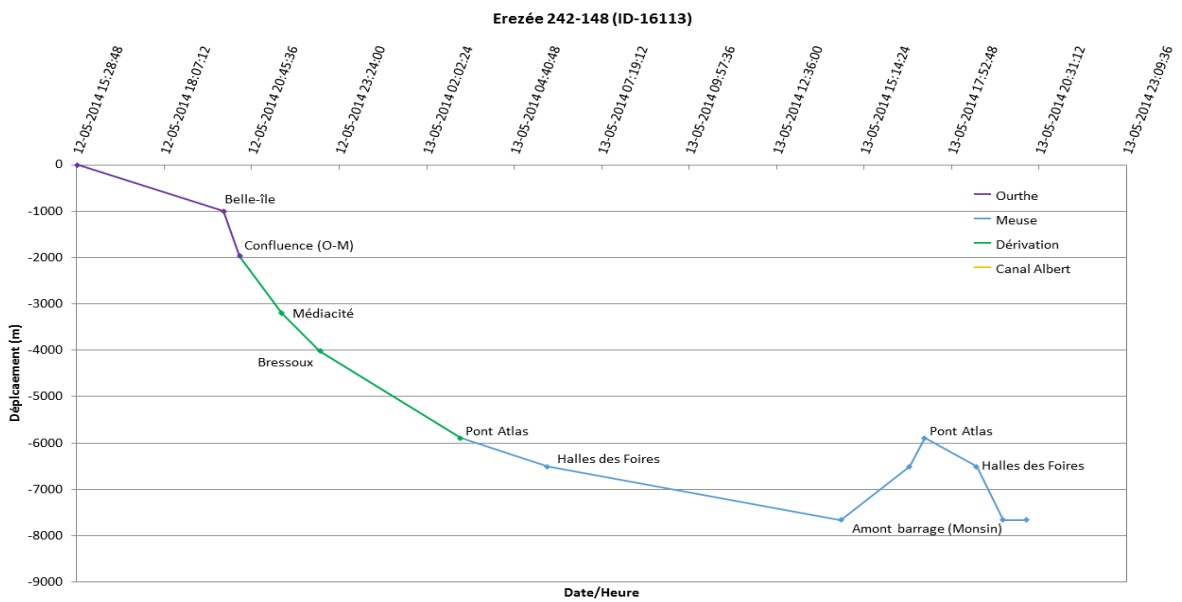
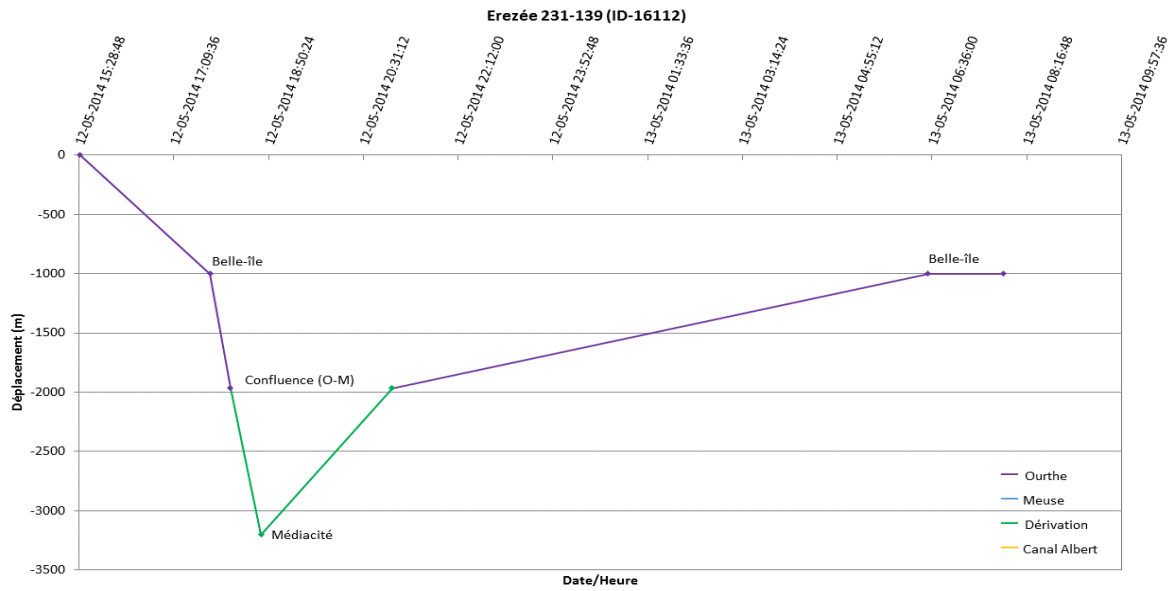
Figure 92. Représentations graphiques des déplacements réalisés par les smolts 5 interceptés dans la passe à dévalaison de de Merytherm sur l'Ourthe à Mery et déversés le 23 avril en aval du barrage des Grosses Basses à Angleur.





**Figure 93. Représentations graphiques des déplacements réalisés par les 5 smolts issus de la pisciculture d'Erezée et déversés le 23 avril en aval du barrage des Grosses Basses à Angleur.**







La figure 95 représente le nombre de smolts détectés au moins une fois au niveau de chaque balise. On observe la détection de 19 smolts à Belle île et à la confluence Ourthe Meuse qui prouve leur départ à la dévalaison. Néanmoins un smolt est resté au point de déversement car aucune détection n'a été enregistrée. La majorité des smolts emprunte la dérivation de la Meuse pour dévaler. On remarque que sur les 20 smolts déversés aucun n'est passé par le barrage de Monsin, le seul smolt qui a été enregistré en aval de Monsin est probablement passé par l'écluse entre le canal Albert et la Meuse en aval de Monsin. On observe que 8 smolts ont été détectés dans le canal Albert, seul un smolt a poursuivi sa dévalaison jusqu'à l'écluse de Genk.

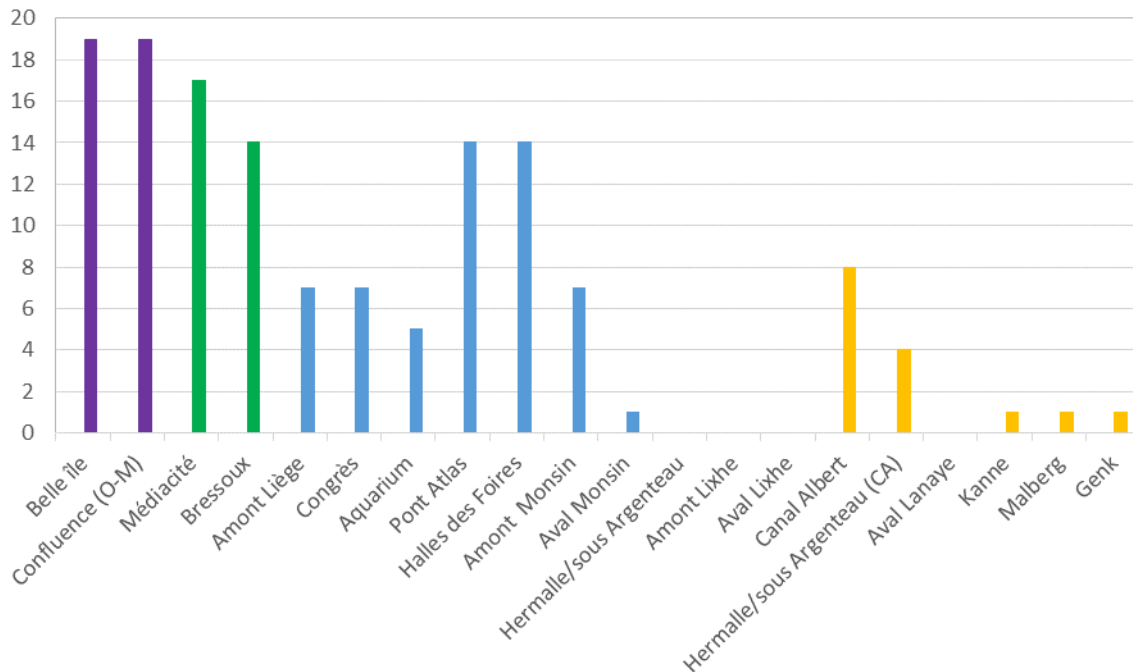


Figure 95. Histogramme du nombre de smolts de saumon atlantique détectés au moins une fois à chaque lieu de détection (n=20 balises acoustiques).

### 7.3. Conclusion

Cette étude préliminaire a démontré l'efficacité de la méthode de télémétrie acoustique pour le suivi des migrations de dévalaison de smolts de saumons atlantiques dans un secteur de la zone Ourthe-Meuse-Canal Albert d'une typologie très complexe. Les résultats biologiques sont inquiétants car aucun smolt marqué n'est parvenu à franchir le barrage de Monsin et à poursuivre sa migration par la bonne voie (cours de la Meuse). Les comportements d'hésitation sont nombreux, ce qui entraîne inévitablement des pertes énergétiques qui peuvent à terme épuiser les smolts, les rendre plus vulnérables à la prédation et/ou provoquer un phénomène de désmoltification. Huit smolts suivis ont été détectés dans le Canal Albert qui est une voie préférentiellement utilisée probablement pour son attrait hydraulique et par l'absence d'obstacle physique, ce qui confirme à ce sujet des résultats plus anciens effectués par radio-pistage. Parmi les smolts qui sont rentrés dans le Canal Albert, celui qui est parvenu à parcourir la plus grande distance a atteint Genk, ce qui suggère que cette voie de migration n'est raisonnablement pas la piste à favoriser. A la lueur de ces résultats préliminaires, il est urgent de réfléchir à des pistes de remédiation pour que permette aux saumons de passer plus rapidement la zone stratégique Meuse-barrage-Monsin-Canal Albert et de les diriger vers la bonne voie de migration, en direction de Lixhe et des Pays bas. La technologie utilisée permettrait de vérifier l'efficacité de mesures qui seraient prises (débit de surverse au niveau des déversoirs de Monsin, arrêt momentané du turbinage...) avec une grande précision.

## **8. Bibliographie**

- Ágústsson, T., Sundell, K., Sakamoto, T., Johansson, V., Ando, M. & Björnsson, B.T. (2001). Growth hormone endocrinology of Atlantic salmon (*Salmo salar*): pituitary gene expression, hormone storage, secretion and plasma levels during parr-smolt transformation. *Journal of Endocrinology* 170, 227–234.
- Björnsson, B.T., Stefansson, S.O., McCormick, S.D. (2011). Environmental endocrinology of salmon smoltification. *General and Comparative Endocrinology* 170 (2011) 290–298
- Bystriansky, J.S. & Schulte, P. (2011). Changes in gill H<sup>+</sup>-ATPase and Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase expression and activity during freshwater acclimation of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *The Journal of Experimental Biology* 214, 2435-2442.
- Didier, J. & Micha, J.-C. (1996). Dynamique de population du gardon en Meuse et stratégie de gestion. PUN.
- Elson P.F. (1957). The importance of size in the change from parr to smolt in Atlantic salmon. *Canadian Fishery Culture* 21, 1–6.
- Fessler, J. L. & H. H. Wagner. (1969). Some morphological and biochemical changes in steelhead trout during the parr-smolt transformation. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 26:2823-2841.
- Handeland, S.O., Wilkinson, E., Sveinsb, B., McCormick, S.D. & Stefansson, S.O. (2004). Temperature influence on the development and loss of seawater tolerance in two fast-growing strains of Atlantic salmon. *Aquaculture* 233 (2004) 513–529
- Hile, R. (1936). Age and growth of cisco *Leucyctys arctedi* (Le sueur) in the lakes of the north eastern Highlands Wisconsin. *Bulletin of the United States Fish Commission* 48, 211-317.
- Hoar, W. S. (1939). The thyroid gland of the Atlantic salmon. *Journal of Morphology* 65:257-295.
- Houston, A. H., & L. T. Threadgold. (1963). Body fluid regulation in smolting Atlantic salmon. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 20: 1355-1369.
- Kristinsson J.B., Saunders R.L., Wiggs A.J. (1985). Growth dynamics during the development of bimodal length-frequency distribution in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 45: 1-2.
- Lucas & Baras (2001). *Migration of Freshwater Fishes*. Blackwell Science Ltd.
- Martin, W.R., 1949. The mechanics of environmental control of body form in fishes. University of Toronto Studies, Biology Serie 58, Publisher Ontario Fishery Research Laboratory, 70: 1-91.
- McCormick S.D., Saunders R.L. (1987). Preparatory physiological adaptations for marine life of salmonids: osmoregulation, growth, and metabolism. *American Fisheries Society Symposium* 1, 211–229.
- McCormick, S.D., MORIYAMA, S. et Björnsson, B.T. (2000). Low temperature limits photoperiod control of smolting in Atlantic salmon through endocrine mechanisms.

- American Journal of Physiological Regulatory, Integrative and Comparative Physiology 278: R1352–R1361.
- McCormick, S.D., O’Dea, M.F., Moeckel, A.M. et Björnsson, B.T. (2003). Endocrine and physiological changes in Atlantic salmon smolts following hatchery release *Aquaculture* 222 : 45–57.
- McCormick, S.D., Lerner, T.D., Monette M.Y. Nieves-Puigdoller, K., Kelly, J.T. et Björnsson, B.T. (2009). Taking it with you when you go: How perturbations to the freshwater environment, including temperature, dams, and contaminants, affect marine survival of salmon. *American Fisheries Society Symposium* 69:195–214.
- Micha, J.-Cl. (1980). *Ecologie dulcicole, cours de 2ème Licence, FUNDP, Namur*, 71.
- Nilsen TO, Ebbesson LOE, Madsen SS, McCormick SD, Andersson E, Björnsson BT, Prunet P, Stefansson SO (2007) Differential expression of gill Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATPase a and b subunits, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>,2Cl<sup>-</sup> cotransporter and CFTR anion channel in Juvenile anadromous and landlocked Atlantic salmon (*Salmo salar*). *J Exp Biol*.
- Parry, G. (1960). Osmotic adaptation in fishes. *Biology Reviews*, 41: 392-444.
- Philippart et al. (2012). Rapport final de la subvention 2011-2012 relative au suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse.
- Prévost E. & Baglinière J.L. (1995). Présentation et premiers éléments de mise au point d’une méthode simple d’évaluation du recrutement en juvéniles du saumon atlantique (*Salmo salar*) de l’année en eau courante. In Gascuel D., Durand J.L. et Fonteneau A. (Eds), *Les recherches françaises en évaluation quantitative et modélisation des ressources halieutiques, Actes du colloque, Rennes du 29 juin au 1<sup>er</sup> juillet 1993*, 39-48, Orstom Editions, Paris.
- Prévost E. & Nihouarn A. (1999). Relation entre indicateur d’abondance de type CPUE et estimation de densité par enlèvements successifs pour les juvéniles de saumon atlantique (*Salmo salar* L.) de l’année, *Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture*, vol. 352, 19-29.
- Ricker, W. (1971). *Methods for assessments of fish production in freshwater*. Blackwell sc. public., Oxford, 348.
- Stefansson, S.O., Björnsson, B.Th., Ebbesson, L.O.E. & McCormick, S.D., (2008) Smoltification. In *Fish Larval Physiology* (Finn & Kapoor, eds.). 639-681.
- Sykes, G.E., Johnson, C.J. & Shrimpton, J.M. (2006). Temperature and Flow Effects on Migration Timing of Chinook Salmon Smolts. *Transactions of the American Fisheries Society* 138:1252–1265.
- Vanstone, W. E., & J. R. Markert. (1968). Some morphological and biochemical changes in coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*, during the parr- -smolt transformation. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 25:2403-2418.
- Wedemeyer, G.A., Saunders, R.L., Clarke, W.C. (1980) Environmental factors affecting smoltification and early marine survival of anadromous salmonids. *Mar Fish Rev* 42:1–14.

Whelan K.F. 1983: Migratory patterns of bream *Abramis brama* L. shoals in the River Suck System. Irish. Fish. Invest., Series A 23: 11–15.

Zydlewski, G. B., Haro, A. & McCormick, S. D., (2005). Evidence for cumulative temperature as an initiating and terminating factor in downstream migratory behavior of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 62, 68–78.

Zydlewski, J.; Zydlewski, Gayle; and Danner, G. R. (2010). Descaling Injury Impairs the Osmoregulatory Ability of Atlantic Salmon Smolts Entering Seawater. Marine Sciences Faculty Scholarship. Paper 32.