

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE L'UNIVERSITÉ FRANÇOIS
RABELAIS DE TOURS
MASTER 2 IMACOF
Site Grandmont – Faculté des Sciences
Parc de Grandmont
37200 TOURS, FRANCE
Tél +33 (0)2 47 36 71 36
www.polytech.univ-tours.fr

Stage de Master II

**Etude de la contribution du repeuplement
en truites fario
dans trois bassins versants valaisans**

Benjamin VIGUIER
IMACOF 2013-2016

Tuteurs professionnels :

Arnaud CAUDRON docteur en biologie de la
conservation

Alexandre RICHARD docteur en écologie et
biologie des populations

Tuteur académique :

Heriniaina ANDRIAMAHEFA

Entreprise :

SCIMABIO Interface

Bureau :

75 avenue de Corzent - BP 511
74203 Thonon-les-Bains Cedex - France

Date :

Septembre 2016

Remerciements

Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué au bon déroulement de ce stage de Master II, à commencer par mes maîtres de stage A. CAUDRON et A. RICHARD pour la confiance qu'ils m'ont accordée et leurs conseils avisés.

Je tiens également à remercier J. MENARD et Y. CRETENAND du Service cantonal de la Chasse, de la Pêche et de la Faune du Valais (SCPF) pour leur aide dans la transmission des données.

Enfin il m'est cher de remercier l'ensemble de l'équipe de l'INRA du CARTEL de m'avoir permis de mener à bien cette étude dans leurs locaux.

Résumé

La présente étude est l'aboutissement d'un projet d'envergure mené sur 5 ans sur trois bassins versants (Dranses, Naviscence et Vispa) dans le canton du Valais. L'objectif visé est l'analyse de l'efficacité du repeuplement piscicole en truites fario (*Salmo Trutta*). Elle a été pilotée par le SCPF (canton du Valais) avec l'appui technique de SCIMABIO interface.

Le choix de la technique de suivi s'est porté sur le marquage de masse à l'alizarine en raison de la possibilité d'étudier de nombreux poissons dès leur plus jeune stade.

D'après les résultats de cette étude, la majorité du peuplement provient du recrutement naturel sur les trois bassins versants. La contribution du repeuplement est toutefois élevée (9,9 à 73,1% avec une valeur médiane à 32,6%) ce qui semble témoigner de pressions importantes qui s'exercent sur les bassins versants. Cependant, le recrutement naturel semble avoir lieu sur tous les tronçons et la population efficace (générateurs) est en grande majorité issue du recrutement naturel.

La comparaison des efficacités des deux stades de développement utilisés dans le repeuplement ne montre pas de tendance nette en faveur de l'une ou l'autre des pratiques. Cette étude montre, sur les trois bassins versants, un ordre de grandeur d'efficacité similaire. Aucun des deux stades ne semble se détacher clairement.

Enfin, cette étude ouvre de nombreuses perspectives pour l'élaboration des plans de repeuplement à venir, la mise en place d'études complémentaires ou pour l'adaptation de la méthode.

Mots clés :

Truite fario, Repeuplement, Marquage alizarine, Otolithes, Scalimétrie, Valais

Abstract

This study is the culmination of a major project conducted over 5 years on three watersheds (Dranses, Naviscence and Vispa) in the canton of Valais. The objective is the analysis of the effectiveness of brown trout (*Salmo Trutta*) restocking. It was piloted by SCPF with the technical support of SCIMABIO interface.

The choice of monitoring technique has focused on mass marking with alizarin because of the opportunity to study many fish even at early stage.

The first result of this study is that the majority of the population comes from natural recruitment on three watersheds (9.9 to 73.1% with a median of 32.6%). However the restocking contribution is high and demonstrates the significant pressures on watersheds. However, natural recruitment seems to take place on all sections and the effective population (spawners) is mostly outcome of natural recruitment.

Comparing the efficiencies of the two stages of development used in restocking gives mixed results. This study on the three watersheds show a similar efficiency on both development stages.

Finally, this study opens numerous perspectives for the development of future resettlement plans, the implementation of further studies or for the adaptation of the method.

Key words

Salmo trutta, Restocking, marking, Otoliths, Scalimetry, Valais

Liste des figures et tableaux

Liste des figures

Figure 1 : Schéma conceptuel du rôle et des liens de SCIMABIO <i>interface</i> au sein des acteurs de la gestion de l'eau	4
Figure 2 : Localisation de l'aire géographique d'étude en Europe	4
Figure 3 : Localisation des bassins versants des Dranses, de la Vispa et de la Naviscence au sein du Canton du Valais (Suisse).....	5
Figure 4 : Carte des pentes sur le bassin versant des Dranses (Suisse).....	5
Figure 5 : Régime hydrologique de la Vispa en amont de sa confluence avec le Rhône (Suisse).....	6
Figure 6 : Régime thermique de la Vispa en amont de sa confluence avec le Rhône Lors de l'année 2013.....	6
Figure 7 : Photographies de <i>sagittae</i> de trois espèces de poissons témoignant de la diversité de leur formes.....	9
Figure 8 : Schéma représentant les zones standardisées de prélèvement d'écailles par espèce de poisson	12
Figure 9 : Carte du réseau hydrographique et découpage en tronçons du bassin versant des Dranses (Suisse)	13
Figure 10 : Résumé schématique du protocole de prélèvement d'écaille et de tête de poisson pour l'analyse du repeuplement dans trois bassin versants Valaisiens (Suisse)	14
Figure 11 : Synoptique photographique du traitement des otolithes pour observation du marquage à l'alizarine.....	15
Figure 12 : Photographie d'une écaille de truite fario avec positionnement des annuli et zones de croissance pour l'estimation de l'âge.....	19
Figure 13 : Carte du repeuplement par tronçon et année sur le bassin versant des Dranses (Suisse).....	23
Figure 14 : Carte du repeuplement par tronçon et année sur le bassin versant de la Naviscence (Suisse).....	24
Figure 15 : Carte du repeuplement par tronçon et année sur le bassin versant de la Vispa (Suisse).....	24
Figure 16 : Classes de tailles échantillonnées (Suisse)	25
Figure 17 : Structure en classes de tailles des populations issues des données de suivi par pêche à l'électricité (Suisse)	25
Figure 18 : Contributions du repeuplement par cohorte et classe d'âge échantillonnée pour 3 bassins versants du Valais (Suisse)	26
Figure 19 : Contributions du repeuplement par cohorte et classe d'âge échantillonnée à l'échelle du tronçon pour 3 bassins versants du Valais (Suisse).....	28

Figure 20 : Efficacité du repeuplement par cohorte et classe d'âge échantillonnée pour 3 bassins versants du Valais (Suisse)	31
Figure 21 : Efficacité du repeuplement par cohorte et classe d'âge échantillonnée à l'échelle du tronçon pour 3 bassins versants du Valais (Suisse)	32
Figure 22 : Comparaison du marquage entre repeuplement et poissons échantillonnées pour mettre en évidence la présence d'individus dévalants sur les tronçons aval des Dranses et de la Visp (Suisse).....	33

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques principales des trois bassins versants (Dranses, Naviscence et Vispa : Suisse).....	5
Tableau 2 : Chronogramme de l'étude de caractérisation du repeuplement sur trois bassins versants Valaisans (Suisse)	7
Tableau 3 : Récapitulatif des poissons produits en fonction du stade de développement par trois piscicultures en charge du repeuplement des Dranses, de la Naviscence et de la Vispa (Suisse).....	10
Tableau 4 : Date la plus courante d'apparition de l'annulus selon l'espèce de poisson considérée	12
Tableau 5 : Cohortes et classes d'âge prélevées dans trois bassins versants Valaisans et comparaisons statistiques possibles	21
Tableau 6 : Tableau récapitulatif de la phase laboratoire de l'étude du repeuplement de trois bassins versants Valaisans (Suisse).....	22
Tableau 7 : Tableau de correspondance classe d'âge/cohorte en fonction de l'année de prélèvement	26
Tableau 8 : Résultats des tests Chi ² pour l'identification de différences significatives des contributions du repeuplement sur trois bassins versants Valaisans.....	27
Tableau 9 : Résultats des tests Chi ² pour l'identification de différences significatives des contributions du repeuplement sur entre les tronçons des Dranses (Suisse)	29
Tableau 10 : Résultats des tests Chi ² pour l'identification de différences significatives des contributions du repeuplement sur entre les tronçons de la Naviscence (Suisse).....	30
Tableau 11 : Résultats des tests Chi ² pour l'identification de différences significatives des contributions du repeuplement sur entre les tronçons de la Vispa (Suisse).....	30

Sommaire

Remerciements	2
Résumé	i
Abstract	ii
Liste des figures et tableaux	iii
Sommaire	1
1. Introduction	2
2. Présentation de la structure d'accueil	3
3. Contexte des bassins versants	4
3.1. Localisation	4
3.2. Caractéristiques des bassins versants	5
3.3. Pressions	6
3.4. Stratégies de gestion mises en place	7
4. Matériel et méthodes	7
4.1. Préparation de l'étude.....	8
4.1.1. Méthodologie de la technique de fluoromarquage sur la truite fario	8
4.1.2. Utilisation du fluoromarquage dans l'étude	10
4.1.3. Méthodologie de scalimétrie	11
4.2. Stratégie d'échantillonnage	13
4.2.1. Témoins	13
4.2.2. Echantillons	13
4.2.3. Conditionnement des échantillons.....	14
4.3. Traitement en laboratoire	15
4.3.1. Réception et conditionnement des échantillons	15
4.3.2. Traitement des otolithes	15
4.3.3. Scalimétrie.....	17
4.4. Traitement et analyse des données.....	19
4.4.1. Structure de la population.....	19
4.4.2. Contribution	20
4.4.3. Efficacité.....	21
5. Résultats	22
5.1. Présentation des résultats bruts	22
5.1.1. Tableau récapitulatif de la phase de laboratoire	22
5.1.2. Validation des lots témoins	22
5.2. Contexte des populations.....	23
5.2.1. Le repeuplement dans les trois bassins versants.....	23
5.2.2. Structure des populations et échantillonnage	25
5.2.3. Mise en place des cohortes	25
5.3. Résultats du marquage sur les trois bassins versants	26
5.3.1. Contributions à l'échelle du bassin versant	26
5.3.2. Eclatement et analyse au niveau du tronçon.....	27
5.4. Efficacité des deux stades de déversement.....	31
5.4.1. Efficacités à l'échelle du bassin versant.....	31
5.4.2. Eclatement au niveau du tronçon.....	31
5.5. Recherche des individus dévalants	32
6. Discussion	34
7. Conclusion	36
8. Perspectives.....	37
Bibliographie.....	39
Version abrégée	42
Annexes	46

1. Introduction

Ecosystèmes impactés par toutes les pollutions et modifications morphologiques sur le territoire, les milieux aquatiques sont fragiles. Leur préservation est un enjeu important du fait des nombreux services éco-systémiques qu'ils rendent (de la réserve de biodiversité à la régulation des débits et étiages). Parmi ces milieux aquatiques, les zones de sources en montagne sont des milieux bien spécifiques. Les conditions hydro-morphologiques très particulières des rivières qui s'y trouvent ont deux conséquences. D'une part, ce sont des milieux à forte plus-value de biodiversité et d'autre part, ce sont des milieux sensibles du fait de leur petite taille qui vont par ailleurs conditionner l'ensemble du système en aval.

Le suivi de la biocénose est un indicateur important dans ces systèmes. Il va permettre d'implémenter un facteur temps aux analyses nous renseignant ainsi sur la stabilité du système. Les suivis des populations piscicoles et notamment le suivi des populations de truites fario (*Salmo trutta*) sont particulièrement intéressants car les truites représentent le dernier maillon de la chaîne alimentaire de ces écosystèmes.

Dans le cas où les pressions s'exerçant sur le milieu sont trop fortes, les mesures visant l'amélioration du système sont appuyées par un repeuplement piscicole. Cette pratique très répandue depuis de nombreuses années a tendance à être remise en question car elle génère des problèmes sanitaires mais également des déficits génétiques en plus de ne pas toujours être à la hauteur des résultats escomptés. Des mesures plus pérennes traitant les causes de dégradations sont donc de plus en plus privilégiées. Ces repeuplements comme toute action sur le milieu engendrent la nécessité d'un suivi pour pouvoir tirer des conclusions sur leur efficacité et leurs impacts. Ce qui peut être décliné en plusieurs objectifs :

- Identification de la structure de la population,
- Détermination de la proportion des truites issues de pisciculture dans les différentes cohortes et conséquences sur le fonctionnement de la population,
- Identification des tronçons avec reproduction naturelle,
- Evaluation de la survie des différents stades de développement déversés dans la rivière,
- Caractérisation de la dispersion des truites introduites dans le système.

In fine, l'enjeu pour le gestionnaire est de pouvoir réajuster ses interventions de façon à améliorer l'efficacité de son programme d'action.

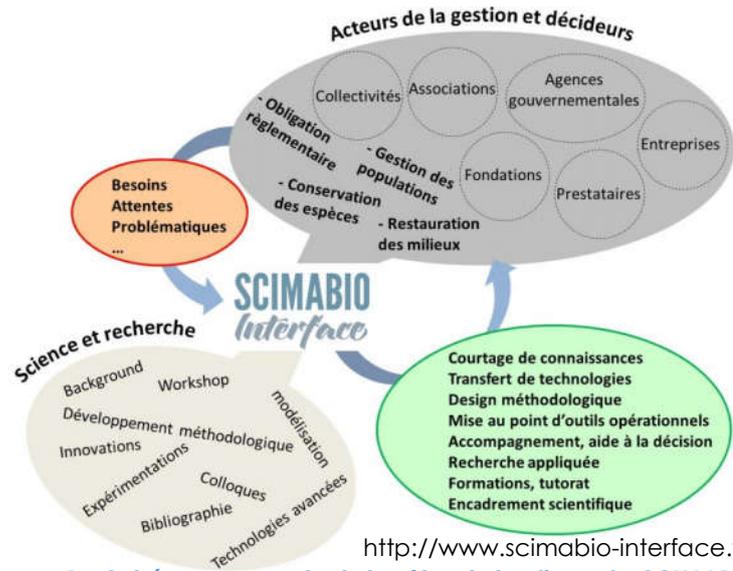
En réponse à cette demande, une méthode de suivi a dû être choisie. Elle doit permettre de remplir deux objectifs. Le premier est de suivre des poissons de très petite taille, en effet, les repeuplements en truite fario sont effectués avec des individus extrêmement jeunes (alevins vésiculés ou en fin de période de résorption). Second objectif, la méthode doit permettre de suivre un très grand nombre d'individus (l'ensemble des individus déversés). Le marquage des otolithes s'est rapidement imposé comme la méthode adéquate. Historiquement, les marqueurs se sont succédés depuis le chlorhydrate de tetracycline (CHTC) (Champigneulle et Cachera (2003)) devenu interdit à cause de ses propriétés antibiotiques. La calcéine (Wilson, Beckman et Dean (1987)) et l'alizarine complexone l'ont rapidement remplacé. Enfin, l'alizarine Red S s'est démarquée de par ses qualités de marquage et son coût réduit (Caudron et Champigneulle (2006) ; Baer et Rosch (2008)). L'association avec une étude scalimétrique, bien que présentant des difficultés certaines chez la truite (Beall, Davaine et Bazin (1992)) permet les meilleurs résultats.

Les gestionnaires du canton du Valais (Suisse) se sont donc lancés dans ce suivi avec l'appui technique du bureau d'étude SCIMABIO *interface* pour l'analyse des échantillons. La mission qui a fait l'objet de ce stage comprend l'ensemble du traitement en laboratoire ainsi que l'analyse des données. Ce rapport s'attache cependant à présenter l'ensemble du projet en commençant par une présentation des structures concernées. Les bassins versants étudiés seront également décrits avant d'entreprendre une explication conceptuelle et technique plus poussée de l'ensemble de l'étude. Enfin, les résultats seront présentés et interprétés afin de conduire à une conclusion répondant aux enjeux décrits plus tôt.

2. Présentation de la structure d'accueil

SCIMABIO *interface* tout jeune bureau s'est fait un nom dans le monde de la gestion de l'eau en occupant une place jusqu'alors souvent délaissée. L'objectif que s'est fixé cette structure est d'arriver à faire le lien entre le monde de la recherche scientifique et les acteurs/décideurs de la gestion de l'eau et de la pêche (figure 1). Ce bureau d'étude se démarque donc de la concurrence car il est toujours à la

pointe et propose de ce fait des solutions innovantes qui répondent souvent mieux aux attentes des gestionnaires. Par ailleurs, SCIMABIO participe également à la mise au point d'outils opérationnels spécifiques et entre en partenariat dans des programmes de recherche appliquée.



<http://www.scimabio-interface.fr/>
Figure 1 : Schéma conceptuel du rôle et des liens de SCIMABIO interface au sein des acteurs de la gestion de l'eau

Les compétences et connaissances toujours révisées permettent au bureau d'étude d'intervenir à toute étape d'un projet (conceptualisation, réflexion, conseil, rédaction, mise en place de l'étude, etc), et cela, auprès de tous les acteurs de la gestion de l'eau selon leur besoin.

3. Contexte des bassins versants

3.1. Localisation

Les trois bassins versants sur lesquels porte cette étude sont situés dans le Sud de la Suisse en plein cœur des Alpes (figure 2).

Ce sont des bassins versants d'affluents en rive gauche du Rhône, en amont du lac Léman et sont tous compris dans le canton du Valais (figure 3).

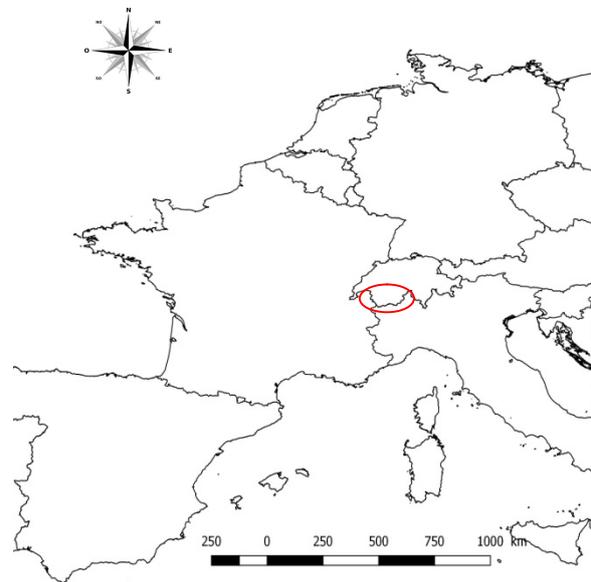


Figure 2 : Localisation de l'aire géographique d'étude en Europe

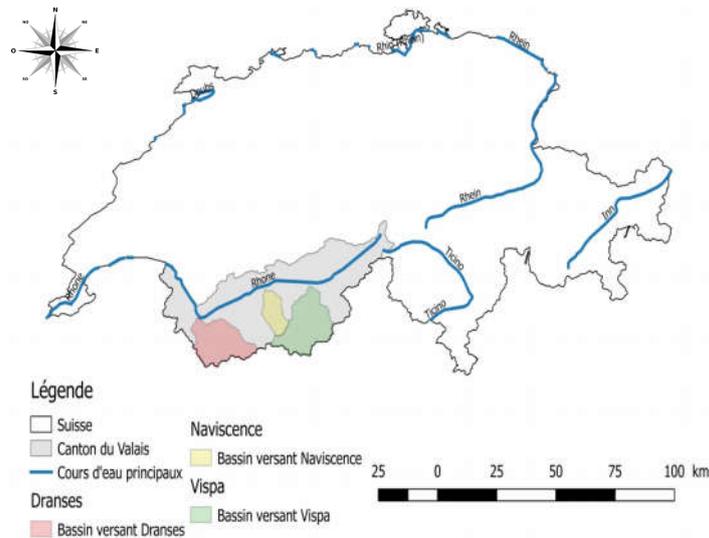


Figure 3 : Localisation des bassins versants des Dranses, de la Vispa et de la Navisence au sein du Canton du Valais (Suisse)

3.2. Caractéristiques des bassins versants

Ces trois bassins versants présentent des caractéristiques différentes (tableau 1).

Tableau 1 : Caractéristiques principales des trois bassins versants (Dranses, Navisence et Vispa : Suisse)

	Bassin versant Dranses	Bassin versant Navisence	Bassin versant Vispa
Superficie (km ²)	991	370	1141
Forme du bassin versant (coef. De Gravelius)	1,53	1,36	1,54
Densité du réseau hydrographique (km/km ²)	1.36	0.89	0.55
Longueur des cours d'eau principaux (km)	57	28	61

Ils ont cependant de très nombreux points communs du fait de leur position géographique. Ce sont des bassins versants de montagne avec des reliefs très marqués notamment sur les zones de sources (figure 4 et annexes 1 et 2).

La conséquence est l'apparition d'un petit chevelu qui est constitué de torrents de montagne dès que l'on s'écarte de l'artère principale. L'altitude des bassins versants est similaire avec un point bas entre 420 et 500m et des sommets atteignant les 4600m.

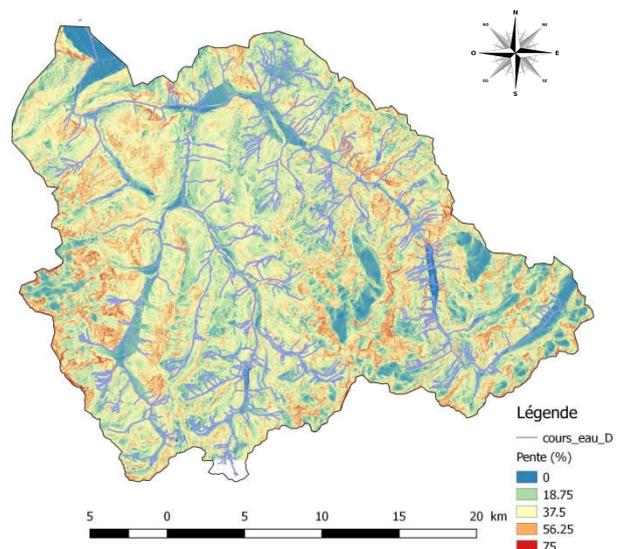


Figure 4 : Carte des pentes sur le bassin versant des Dranses (Suisse)

Ces caractéristiques induisent un territoire difficilement habitable et exploitable ce qui se retrouve au niveau de l'occupation du sol (annexes 3, 4 et 5). Les bassins versants sont donc en majorité couverts de surfaces naturelles (glaciers, falaises, forêts, etc). Les fonds de vallées sont les seules zones plus densément habitées.

Ceci induit également des régimes hydrologiques similaires. Il s'agit d'un régime glaciaire avec un maximum des débits en été et un minimum au cours de l'hiver (figure 5).

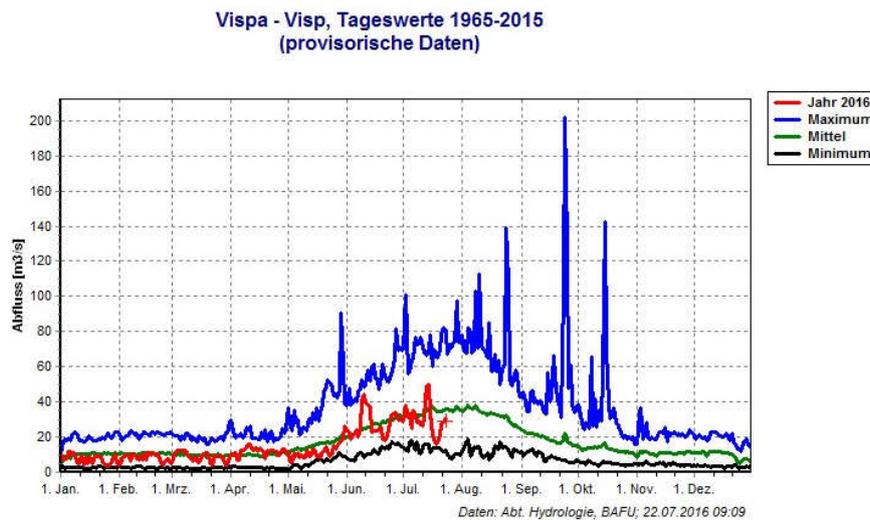


Figure 5 : Régime hydrologique de la Vispa en amont de sa confluence avec le Rhône (Suisse)

Les températures d'eau restent très basses du fait de l'influence des eaux de fonte durant l'été. L'alternance thermique des saisons est donc peu marquée sur ces cours d'eau (figure 6).

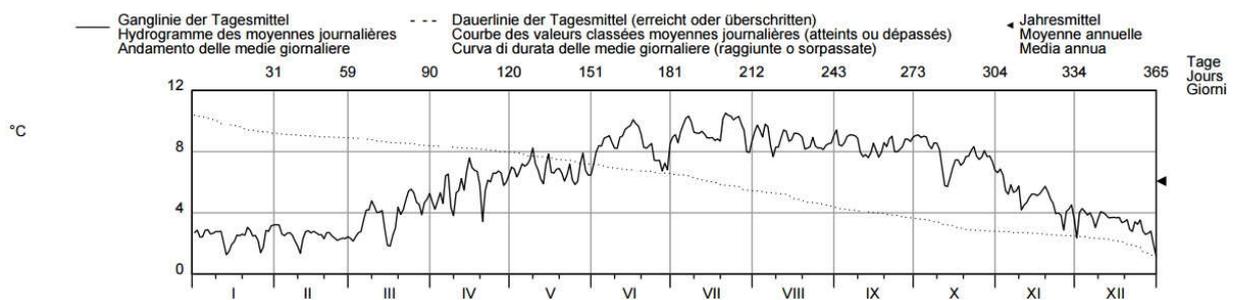


Figure 6 : Régime thermique de la Vispa en amont de sa confluence avec le Rhône Lors de l'année 2013

3.3. Pressions

Les caractéristiques de ces bassins versants sont à l'origine de pressions spécifiques telles que la mise en place de barrages pour la production d'hydro-électricité. C'est l'impact majeur sur l'ensemble de l'écosystème. Ces centrales engendrent de nombreuses incidences du fait entre autres de la modification de la ligne d'eau, des modifications qualitatives de l'eau et des régimes hydrologiques naturels. Ce qui

créé des impacts importants sur le fonctionnement de l'écosystème autant en amont qu'en aval de l'ouvrage.

Dans les zones au potentiel biotique plus élevé (aval des bassins versants), on ressent une concentration des activités humaines et de leurs impacts associés.

La pêche peut également être une pression importante sur ces systèmes à l'équilibre précaire.

3.4. Stratégies de gestion mises en place

Sur ces trois bassins versants, il est difficile de mener des actions visant à réduire les pressions et impacts des activités humaines sur les écosystèmes aquatiques. La majorité du programme d'action mené par le SCPF consiste donc à un soutien des populations piscicoles locales par repeuplement.

Les besoins en alevinage sont évalués pour chaque bassin versant en fonction des prises recensées sur les carnets de pêche. Une pisciculture différente pour chaque bassin versant est ensuite chargée de la production du nombre d'individus nécessaires et du déversement en rivière.

L'étude qui suit a pour but de quantifier la contribution des repeuplements dans les populations en place et dans les captures des pêcheurs.

4. Matériel et méthodes

L'ensemble de l'étude est résumé dans le chronogramme suivant (tableau 2).

Tableau 2 : Chronogramme de l'étude de caractérisation du repeuplement sur trois bassins versants Valaisans (Suisse)

	2012	2013	2014	2015	2016
Marquage et déversement	■				
Echantillonnage par pêche électrique			■		
Echantillonnage par les pêcheurs				■	
Traitement en laboratoire et interprétation					■

4.1. Préparation de l'étude

4.1.1. Méthodologie de la technique de fluoromarquage sur la truite fario

Présentation de l'otolithe

Les otolithes sont des concrétions calcaires présentes chez les poissons dès le stade embryonnaire. Chaque individu possède 3 paires d'otolithes : les *sagittae*, les *asterici* et les *lapilli*. Elles se trouvent dans l'oreille interne du poisson et jouent un grand rôle dans l'équilibre du poisson. Les *sagittae* sont la paire la plus étudiée chez les salmonidés, car ils ont la taille la plus importante ce qui facilite leur utilisation. Ils se trouvent dans la partie ventropostérieure de la capsule auditive.

Ces concrétions calcaires sont formées de cristaux de carbonate de calcium (aragonite). Des couches successives vont venir s'apposer au nucléus (centre de l'otolithe) tout au long de la vie du poisson. Cette croissance est contrôlée par la physiologie du poisson et donc par les fluctuations de son environnement. Il est ainsi possible de distinguer des alternances de zones claires et foncées à plusieurs échelles (saisonnière, journalière, etc).

Pour des raisons encore inexplicées, certains otolithes présentent des formes de concrétions différentes. L'otolithe suit alors une concrétion vatéritique. Dans la plupart des cas le nucléus reste en aragonite. De plus, les deux *sagittae* peuvent ne pas suivre le même type de concrétion. Les effets sur le poisson sont jusqu'à présent inconnus (Source : Institut Océanographique de Bedford : Qu'est-ce qu'un otolithe?).

Concepts d'otolimétrie :

Les divers protocoles applicables aux otolithes permettent de répondre à de nombreuses problématiques. Les formes et tailles des otolithes varient selon les espèces (figure 7) si bien qu'il existe des index et méthodes de détermination liés aux otolithes. Les meilleures descriptions publiées sont celles de Smale et al. (1995) pour les poissons d'Afrique du Sud, de Harkonen (1986) pour les poissons de l'Atlantique Nord-Est et de Nolf (1985) pour les poissons fossiles.

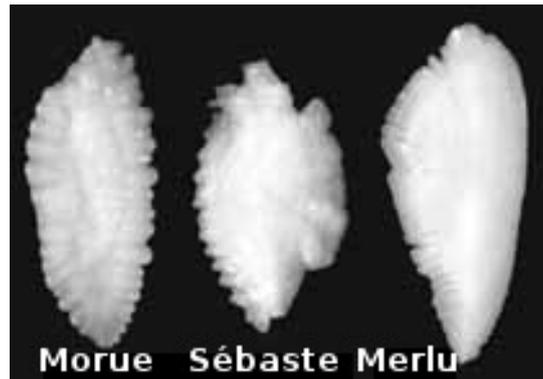


Figure 7 : Photographies de sagittae de trois espèces de poissons témoignant de la diversité de leur formes

Les variations journalières et saisonnières des dépôts peuvent être utilisées pour déterminer l'âge des poissons, déceler une période spécifique de stress intense ou de fraie.

Des méthodes de marquage thermique ou chimique sont également en pleine expansion. Ces marquages sont en effet très bien adaptés au marquage de masse indispensable dans certaines études.

Le fluoromarquage des otolithes a été pratiqué avec trois principaux marqueurs : le chlorure de strontium, la tétracycline et l'alizarine. L'utilisation de ce dernier marqueur est maintenant une pratique parfaitement maîtrisée sur de nombreuses espèces tant en eaux douces qu'en milieu marin. Pour la truite fario, Caudron et Champigneulle (2006) ont perfectionné le protocole de baignation afin de trouver les concentrations et temps de séjour optimum. Les poissons au stade d'alevins vésiculés sont donc placés dans un bain d'une solution à 100 mg/L d'alizarine red S durant 3h. Lors de leurs expériences, l'objectif d'atteindre les 100% de poissons marqués sans mortalité a été rempli. Le fluorochrome vient alors se fixer sur les structures en voie de minéralisation. Au cours de l'observation à l'aide d'un microscope à épifluorescence, la marque absorbe les rayons ultra-violets et émet une fluorescence dans le spectre visible (Brown et Poujol 2011).

Toujours d'après Caudron et Champigneulle (2006), un multi marquage des otolithes est possible pour différencier des lots différents (différentes cohortes, différents stades de développement, etc).

Enfin, il est important de noter que les otolithes totalement vateritiques ne sont pas aptes à l'analyse du fluoromarquage.

4.1.2. Utilisation du fluoromarquage dans l'étude

La méthode de fluoromarquage utilisée est celle décrite par Caudron et Champigneulle (2006) présentée ci-dessus

Une fiche méthodologique destinée aux pisciculteurs a été créée afin de standardiser la méthode (annexe 6). Seule la quantité d'alizarine varie en fonction du volume d'eau utilisé (adapté aux quantités de poissons à marquer) afin d'obtenir une concentration identique en alizarine.

Trois piscicultures sont liées à l'étude, une pour chaque bassin versant, ce qui facilite l'utilisation de reproducteurs issus de la rivière dans laquelle les individus seront relâchés. Cette mesure permet de préserver les différences génétiques entre les populations de truites fario de rivières différentes ainsi qu'une meilleure survie des alevins. La pisciculture d'Entremont a en charge le bassin des Dranses tandis que la pisciculture de Visp et de Sierre ont respectivement en charge le bassin de la Vispa et le bassin de la Navissance.

Le tableau récapitulatif des différents marquages est disponible en annexe (annexe 7). Le bilan comptable des poissons déversés est résumé dans le tableau suivant (tableau 3).

Tableau 3 : Récapitulatif des poissons produits en fonction du stade de développement par trois piscicultures en charge du repeuplement des Dranses, de la Navissance et de la Vispa (Suisse)

Pisciculture	Total pièces/an	PE/an	E/an	PE/E (/an)	Total pièces	Total PE	Total E	PE/E
Entremont 2012	91 125	61 125	30 000	2.0	271 125	181 125	90 000	2.0
Entremont 2013	120 000	90 000	30 000	3.0				
Entremont 2014	60 000	30 000	30 000	1.0				
Visp 2012	138 870	123 334	15 536	7.9	369 575	251 039	118 536	2.1
Visp 2013	128 150	58 150	70 000	0.8				
Visp 2014	102 555	69 555	33 000	2.1				
Sierre 2012	15 000	8 500	6 500	1.3	45 000	26 500	18 500	1.4
Sierre 2013	15 000	8 000	7 000	1.1				
Sierre 2014	15 000	10 000	5 000	2.0				

Dans cette étude afin d'apporter un intérêt supplémentaire le double marquage a été pratiqué sur les poissons déversés au stade Estivaux (E) afin de les différencier des Pré-Estivaux (PE). Le second marquage a dans ce cas été réalisé 180°C/j après le premier marquage. Les dates de déversement sont comprises entre Mai et Juin pour

les PE tandis que les E sont relâchés entre Juillet et Septembre. Par ailleurs, les deux stades proviennent des mêmes géniteurs.

4.1.3. Méthodologie de scalimétrie

Présentation des concepts de détermination des âges

L'étude des écailles peut apporter de nombreuses informations sur l'individu ciblé. La bibliographie est très étendue, Ombredane et Bagliniere (1992) ont recensé l'ensemble des utilisations des écailles en écologie halieutique. Ainsi, l'utilisation pour les lectures d'âge et de croissance est la plus commune mais il en existe d'autres comme la reconnaissance et la classification des espèces de poissons, la caractérisation du cycle biologique et des conditions de milieu du poisson, etc.

En ce qui concerne l'estimation de l'âge, cette pratique se base sur un principe simple. La croissance de l'écaille est progressive tout au long de la vie du poisson et liée à son métabolisme. Ainsi, une croissance rapide se traduit sur les structures superficielles de l'écaille (appelés circuli) par un fort écartement entre chaque circulus tandis qu'une croissance lente se repère par une zone où ces circuli sont beaucoup plus rapprochés (Everson (1980) ; Jearld (1983)).

La lecture de l'âge va donc utiliser ces variations saisonnières de conditions et de croissance. Une zone où les circuli sont rapprochés à cause d'une chute de température forme une marque annuelle appelée annulus. Dans notre étude, nous considérerons le bord extérieur de la zone de circuli rapprochés comme annulus (Tesch (1971)) La reprise de croissance qui suit étant correspondante à l'entrée dans une nouvelle année de vie.

Ombredane et Bagliniere (1992) font également de nombreuses recommandations utiles pour la réussite d'étude de scalimétrie. Les zones de prélèvement d'écaille normalisées pour plusieurs espèces dont la truite fario sont décrites (figure 8).

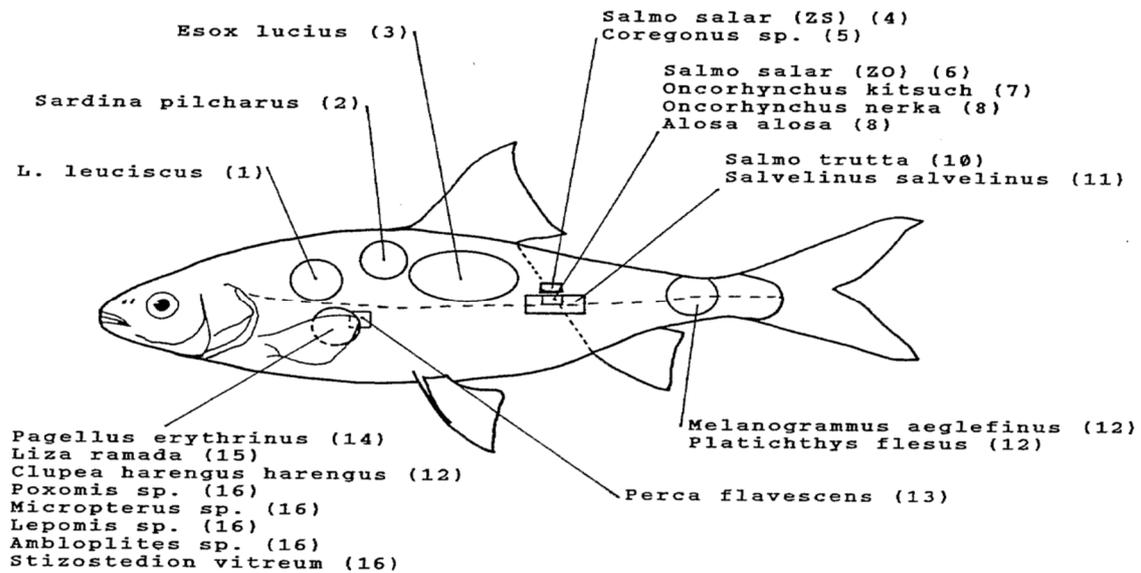


Figure 8 : Schéma représentant les zones standardisées de prélèvement d'écaillés par espèce de poisson

De même, d'autres indications importantes pouvant fortement aider à la distinction entre annulus et "faux arrêts de croissance" (stress, reproduction, etc) sont fournies. Il est préconisé de se renseigner sur la biologie de l'espèce concernée ainsi que sur les caractéristiques des cours d'eau échantillonnés. Cela permettra d'avoir une idée de l'âge du poisson en fonction de sa taille mais également de savoir où doit se trouver le dernier annulus en se basant sur la date de capture (en cours de formation, reprise de croissance, etc). Un tableau approximatif a donc été créé en fonction de l'espèce et de la latitude (figure 4).

Tableau 4 : Date la plus courante d'apparition de l'annulus selon l'espèce de poisson considérée

Espèce ou genre	Lat.N	Période d'apparition de l'annulus	Références
<i>Salmo trutta</i>	49°5	Mi-avril - juillet	Libovarsky (1970)
<i>Salmo trutta</i>	48°	Février - début mai	Baglinière et Maisse (données non publiées)
<i>Salmo salar</i>	44°-49	Mars - début mai	Baglinière (données non publiées)
<i>Oncorhynchus nerka</i>	60°	Novembre - janvier	Barber et Walker (1988)
<i>Coregonus sp.</i>	-	Mars - avril	Hogman (1968)

Certains auteurs se sont également penchés sur des critères de reconnaissance des différents types d'anneaux d'arrêt de croissance (Tesch (1971), Jearld (1983)). Des études plus spécifiques sur la truite ont permis d'identifier les principales sources d'erreur et difficultés liées à cette espèce (Beall, Davaine et Bazin (1992)).

4.2. Stratégie d'échantillonnage

4.2.1. Témoins

Dans chacune des trois piscicultures, pour chaque lot témoin, 50 alevins ont été prélevés à la sortie du protocole de marquage. A l'exception des doubles marquages où seulement 10 individus ont été prélevés. In fine, ce sont 260 individus qui ont été analysés en tant que témoins.

Ces lots témoins permettent de vérifier que le marquage à l'alizarine a été mené à bien et qu'il y a donc un taux de marquage de 100%. Ils ont aussi pour but d'observer si le double marquage est lisible (temps suffisant entre les deux marquages). Enfin, ils vont donner un ordre d'idée de la position de la marque (écartement par rapport au nucléus). Cela permet donc de ne pas prendre une fausse marque (fissure ou zone de transition aragonite/vétérite) pour un marquage à l'alizarine.

4.2.2. Echantillons

Découpage en tronçons :

Pour chaque bassin versant, les cours d'eau principaux ont été découpés en tronçons afin d'avoir une précision géographique accrue et pouvoir distinguer l'impact et l'efficacité de chaque site de repeuplement (figure 9, annexes 8 et 9).

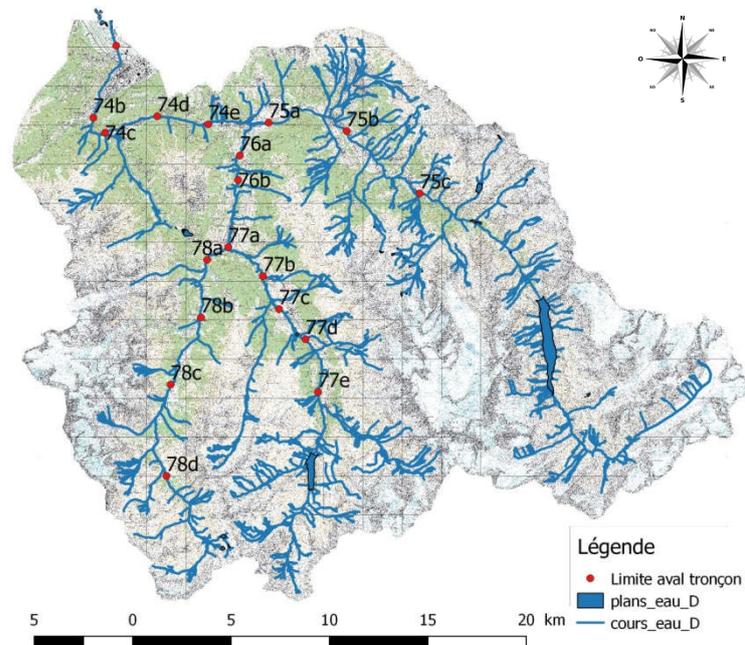


Figure 9 : Carte du réseau hydrographique et découpage en tronçons du bassin versant des Dranses

En 2014 :

Les prélèvements ont été effectués par pêche à l'électricité. Le protocole consiste à remonter chaque tronçon en prélevant tous les poissons rencontrés jusqu'à arriver à 15 poissons prélevés. Une consigne a été mise en place pour que si possible au moins 5 poissons de plus de 25cm soient échantillonnés tout en ne prélevant pas de poissons de plus de 30cm.

En 2015 :

Au cours de cette seconde année de prélèvements, les pêcheurs ont été mis à contribution. Lors des jours suivants l'ouverture (01/03/2015), les gardes pêche ont eu pour mission de contrôler les pêcheurs mais également de prélever la tête et des écailles sur les poissons capturés ainsi que de noter la localisation de la prise.

En tant que mesure préalable, les poissons déversés au stade "poissons mesure" en 2015 ont été marqués par la coupe de l'adipeuse afin qu'ils ne soient pas échantillonnés pour l'étude (ces poissons ne participant pas au plan de repeuplement lié à l'étude). Les gardes avaient donc pour mission d'échantillonner uniquement les poissons à adipeuse intacte.

4.2.3. Conditionnement des échantillons

Hormis pour les lots témoins où les poissons sont conservés dans leur intégralité, tous les poissons ont subi le même traitement lors de l'échantillonnage (figure 10).

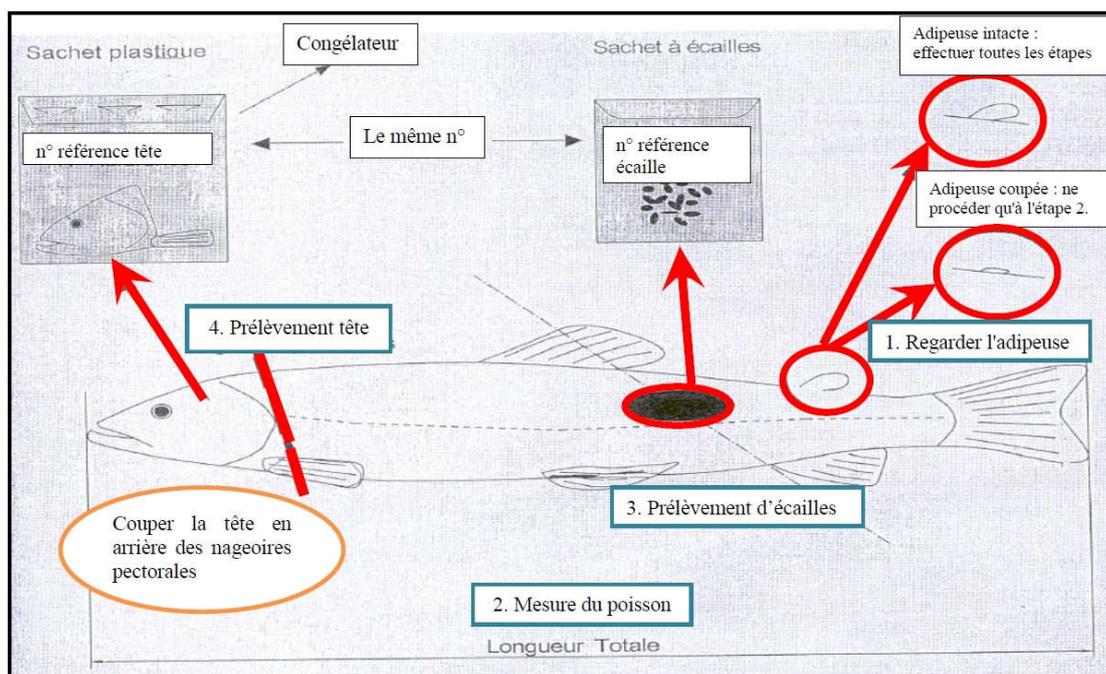


Figure 10 : Résumé schématique du protocole de prélèvement d'échaille et de tête de poisson pour l'analyse du repeuplement dans trois bassin versants Valaisiens (Suisse)

La zone de prélèvement d'écaillés située entre la nageoire dorsale et anale, au dessus de la ligne latérale est la zone standard de prélèvement pour les salmonidés.

Il a également été recommandé de couper la tête en arrière des nageoires pectorales pour éviter la perte des otolithes.

Les prélèvements ont ensuite été conservés congelés en attendant d'être envoyés pour analyse.

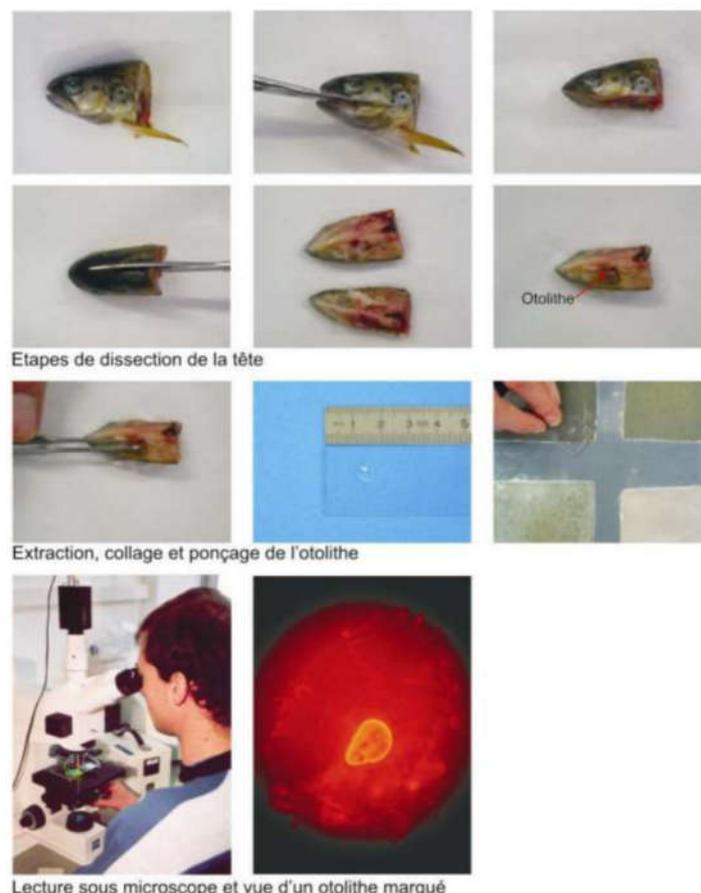
4.3. Traitement en laboratoire

4.3.1. Réception et conditionnement des échantillons

Les 1040 échantillons ont été maintenus congelés jusqu'à leur traitement. Leur transfert a donc été effectué dans des glacières et la conservation en congélateur.

4.3.2. Traitement des otolithes

Les otolithes ont subi le même schéma de traitement que celui utilisé par Caudron et Champigneulle (2006) (figure 11).



Lecture sous microscope et vue d'un otolithe marqué
Figure 11 : Synoptique photographique du traitement des otolithes pour observation du marquage à l'alizarine

Extraction

L'extraction est la première phase d'analyse, elle consiste à récupérer les *sagittae* dans la tête du poisson (cf. figure 11). Lors de l'exécution, un prélèvement ADN a également été effectué afin de constituer une collection de matériel biologique pouvant être exploitée lors de futures études génétiques. Un fragment de nageoire ou de chair est donc conservé dans un tube ependorf avec de l'éthanol à 96°.

Chaque poisson se voit attribuer lors de son traitement un numéro de laboratoire de la forme : 01A001.



Référence de l'étude/Numéro de l'individu

Ce numéro est également noté sur le sachet écaille qui est conservé pour analyse ultérieure.

Fixation

La fixation est une étape de transition, elle prépare l'otolithe pour la lecture. L'otolithe droit (le gauche étant gardé pour une potentielle étude de micro-chimie) est placé aux 2/3 de la lame, dans une goutte de thermocolle (Crystalbomb Aremco n°509) précédemment liquéfiée sur une plaque chauffante (220°C). L'otolithe est positionné à plat, coté sillon "*sulcus acusticus*" contre la lame.

La colle une fois refroidie à température ambiante va tenir l'otolithe et permettre le ponçage.

Ponçage

Le ponçage est la dernière étape avant la lecture. Il doit permettre d'atteindre le nucléus sans toutefois le dépasser. A la suite de cette étape, l'otolithe présente toutes ses marques de croissance à proximité du nucléus. Si une marque est présente, elle sera affleurante ce qui permettra de repérer la fluorescence.

Afin d'optimiser le temps de polissage et sa précision plusieurs papiers abrasifs de granulométries différentes sont utilisés (Escil PSA G 400, G 800 et G 1200).

Il est intéressant de noter que ce plan de ponçage de l'otolithe ne permet pas une lecture de l'âge. En effet, l'otolithe étant légèrement convexe du côté du sillon et concave du côté poncé, les marques ne peuvent pas toutes apparaître en même temps dans ce plan (les marques extérieures disparaîtront avant que le nucléus soit atteint).

Lecture

Les lames préparées sont ensuite observées au microscope à épifluorescence. En utilisant le jeu de filtres Zeiss n°15 : BP 546/12, FT 580, LP 590, on peut voir apparaître au centre un disque (ou un anneau) rouge fluorescent si l'otolithe est marqué. Si la marque n'apparaît pas clairement, un ponçage fin peut être effectué.

4.3.3. Scalimétrie

Nettoyage

Le nettoyage doit permettre de débarrasser les écailles de toute matière organique présente (mucus, peau, etc). Le but est d'obtenir des écailles propres où les stries de croissance seront plus facilement observables.

Deux méthodes ont été utilisées : le nettoyage par friction avec eau savonneuse (lorsque les écailles étaient humides car conservées dans un sachet plastique) ; le nettoyage au peroxyde d'hydrogène pour les sachets crystal (écailles conservées sèches).

Fixation

Etape cruciale pour la scalimétrie, la fixation des écailles comprend également un premier tri. Les écailles nettoyées sont observées sous loupe binoculaire (G x40). Un premier tri est alors effectué en ne conservant qu'entre 5 et 7 écailles non régénérées. Ces écailles se distinguent des autres car elles possèdent des stries jusqu'à leur nucléus. Les écailles régénérées sont des écailles qui n'étaient pas présentes sur le poisson dès sa naissance mais sont apparues suite à la perte de la précédente. Elles n'ont donc pas de marques de croissance pour la période où elles n'existaient pas encore ce qui rend la lecture de l'âge impossible.

Une fois les 5 à 7 écailles non régénérées trouvées, elles sont posées sur lame de microscopie dans le même sens : l'axe allongé de l'écaille doit toujours être dans la largeur de la lame et la pointe doit toujours être tournée dans le même sens. Cela permettra de faciliter la prise des photos. De même il est nécessaire de laisser un espace libre de chaque côté de la lame. En effet, une seconde lame de microscopie va être apposée au dessus des écailles, les extrémités seront ensuite fixées avec du scotch en prenant garde de bien serrer le dispositif.

Photographie

Avant de prendre les photos de 3 écailles, toutes les écailles sont observées. Pour chaque individu, les trois écailles les plus faciles à lire (écaille complète, non régénérée et présentant des annuli bien marqué(s)) sont ensuite photographiées.

Selon la taille de l'écaille, une loupe binoculaire (G x40) ou un microscope (G x80) est utilisé. Les photographies ont ensuite été prises à l'aide d'une caméra Olympus SC50 sous CELLS.

La prise de photographie permet une seconde lecture (double lecture) facile et rapide de la part d'un second opérateur afin de valider l'âge des poissons.

Lecture d'âge

Pour la lecture, chaque bassin versant a été traité séparément. Les lames ont été classées par ordre de taille des poissons dans le but de faciliter la lecture et d'éviter les passages répétés de loupe binoculaire au microscope en fonction de la taille de l'écaille.

L'âge estimé de chaque poisson est également noté par le premier lecteur en comptant le nombre d'annulus(i) présent(s) ainsi que la présence ou l'absence d'une zone de reprise de croissance en bordure.

Ainsi une écaille ne présentant pas d'annulus appartient à un poisson de l'année (0+). Chaque annulus marque le début d'une nouvelle année. En comptant le nombre d'annuli on trouve donc le nombre d'année(s) de vie du poisson (1, 2, etc). Dans le cas où apparaît une reprise de croissance en bordure extérieure de l'écaille, cela signale que le poisson est entré dans l'année suivante, son nombre d'année(s) de vie est donc suivi d'un "+" (1+,2+, etc) (figure 12).

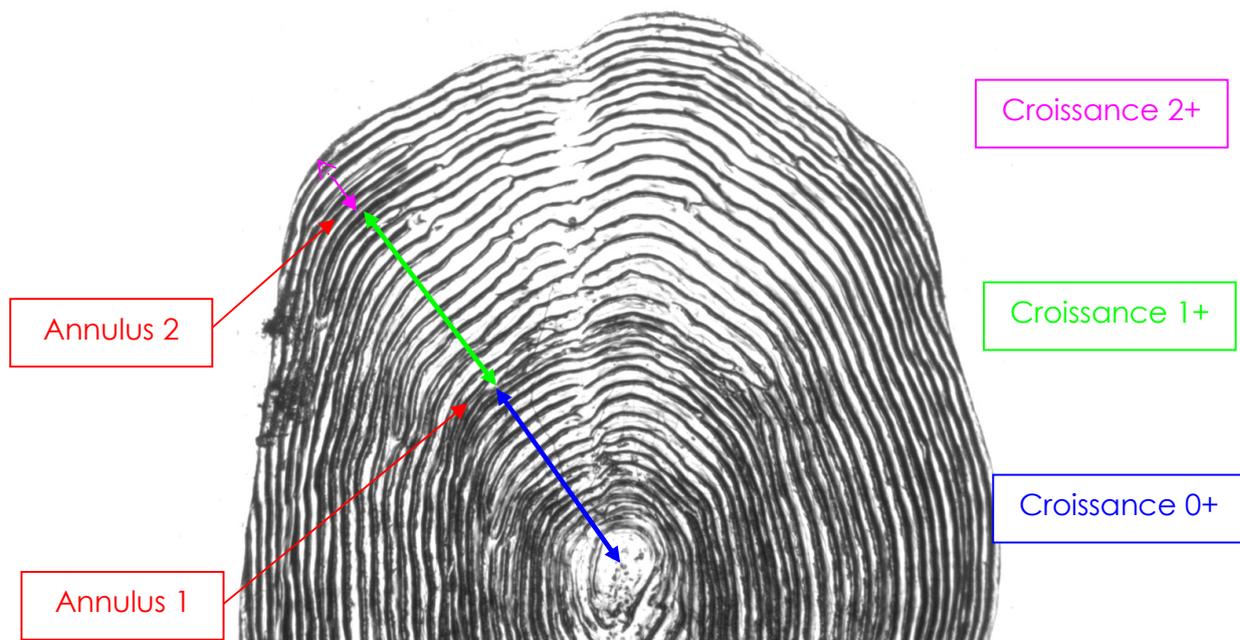


Figure 12 : Photographie d'une écaille de truite fario avec positionnement des annuli et zones de croissance pour l'estimation de l'âge

Chaque bassin versant se voit ensuite attribuer un lot de poissons à analyser en double lecture. Ce lot est constitué des individus pour lesquels le premier lecteur n'est pas certain de son appréciation de l'âge ainsi que d'autres individus pris aléatoirement en essayant d'être représentatif des différentes tailles, tronçons, dates de prélèvement, etc. Ainsi, sur les trois bassins versants 300 individus ont fait l'objet d'une double lecture.

4.4. Traitement et analyse des données

L'ensemble des données ont été regroupées dans un tableur excel contenant les informations transmises par le canton du Valais (Rivière, tronçon, n° d'échantillon, taille, etc). Les données du traitement laboratoire ont donc été renseignées dans les colonnes suivantes (n° labo, marque, âge, etc).

Le traitement des données a ensuite été effectué à l'aide d'excel et du module XLSTATS. L'utilisation de SIG avec le logiciel QGIS complète le traitement pour les rendus cartographiques.

4.4.1. Structure de la population

Afin de comparer l'échantillonnage avec les structures des populations en place, les données de pêches électriques de suivi ont été regroupées en conservant la forme disponible à savoir une ordination par classes de tailles. Cette même ordination a été utilisée sur les poissons échantillonnés.

4.4.2. Contribution

La contribution est le premier facteur étudié, il s'agit de la proportion de poissons marqués dans l'échantillon ciblé ramenée sous la forme de pourcentage.

Nombre d'individus et intervalle de confiance

Le nombre de poissons total de l'échantillon (marqués et non marqués) est toujours indiqué sur les graphiques (nombre au dessus de chaque colonne).

De même, un intervalle de confiance a été calculé à l'aide du nombre d'individus marqué et du nombre total d'individus dans l'échantillon par la méthode de Wilson basée sur le travail de Brown, Cat et DasGupta (2001).

Echelles de calcul

La contribution a tout d'abord été évaluée au niveau du bassin versant en distinguant toujours les différentes cohortes et années de capture (correspond à la classe d'âge échantillonnée). Un éclatement par tronçons de cours d'eau a ensuite été effectué en reprenant les mêmes méthodes.

Tests statistiques

Des tests de χ^2 ont permis de comparer les contributions des poissons marqués entre échantillons avec une P_{value} de 5%. Ces tests ont été appliqués sur les deux échelles de calcul dès que les effectifs dépassaient 5 individus.

Les tests ont cependant dû être menés de façon à ne pas mélanger les cohortes ainsi que les classes d'âge échantillonnées (tableau 5). Ainsi pour un bassin versant on ne peut comparer que :

- L'évolution dans le temps d'une cohorte : différences de contribution entre les deux années de prélèvement,
- La reproductibilité du repeuplement : différences de contribution entre deux cohortes pour une classe d'âge prélevée identique,
- Si l'on veut comparer la contribution sur deux bassins versants différents ou deux tronçons, cela n'est possible que si l'on reste à cohorte et classe d'âge identique.

Tableau 5 : Cohortes et classes d'âge prélevées dans trois bassins versants Valaisans et comparaisons statistiques possibles

Cohorte	Classes d'âge prélevées		
2012		2+	3+
2013		1+	2+
2014	0+	1+	

4.4.3. Efficacité

Calcul basé sur les travaux de Caudron et Champigneulle (2009) ainsi que Caudron et al. (2014), l'IRE (Index of Relative Efficiency) traduit ici IER (Indice d'Efficacité Relative) prend en compte le nombre d'individus déversés. Les repeuplements effectués lors de l'étude ne sont pas identiques ni entre les deux stades déversés ni entre les différentes années. L'IER permettra, ici, d'attribuer à chaque stade de développement déversé (Pré-estivaux et Estivaux) un score d'efficacité pouvant faire l'objet d'une comparaison.

$$\text{Calcul de l'IER : } IER_i = \left(\frac{NM_i}{NM_t} \right) * \left(\frac{QR_t}{QR_i} \right)$$

Où NM_i est le nombre d'individus marqués dans l'échantillonnage du stade de déversement considéré, NM_t est le nombre d'individus marqués total dans l'échantillonnage. Tandis que QR_t est le nombre d'individus déversés total et QR_i est le nombre d'individus déversé du stade considéré.

5. Résultats

5.1. Présentation des résultats bruts

5.1.1. Tableau récapitulatif de la phase de laboratoire

Sur l'ensemble des 1040 échantillons recensés, l'ensemble des données ont pu être extraites sur 895 individus. Le tableau suivant fait le bilan de la phase de laboratoire (tableau 6).

Tableau 6 : Tableau récapitulatif de la phase laboratoire de l'étude du repeuplement de trois bassins versants Valaisans (Suisse)

Bassin versant	Année	Tronçon	Nombre d'individus	Analysés	Analyse impossible ou incomplète			
					Pb échantillonnage	Extraction impossible	Ecailles illisibles	Total
Entremont	2014	74	75	75	0	0	0	0
		75	45	44	0	0	1	1
		76	30	29	0	0	1	1
		77	75	75	0	0	0	0
		78	26	26	0	0	0	0
	2015	74	32	28	0	0	4	4
		75	114	94	19	0	1	20
		76	3	3	0	0	0	0
		77	26	26	0	0	0	0
		78	21	21	0	0	0	0
Anniviers	2014	52	23	22	0	1	0	1
		53	0	0	0	0	0	0
		54	3	3	0	0	0	0
		55	13	7	4	2	0	6
	2015	52	50	30	17	0	3	20
		53	4	4	0	0	0	0
		54	1	1	0	0	0	0
Vispa	2014	35	46	45	0	0	1	1
		36	49	45	0	1	3	4
		37	90	86	0	2	2	4
	2015	35	155	96	47	5	7	59
		36	111	95	3	4	9	16
		37	6	1	5	0	0	5
Lot témoin			260	260	0			
Total sans témoins			1040	895	145			
Total avec témoins			1300	1155	145			

Analysés : concerne les poissons pour lesquels l'ensemble des données ont été extraites

Pb échantillonnage : concerne les poissons qui n'ont pas été réceptionnés ou ceux dont le conditionnement ne permet pas l'extraction de l'ensemble des données (absence de numérotation individuelle, manque prélèvement écaille)

Pb extraction : concerne les poissons pour lesquels les otolithes n'ont pas pu être extraits (tête coupée avant les otolithes ou têtes fracturées)

Ecailles illisibles : concerne les poissons pour lesquels l'ensemble des écailles sont régénérées

Les différentes analyses qui vont suivre ne prennent en compte que les 895 individus pour lesquels l'ensemble des données ont été extraites avec succès.

5.1.2. Validation des lots témoins

Sur les 260 témoins, la marque est toujours présente à l'exception d'un individu. Cependant, celui-ci était dans un lot de témoins prélevés directement après le

marquage à l'alizarine. La marque étant présente à l'extrême périphérie de l'otolithe sur ces lots, elle a pu être effacée au ponçage.

De même, le double marquage n'a pas pu être observé sur les lots témoins, les individus ayant été prélevés trop tôt après la seconde balnéation.

5.2. Contexte des populations

5.2.1. Le repeuplement dans les trois bassins versants

Bassin versant des Dranses

Le bassin versant des Dranses est celui qui reçoit le plus de repeuplement. La répartition géographique des déversements ainsi que leurs caractéristiques qualitatives et quantitatives sont répertoriées sur la carte suivante (figure 13).

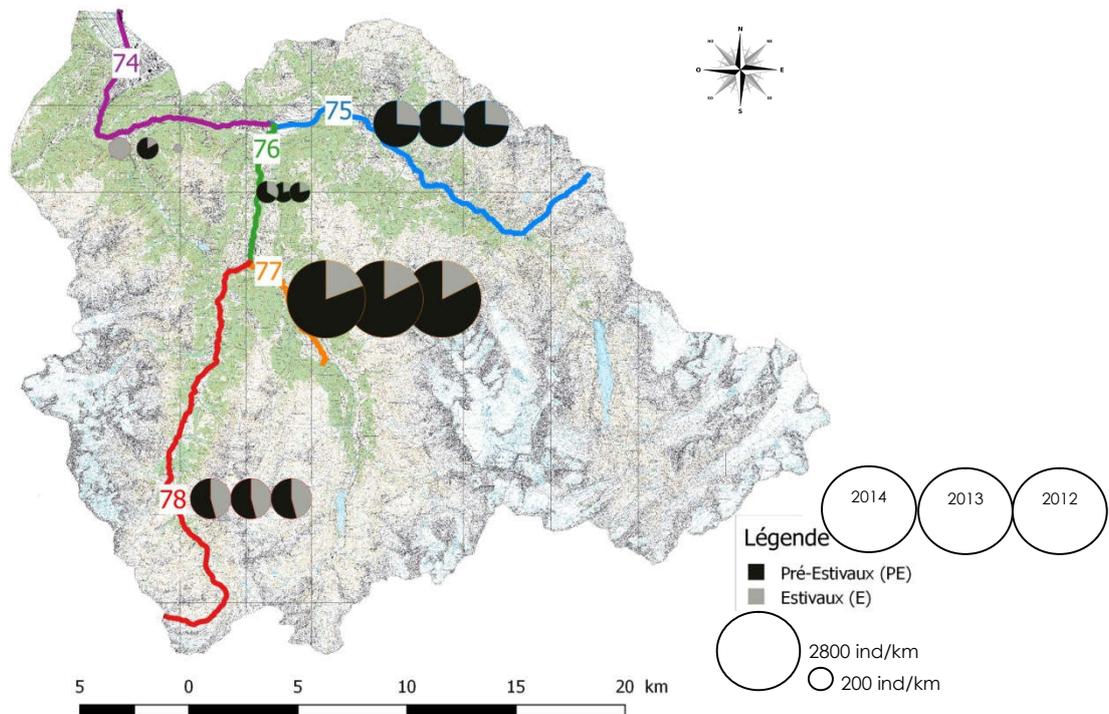


Figure 13 : Carte du repeuplement par tronçon et année sur le bassin versant des Dranses (Suisse)

Tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif, le repeuplement n'est pas homogène sur les différents tronçons. Deux caractéristiques sont à retenir : d'une part, le repeuplement est plus important sur les secteurs amont (tronçons 75, 77 et 78). Et d'autre part, le ratio PE/E diffère selon les tronçons.

Bassin versant de la Naviscence

Le repeuplement du bassin versant de la Naviscence est le moins important des trois bassins versants. La carte ci dessous (figure 14) représente ses caractéristiques.

Sur le bassin versant de la Naviscence, les tronçons 52 et 54 reçoivent les plus grandes quantités déversées. Il est important de noter une légère baisse de cette quantité en 2014.

D'un point de vue qualitatif, le ratio PE/E est décroissant dans l'ordre 52 - 54 - 55.

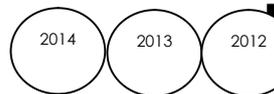
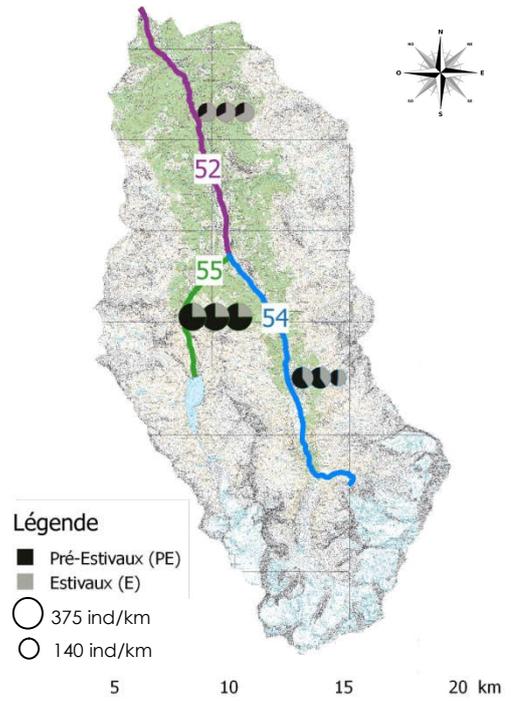


Figure 14 : Carte du repeuplement par tronçon et année sur le bassin versant de la Naviscence (Suisse)

Bassin versant de la Vispa

Bien qu'étant le plus grand bassin versant, la Vispa ne présente que trois tronçons, le repeuplement y est important mais très dilué à cause de la taille du réseau hydrographique comme le présente la carte suivante (figure 15).

Plusieurs éléments sont importants à noter sur le repeuplement de ce bassin versant.

Tout d'abord, le tronçon 35 (aval) n'a reçu que des déversements de pré-estivaux. Ensuite, le tronçon 36 (Est) a vu les quantités de poissons déversés augmenter entre 2012 et 2013. Dans le même temps, la proportion d'estivaux a été diminuée. Enfin, sur le tronçon 37 (Ouest) la quantité reste inchangée entre les années mais le ratio PE/E diminue au fil des années jusqu'à arriver à un repeuplement presque composé exclusivement d'estivaux en 2014.

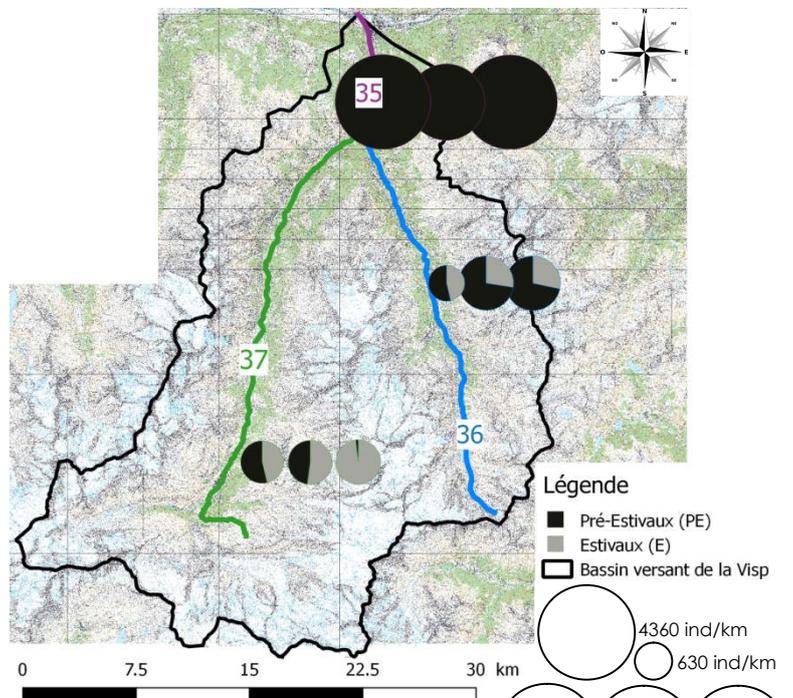


Figure 15 : Carte du repeuplement par tronçon et année sur le bassin versant de la Vispa (Suisse)



5.2.2. Structure des populations et échantillonnage

Afin de débiter l'analyse, il a été recherché si l'échantillonnage traduisait la structure de la population pour chaque bassin versant. Dans ce but, le nombre d'individus échantillonnés a été regroupé par classe d'âge (figure 16) tandis que la structure des populations a été extraite de données de pêches électriques effectuées sur les bassins versants (figure 17).

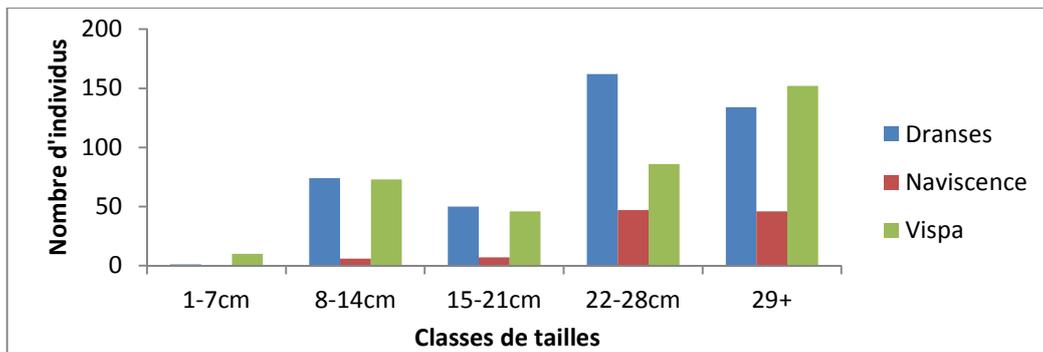


Figure 16 : Classes de tailles échantillonnées

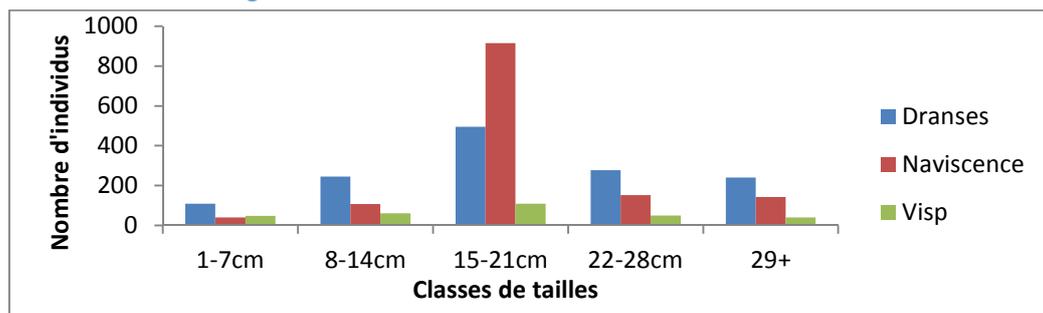


Figure 17 : Structure en classes de tailles des populations issues des données de suivi par pêche à l'électricité (Suisse)

Sur ce graphique, qu'une différence entre les individus échantillonnés et la structure de la population est explicite. Ceci s'explique d'une part du fait des méthodes de capture utilisées lors de l'échantillonnage qui sont très sélectives des plus gros poissons. Et d'autre part, la date de prélèvement joue également un rôle très important au niveau des petits individus puisque les pêches de suivi sont effectuées tout au long de l'année contrairement à l'échantillonnage qui a eu lieu entre septembre et décembre.

5.2.3. Mise en place des cohortes

Afin de pouvoir mener les différentes analyses, les individus ont été regroupés en cohortes (tableau 7).

Tableau 7 : Tableau de correspondance classe d'âge/cohorte en fonction de l'année de prélèvement

Cohorte	2012		2013		2014	
Année de prélèvement	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Classe d'âge	2+	3+	1+	2+	0+	1+

Pour la suite des analyses seules les cohortes appartenant à l'étude (ayant subi un marquage) sont conservées. Pour rappel il s'agit des cohortes 2012, 2013 et 2014.

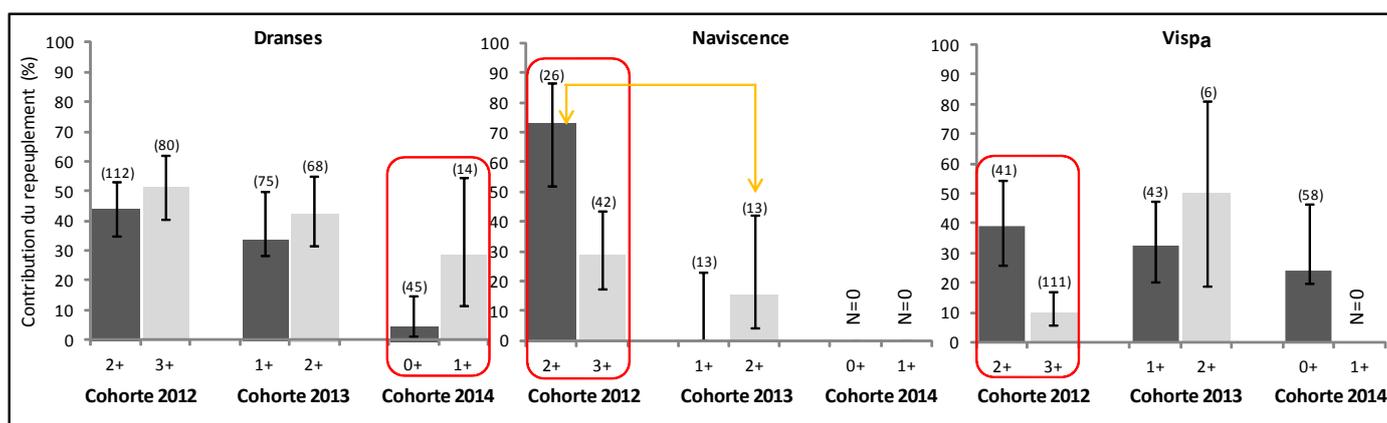
5.3. Résultats du marquage sur les trois bassins versants

5.3.1. Contributions à l'échelle du bassin versant

Sur le bassin des Dranses, la contribution du repeuplement varie selon les années et les classes d'âge entre 4,4 et 51,3%, pour la Naviscence l'intervalle est plus large avec un taux de marqué entre 0 et 73.1% tandis que la Vispa se situe entre 9,9 et 50%.

Comparaison intra-bassin et inter-classes d'âge d'une même cohorte (évolution d'une cohorte dans le temps)

Les contributions dans chaque cohorte pour chaque localisation sont significativement différentes (test Chi-deux, $p < 0.05$) uniquement dans trois cas : Dranses 2014, Naviscence 2012 et Vispa 2012. Pour les Dranses, la proportion de poissons marqués est en hausse entre les 0+ et les 1+ (cohorte 2014). Tandis que pour la Naviscence et la Vispa on observe une chute de la contribution entre les 2+ et les 3+ (cohorte 2012) (figure 18).



Différence significative entre classes d'âge d'une même cohorte
↔ Différence significative entre même classe d'âge de deux cohortes différentes

Figure 18 : Contributions du repeuplement par cohorte et classe d'âge échantillonnée pour 3 bassins versants du Valais (Suisse)

Comparaison intra-bassin de deux cohortes différentes (réproductibilité inter années)

Les contributions sont stables entre deux cohortes différentes pour une même classe d'âge échantillonnée (figure 18) sauf dans le cas des 2+ sur la Naviscence où la contribution est significativement plus faible entre la cohorte 2013 par rapport à la cohorte 2012 (test Chi-deux, $p < 0.05$).

Comparaison inter-bassin (stabilité géographique)

Les résultats des tests appliqués ont été regroupés pour plus de lisibilité (tableau 8).

Tableau 8 : Résultats des tests Chi² (p-value) de comparaison des contributions du repeuplement sur trois bassins versants Valaisans

Cohorte 2012							
2+	Dranses	Naviscence	Vispa	3+	Dranses	Naviscence	Vispa
Dranses		0.0070	0.6000	Dranses		0.0160	0.9310
Naviscence	0.0070		0.0070	Naviscence	0.0160		0.0040
Vispa	0.6000	0.0070		Vispa	0.9310	0.0040	
Cohorte 2013							
1+	Dranses	Naviscence	Vispa	2+	Dranses	Naviscence	Vispa
Dranses		0.0140	0.9310	Dranses	0.1550		
Naviscence	0.0140		0.0180	Naviscence			
Vispa	0.9310	0.0180		Vispa			
Cohorte 2014							
0+	Dranses	Naviscence	Vispa	1+	Dranses	Naviscence	Vispa
Dranses		I	0.0060	Dranses		I	I
Naviscence	I		I	Naviscence	I		I
Vispa	0.0060	I		Vispa	I	I	

Les cellules grisées correspondent aux tests significatifs ($p < 0.05$)

Les "I" signifient que le test n'a pas pu être effectué (colonnes ou ligne à somme nul, $N=0$)

Au sein d'une même classe d'âge et d'une même cohorte, la contribution varie beaucoup en fonction du bassin versant considéré. Sur tous les tests de corrélation qui ont pu être effectués 7 sur 11 montrent une différence significative ($p < 0.05$).

5.3.2. Eclatement et analyse au niveau du tronçon

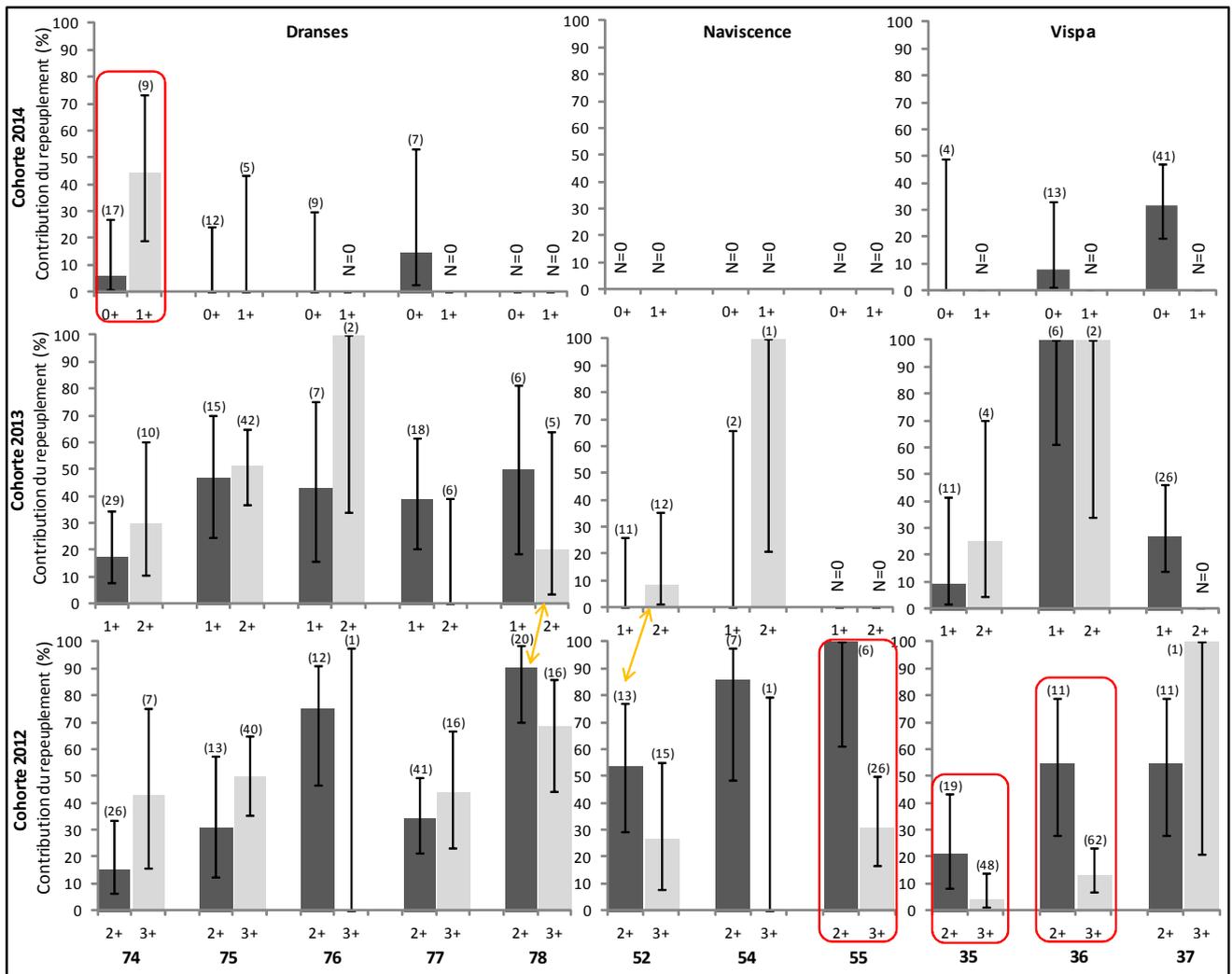
Comparaison intra-tronçon et inter-classes d'âge d'une même cohorte (évolution d'une cohorte dans le temps)

La descente d'échelle va permettre de définir d'où proviennent les différences significatives ($p < 0.05$) repérées à l'échelle du bassin versant.

On note une hausse significative (test Chi-deux, $p < 0.05$) de la contribution du repeuplement entre les classes d'âge 0+ et 1+ du tronçon 74 des Dranses dans la cohorte 2014.

Les différences significatives ($p < 0.05$) sur la Navisence et la Vispa à l'origine de celles observées à l'échelle du bassin versant se situent dans les tronçons 55 ; 35 et 36 où une baisse de la contribution du repeuplement entre les individus 2+ et 3+ est notable dans la cohorte 2012.

La baisse de la proportion d'individus marqués entre les 2+ des cohortes 2012 et 2013 sur la Navisence se retrouve marquée significativement ($p < 0.05$) sur le tronçon 52 (figure 19).



 Différence significative ($p < 0.05$) entre classes d'âge d'une même cohorte
↔ Différence significative ($p < 0.05$) entre même classe d'âge de deux cohortes différentes

Figure 19 : Contributions du repeuplement par cohorte et classe d'âge échantillonnée à l'échelle du tronçon pour 3 bassins versants du Valais (Suisse)

Comparaison intra-bassin de deux cohortes différentes (reproductibilité inter années)

La contribution entre même classe d'âge de deux cohortes différentes est également stable. La variation retrouvée sur les individus 2+ de la Navisence entre les cohortes 2012 et 2013 se retrouve sur le tronçon 52.

Comparaison inter-tronçon pour une même classe d'âge provenant d'une cohorte identique (stabilité géographique)

- Dranses

Un tableau synthèse des tests effectués est également disponible. Toutes cohortes confondues, ce sont 4 classes d'âge sur 6 qui ne présentent pas de différence significative ($p < 0.05$). Lorsqu'une différence est repérée (cohorte 2012/2+ et cohorte 2013/2+) on retrouve dans un cas, peu de tronçons significativement différents (2/10) et dans l'autre la quasi-totalité des tronçons significativement différents entre eux (7/10) (tableau 9).

Tableau 9 : Résultats des tests Chi² pour l'identification de différences significatives des contributions du repeuplement sur entre les tronçons des Dranses (Suisse)

Cohorte 2012											
2+	74	75	76	77	78	3+	74	75	76	77	78
74		0.2260	0.0670	0.1370	0.6800	74	0.4640				
75	0.2260		0.1750	0.0180	0.1870	75					
76	0.0670	0.1750		0.0050	0.0530	76					
77	0.1370	0.0180	0.0050		0.2510	77					
78	0.6800	0.1870	0.0530	0.2510		78					
Cohorte 2013											
1+	74	75	76	77	78	2+	74	75	76	77	78
74	0.2090					74		0.2620	0.0003	0.0012	0.0001
75						75	0.2620		0.0270	0.8220	0.0004
76						76	0.0003	0.0270		0.0120	0.2580
77						77	0.0012	0.8220	0.0120		0.0001
78						78	0.0001	0.0004	0.2580	0.0001	
Cohorte 2014											
0+	74	75	76	77	78	1+	74	75	76	77	78
74	0.4480					74	0.0780				
75						75					
76						76					
77						77					
78						78					

Les cellules grisées correspondent aux tests significativement différents

Les "I" signifient que le test n'a pas pu être effectué (colonnes ou ligne à somme nul, N=0)

- Navissance

Sur le bassin versant de la Navissance seuls les tronçons 52 et 54 montrent des proportions de marqués significativement différents ($p < 0.05$) pour la classe d'âge 2+ de la cohorte 2013 (tableau 10).

Tableau 10 : Résultats des tests Chi² pour l'identification de différences significatives des contributions du repeuplement sur entre les tronçons de la Navisence (Suisse)

Cohorte 2012							
2+	52	54	55	3+	52	54	55
52	0.0730			52	0.7830		
54				54			
55				55			
Cohorte 2013							
1+	52	54	55	2+	52	54	55
52	I			52		0.0150	I
54				54	0.0150	I	
55				55	I	I	
Cohorte 2014							
0+	52	54	55	1+	52	54	55
52	I			52	I		
54				54			
55				55			

Les cellules grisées correspondent aux tests significativement différents
 Les "I" signifient que le test n'a pas pu être effectué (colonnes ou ligne à somme nul, N=0)

- Vispa

Sur ce bassin versant, seules 2 classes d'âge montrent des proportions de marqués significativement différentes entre tronçons ($p < 0.05$) sur les 5 où les tests ont pu être effectués. Comme pour les Dranses, une classe d'âge présente peu de tronçons significativement différents ($p < 0.05$) à l'inverse de la deuxième classe d'âge (tableau 11).

Tableau 11 : Résultats des tests Chi² pour l'identification de différences significatives des contributions du repeuplement sur entre les tronçons de la Vispa (Suisse)

Cohorte 2012							
2+	35	36	37	3+	35	36	37
35	0.0900			35		0.1140	0.2280
36				36	0.1140	0.0140	
37				37	0.2280	0.0140	
Cohorte 2013							
1+	35	36	37	2+	35	36	37
35		0.0003	0.0001	35	0.0830		
36	0.0003		0.0010	36			
37	0.0001	0.0010		37			
Cohorte 2014							
0+	35	36	37	1+	35	36	37
35	0.1070			35	I		
36				36			
37				37			

Les cellules grisées correspondent aux tests significativement différents
 Les "I" signifient que le test n'a pas pu être effectué (colonnes ou ligne à somme nul, N=0)

5.4. Efficacité des deux stades de déversement

Seconde étape d'analyse des données, la comparaison de l'efficacité des deux stades de développement est décrite (figure 19).

5.4.1. Efficacités à l'échelle du bassin versant

Tout d'abord l'efficacité du repeuplement en stades estivaux est toujours supérieure à celle des pré-estivaux sur les bassins versants des Dranses et de la Navissance. La tendance se retrouve inversée sur la Vispa avec une efficacité toujours supérieure pour le repeuplement en pré-estivaux (figure 19).

Autre tendance qui se dégage, la stabilité temporelle (reproductibilité) de l'efficacité semble différente sur les trois bassins versants. Alors que sur les Dranses les efficacités du repeuplement en PE et E semblent stables, ce n'est pas le cas pour les deux autres bassins versants (figure 20).

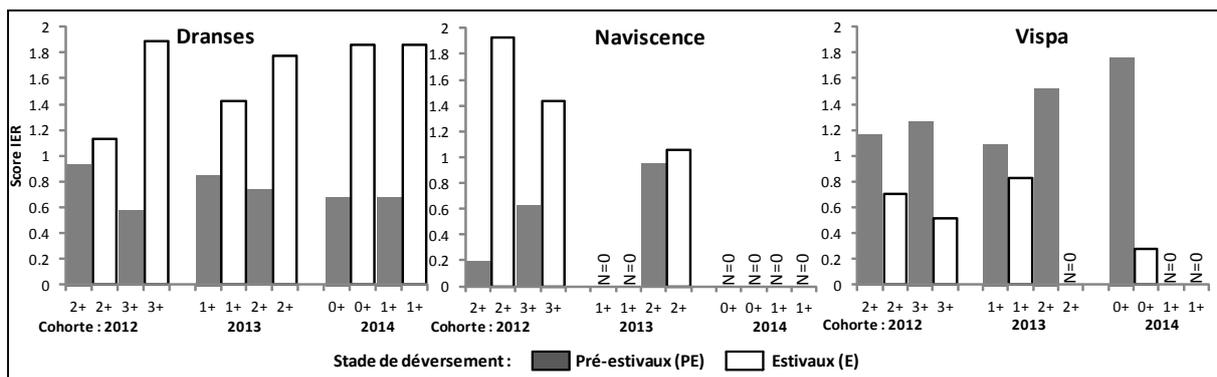


Figure 20 : Efficacité du repeuplement par cohorte et classe d'âge échantillonnée pour 3 bassins versants du Valais (Suisse)

5.4.2. Eclatement au niveau du tronçon

Les tendances au niveau du tronçon sont moins marquées. L'efficacité du repeuplement est très variable selon le tronçon. Il en est de même selon la classe d'âge prélevée au sein d'une même cohorte (stabilité dans le temps du repeuplement) ou selon la cohorte pour une même classe d'âge (reproductibilité) (figure 21).

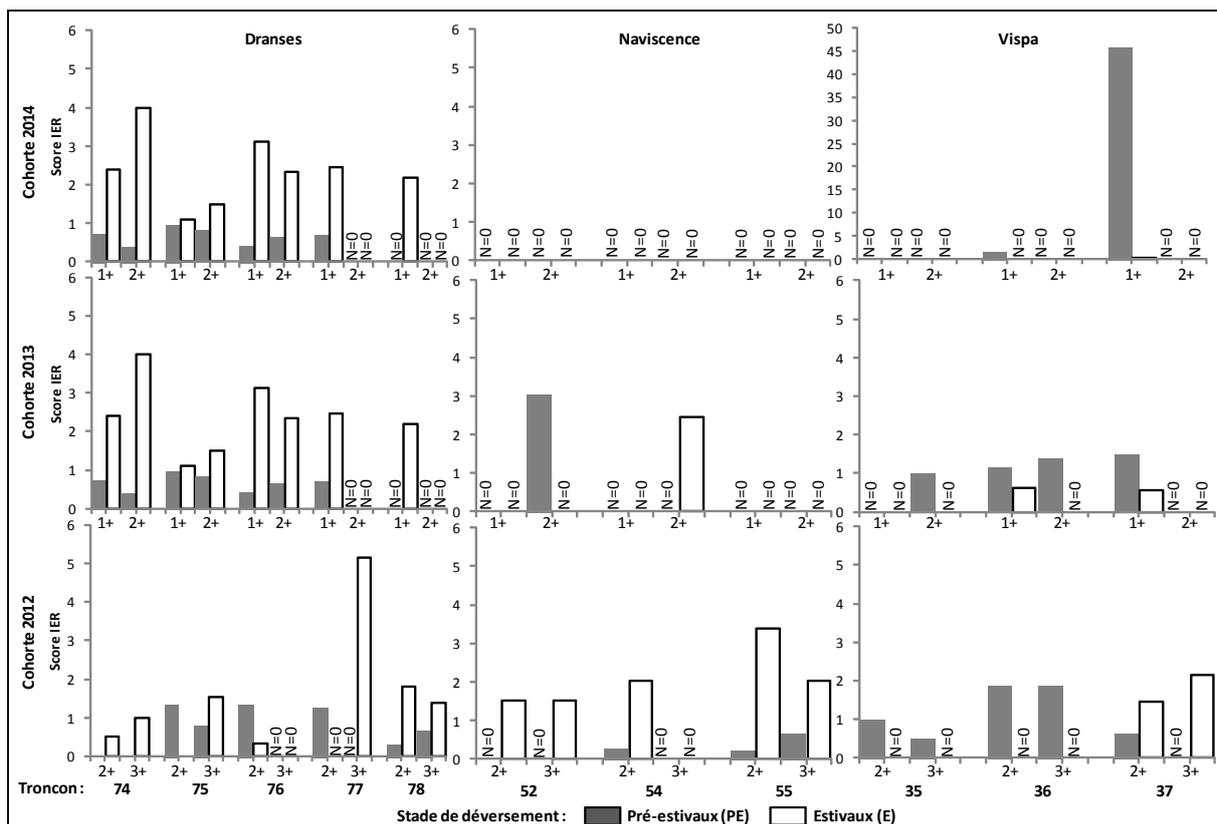


Figure 21 : Efficacité du repeuplement par cohorte et classe d'âge échantillonnée à l'échelle du tronçon pour 3 bassins versants du Valais (Suisse)

5.5. Recherche des individus dévalants

La recherche des individus dévalants s'est concentrée sur les tronçons les plus à l'aval des Dranses et de la Vispa respectivement sur les tronçons 74 et 35 qui présentent des années avec un repeuplement d'un seul stade de développement (figure 22).

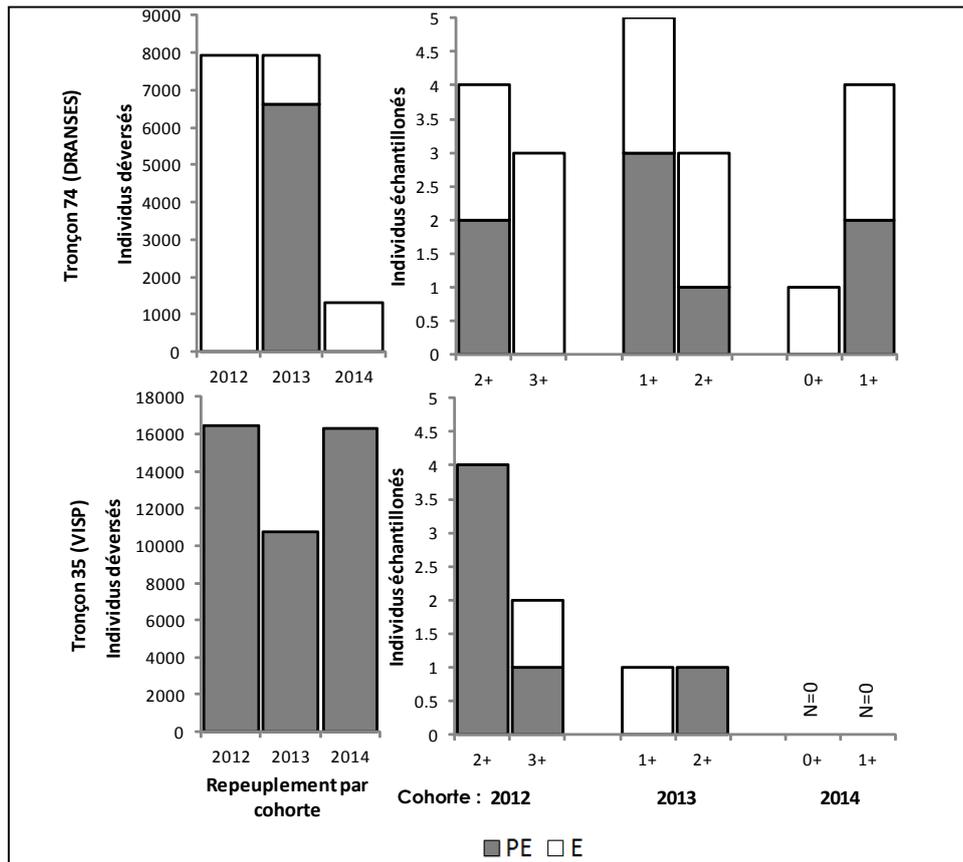


Figure 22 : Comparaison du marquage entre repeuplement et poissons échantillonnés pour mettre en évidence la présence d'individus dévalants sur les tronçons aval des Dranses et de la Visp (Suisse)

Le tronçon 74 présente en 2012 et 2014 un repeuplement exclusivement en estivaux. On retrouve cependant des poissons relâchés au stade de pré-estivaux dans l'échantillonnage des deux cohortes.

De même, pour le tronçon 35, les repeuplements lors des 3 années ont été effectués exclusivement en pré-estivaux et l'on peut observer des poissons relâchés au stade d'estivaux dans les prélèvements de chacune des cohortes.

6. Discussion

Pour chaque bassin versant, les écarts entre les contributions de poissons marqués issus du repeuplement sont très importants en fonction des cohortes et des classes d'âge. On peut cependant constater que sur l'ensemble des résultats, la contribution du repeuplement excède rarement les 50% ; le recrutement naturel est donc bien présent sur l'ensemble du réseau hydrographique des trois bassins versants étudiés quelle que soit l'année et représente la part majoritaire de la population en place. Il est tout de même important de déterminer les causes des grandes variations de contribution observées en s'appuyant sur les résultats majeurs de l'étude.

Pour faciliter l'interprétation des autres résultats, la dévalaison sera le premier élément abordé. La littérature abondante sur ce sujet dénombre de nombreuses raisons à ce phénomène notamment la compétition pour l'alimentation (Henderson et Letcher (2003), Kelly-Quinn et Bracken (1989) et Berg et Jørgensen (1991)) et/ou l'habitat (Elliott (1994), Johnsson et al. (1999)) entre les individus natifs et les individus déversés à des stades plus jeunes. D'autre part, l'impact fort des variations brutales de débit est démontré par Daufresne et al. (2005). L'absence d'un échantillonnage plus approfondi permettant d'estimer la densité de la population ainsi que le protocole non adapté à la quantification des mouvements empêchent de conclure sur la réelle raison et l'importance de cette dévalaison, cette notion de densité étant une clé dans les conclusions sur l'efficacité du repeuplement dans une étude plus approfondie menée par Baer et Rösch (2008) (cf. annexe 10 : volet européen).

Un élément marquant des résultats présentés est l'augmentation significative de la contribution du repeuplement entre les individus 0+ et 1+ (bassin des Dranses, cohorte 2014). Ce résultat va à l'encontre de toute la bibliographie connue (Caudron et Champigneulle (2007)). Il peut cependant s'expliquer par la présence d'individus dévalants. En effet, comme le montre l'éclatement au niveau du tronçon, c'est au niveau de l'aval du bassin versant où la dévalaison a été démontrée que cette augmentation significative apparaît. Si l'on reprend l'analyse en retirant ces individus dévalant arrivés au stade 1+, la différence entre contribution au stade 0+ et 1+ n'est plus significative ($P=0,127$).

Un autre résultat important est la baisse significative de la contribution entre 2+ et 3+ (bassin de la Vispa et Naviscence). Ce résultat concorde avec un taux de survie plus faible des individus introduits du fait qu'ils ne sont pas habitués à s'alimenter en milieu

naturel mais aussi de part une contribution plus rapide aux prises halieutiques car ces individus ont passé plus de temps en pisciculture et sont donc en moyenne plus grands. Ce résultat est une clé dans l'interprétation de l'impact du repeuplement car cela signifie que la grande majorité de la partie efficace de la population (géniteurs) provient d'une origine naturelle.

L'analyse spatiale de la contribution montre de fortes disparités entre les bassins versants. Cependant, la contribution entre les tronçons d'un même bassin versant ne présente que peu de variations à la vue des différences non significatives. Ceci est en adéquation avec la littérature et notamment avec les publications de Caudron et Champigneulle (2002) et Champigneulle et al.(2002) qui montrent que les caractéristiques hydromorphologiques et thermiques influencent grandement la contribution. En effet un lien fort y est démontré entre ces facteurs et une reproduction naturelle plus ou moins efficace sur des cours d'eau similaires (Fier, Doubs, Dranses). Des résultats identiques ont été trouvés en Lituanie par Virbickas et Kesminas (2002). Le repeuplement très hétérogène, notamment si l'on compare les bassins versants entre eux est également une source majeure de ces variations de contribution.

Le passage à l'IER est intéressant avec l'implémentation du facteur repeuplement dans le calcul. Cette notion d'efficacité montre d'une part des résultats bien meilleurs pour les poissons déversés au stade d'estivaux sur les bassins des Dranses et de la Navissance. D'autre part, de fortes variations entre les tronçons, cohortes et classes d'âge apparaissent sur les trois bassins versants. Les différences d'efficacités des différents stades de déversement ont d'ores et déjà été testés notamment par Hume et Parkinson (1988). D'autres stades ont aussi été testés dans la bibliographie. Les auteurs, Unfer et Pinter (2013) (cf. annexe 10 : volet européen) s'intéressent notamment aux stades de déversement précoces "eyed-eggs" (œuf œillés) qui peuvent être une solution efficace dans les systèmes glaciaires similaires aux bassins étudiés. Cette comparaison de l'efficacité des stades est également fortement en lien avec les paragraphes précédents sur les compétitions entre individus et l'analyse spatiale. Ces facteurs qui engendrent de fortes fluctuations dans le recrutement naturel ainsi que sur la survie ou le mouvement des individus couplés avec un repeuplement très hétérogène expliquent ces variations importantes des efficacités. En effet, le facteur repeuplement est toujours un facteur clé après le passage au score d'efficacité car la quantité déversée va jouer sur la survie des individus comme

le montrent Baer et Rösch (2008). Ces auteurs montrent que les truites sont des poissons avec une forte compétition intra-spécifique et de ce fait les premiers juvéniles présents seront avantagés. Les poissons natifs sont donc les premiers favorisés puis viennent les pré-estivaux et enfin les estivaux. Ceci peut expliquer la moindre efficacité des estivaux sur le bassin de la Vispa si le recrutement naturel est important. En effet, les résultats de l'étude citée prouvent qu'au delà d'une certaine densité de repeuplement (qui varie en fonction de la qualité du milieu et du recrutement naturel) la contribution ne varie plus et l'efficacité baisse. Il est donc important de ne pas axer le repeuplement uniquement en individus du stade qui a la meilleure efficacité car d'autres facteurs entrent en jeu ainsi que de prendre en compte la capacité d'accueil du milieu.

7. Conclusion

La mise en place du fluoromarquage à l'alizarine est une réussite sur les bassins versants des Dranses, de la Naviscence et de la Vispa. Cette méthode a une nouvelle fois démontré sa fiabilité qui permet ainsi de répondre à l'ensemble des objectifs de l'étude.

La contribution du recrutement naturel est supérieure à celle du repeuplement sur les trois bassins versants ainsi que sur l'ensemble du réseau hydrographique quelle que soit la cohorte analysée. Cependant, la part qu'occupent les poissons issus du repeuplement reste très élevée par rapport à celle relevée dans des cours d'eau peu anthropisés et se rapproche nettement plus de la contribution observée dans des cours d'eau dégradés. La cause probable de cette dégradation semble être la présence de centrales hydroélectriques, même si cela reste à prouver.

Bien que l'analyse ne montre pas d'où proviennent les truites issues du recrutement naturel, on observe dès les jeunes stades leur présence sur l'ensemble des tronçons, ce qui est encourageant. Ceci donne une nouvelle piste à étudier pour continuer d'améliorer les pratiques de repeuplement. Autre élément encourageant, la part efficace de la population (reproducteurs) est en grande majorité composée d'individus provenant du recrutement naturel. En effet, la contribution des individus repeuplés chute au fur des à mesure du vieillissement des cohortes.

Les deux stades introduits (pré-estivaux et estivaux) semblent avoir des efficacités différentes selon le bassin versant ainsi que le tronçon de déversement. Ceci est très

bien expliqué dans la bibliographie par les différentes compétitions pour l'alimentation ainsi que l'habitat qui s'installent entre les individus. L'interprétation de ces résultats montre par ailleurs la nécessité de rester sur un repeuplement en plusieurs stades différents.

Un mouvement de dévalaison des individus introduits a également été démontré. C'est un résultat important de l'étude. Cependant le nombre d'individus que cela représente n'a pas pu être calculé par le protocole mis en place.

Enfin, les résultats obtenus et analysés apportent une information importante qui permettra probablement des ajustements dans l'élaboration des prochains plans de repeuplement. Cependant, pour chaque résultat, la présente analyse ne permet pas de conclure en détail sur toutes les modalités en jeu. De nombreuses perspectives sont donc ouvertes pour aller plus loin sur chaque point cité précédemment.

8. Perspectives

Voies d'améliorations pour le SCPF

L'aboutissement de cette étude devrait être prise en compte dans l'actualisation des méthodes de gestion du SCPF et notamment dans les plans de repeuplements. Le fort taux de contribution montre une certaine efficacité de la méthode en comparaison avec les autres études menées jusqu'à présent. Cependant, les nombreux défauts et impacts (génétiques, sanitaires, etc) de cette pratique sont avérés et ne peuvent pas être omis. Le repeuplement doit donc être mené uniquement dans le but de maintenir les populations locales en attente d'une amélioration du système. Le SCPF devrait donc s'atteler à des actions plus pérennes. Le contexte étant difficile (hydroélectricité très présente) l'obtention de compromis avec les gestionnaires de centrales est une solution clé afin de minimiser les impacts sur l'environnement. Le but est donc d'aller vers une meilleure gestion du turbinage en adéquation avec les cycles biologiques des poissons.

Etudes complémentaires

Pour compléter cette étude, le mouvement des populations est un aspect à éclaircir. Il serait donc très intéressant pour la gestion d'en apprendre davantage sur les quantités et la raison qui poussent les individus à dévaler. Cette nouvelle étude

devrait être couplée à des mesures des conditions hydrologiques afin de pouvoir en apprendre plus que lors de la présente étude. Il serait également intéressant afin d'en apprendre plus sur le repeuplement de mener une étude sur un bassin pilote avec un repeuplement stable et un échantillonnage permettant d'avoir une idée de la densité.

Deux stades de déversement ont été testés. D'autres stades peuvent être utilisés et sont déjà appliqués sur des bassins versants similaires (eyed-eggs). Une étude plus courte et plus ciblée sur la contribution des différents stades, seuls ou en cocktail, sur une rivière pilote pourrait constituer une nouvelle voie d'amélioration des actions de repeuplement dans le canton du Valais.

Si l'une de ces études était menée, il serait très intéressant de mettre en place un indice d'anthropisation basé sur le travail de Van Beynen et Townsend (2005) qui prend en compte l'hydromorphologie, la qualité d'eau, l'occupation du sol, la présence de centrales hydroélectriques, etc. La comparaison entre cet indice et la contribution du repeuplement pourrait être une grosse avancée dans l'interprétation des résultats.

Une perspective très intéressante serait d'analyser la génétique des poissons non-marqués. En effet, nous avons montré que la part efficace de la population est composée en majorité d'individus natifs. Cette analyse génétique pourrait donner un ordre de grandeur de cette population en âge de reproduction sur les différents tronçons. Cela constituerait une analyse sur 506 individus, ce qui ne représenterait donc pas une étude trop coûteuse.

Perspectives liées à la méthode utilisée

Cette étude donne des résultats très intéressants. Cependant, la nécessité de sacrifier une grande quantité de poissons reste discutable. D'autres méthodes de fluoromarquage se développent n'obligeant pas le sacrifice des individus, comme le marquage à la calcéine (Richard, O'Rourke et Rubin (2013)).

Des études similaires ont également été menées sur d'autres espèces autant en milieu continental qu'océanique, sur les anguilles (Caraguel et al. (2015)), les brochets (Skov, Grønkjær et Nielsen (2001)), etc.

Bibliographie

- Baer, J., and Rösch, R. (2008). Mass-marking of brown trout (*Salmo trutta* L.) larvae by alizarin: method and evaluation of stocking. *Journal of Applied Ichthyology*, 24(1), 44-49.
- Beall, E., Davaine, P., et Bazin, D. (1992). Etude scalimétrique de la truite commune à Kerguelen, TAAF. Principales difficultés et validation. *Tissus durs et âge individuel des vertébrés*, 199-210.
- Berg, S., and Jorgensen, J. (1991). Stocking experiments with 0+ and 1+ trout parr, *Salmo trutta* L., of wild and hatchery origin: 1. Post-stocking mortality and smolt yield. *Journal of Fish Biology*, 39(2), 151-169.
- Bourdon, M., Coriton, O., Pirrello, J., Cheniclet, C., Brown, S. C., Poujol, C., ... et Frangne, N. (2011). In planta quantification of endoreduplication using fluorescent in situ hybridization (FISH). *The Plant Journal*, 66(6), 1089-1099.
- Brown, LD, Cat, TT and DasGupta, A (2001). Interval Estimation for a proportion. *Statistical Science* 16:101-133
- Caraguel, J. M., Charrier, F., Mazel, V., et Feunteun, E. (2015). Mass marking of stocked European glass eels (*Anguilla anguilla*) with alizarin red S. *Ecology of Freshwater Fish*, 24(3), 435-442.
- Caudron, A., Champigneulle, A., et Vulliet, J. P. (2002). Evaluation de l'efficacité du repeuplement et comparaison des caractéristiques des truites (*Salmo trutta* L.) sauvages et introduites dans les rivières de Haute-savoie. *Champigneulle, A., Degiorgi, F., Raymond, J. C., et Cachera, S. (2002). dynamique temporelle de la contribution du repeuplement en stades précoces de truite (salmo trutta l.) dans la population en place et dans la pêche sur le doubs franco-suisse. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, (365-366), 471-485.*
- Caudron, A., et Champigneulle, A. (2002). évolution spatio-temporelle de la contribution du repeuplement en truite (*salmo trutta* l.) réalisé a des stades précoces dans le bassin amont du fier (74). *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, (365-366), 455-469.*
- Caudron, A., Champigneulle, A., and Guyomard, R. (2006). Assessment of restocking as a strategy for rehabilitating a native population of brown trout *Salmo trutta* L. in a fast-flowing mountain stream in the northern French Alps. *Journal of Fish Biology*, 69(sa), 127-139.
- Caudron, A., et Champigneulle, A. (2007). Prise en compte de la biodiversité intraspécifique pour la gestion des populations autochtones de truite (*Salmo trutta* L.) dans le bassin des Dranses (Haute-Savoie). *Cybium*, 31(2), 251-260.
- Caudron, A., and Champigneulle, A. (2009). Multiple marking of otoliths of brown trout, *Salmo trutta* L., with alizarin redS to compare efficiency of stocking of three early life stages. *Fisheries Management and Ecology*, 16(3), 219-224.

Caudron, A., Lasne, E., Gillet, C., Guillard, J., and Champigneulle, A. (2014). Thirty years of reoligotrophication do not contribute to restore self-sustaining fisheries of Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, in Lake Geneva. *Fisheries Research*, 154, 165-171.

Champigneulle, A. and Cachera, S. (2003). Evaluation of large-scale stocking of early stages of brown trout, *Salmo trutta*, to angler catches in the French–Swiss part of the River Doubs. *Fisheries Management and Ecology*, 10(2), 79-85.

Elliott, J. M. (1994). *Quantitative ecology and the brown trout*. Oxford University Press.

F.J. (Eds.). Colloques et Séminaires ORSTOM-INRA : 151-193.

Härkönen, T. (1986). *Guide to the otoliths of the bony fishes of the Northeast Atlantic*. Danbiu.

Henderson, J. N., and Letcher, B. H. (2003). Predation on stocked Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 60(1), 32-42.

Hume, J. M., and Parkinson, E. A. (1988). Effects of size at and time of release on the survival and growth of steelhead fry stocked in streams. *North American Journal of Fisheries Management*, 8(1), 50-57.

Jearld, A. (1983). Age determination. In In: Nielsen LA and Johnson DL (eds) *Fisheries Techniques*.

Jorgensen, J., and Berg, S. (1991). Stocking experiments with 0+ and 1+ trout parr, *Salmo trutta* L., of wild and hatchery origin: 2. Post-stocking movements. *Journal of Fish Biology*, 39(2), 171-180.

KELLY-QUINN, M., and Bracken, J. J. (1989). Survival of stocked hatchery-reared brown trout, *Salmo trutta* L., fry in relation to the carrying capacity of a trout nursery stream. *Aquaculture Research*, 20(2), 211-226.

Mooss, A. N., Mohiuddin, S. M., and Sketch, M. H. (1980). Conduction defects and mitral annulus calcification. *British heart journal*, 44(2), 162.

Nair, C. K., Runco, Everson, G. T., Boghairi, Nolf, D. (1985). *Otolithi piscium* (Vol. 10).

OMBREDANE D. et BAGLINIÈRE J.L., 1992. Les écailles et leurs utilisations en écologie aquatique. In : « Tissus durs et âge individuel des vertébrés », Colloque national, Bondy, France, 4-6 mars 1991.

Richard, a., O'rourke, j., et Rubin, j. f. (2013). Projet fluoscale.

Skov, C., Grønkjær, P., and Nielsen, C. (2001). Marking pike fry otoliths with alizarin complexone and strontium: an evaluation of methods. *Journal of Fish Biology*, 59(3), 745-750.

Tesch, F. W. (1971). Age and growth. *Methods for assessment of fish production in fresh waters*, 98-130.

Unfer, G., and Pinter, K. (2013). Marking otoliths of brown trout (*Salmo trutta* L.) embryos with alizarin red S. *Journal of Applied Ichthyology*, 29(2), 470-473.

Van Beynen, P., and Townsend, K. (2005). A disturbance index for karst environments. *Environmental Management*, 36(1), 101-116.

Virbickas, T., and Kesminas, V. (2002).
Salmon (*Salmo salar*) and sea-trout (*Salmo
trutta*) restocking efficiency in potential rivers of
Lithuania. Initial study. *Acta Zoologica
Lituanica*, 12(2), 129-137.

1. Version abrégée

1.1. Introduction

Dans le cadre de sa stratégie de gestion piscicole principalement basée sur du repeuplement en truites fario, le Service Cantonal de la Chasse, de la Pêche et de la Faune du Valais (SCPF) s'est lancé dans un projet sur 5 ans afin d'évaluer l'efficacité et l'impact potentiel de ses pratiques. Trois bassins versants ont fait l'objet d'une étude spécifique avec comme objectifs principaux :

- Déterminer la contribution de truites issues de pisciculture dans les différentes cohortes et classes d'âge,
- Comparer la survie des différents stades de développement déversés dans la rivière,
- Caractériser la dispersion des truites introduites dans le système,
- Identifier les tronçons avec reproduction naturelle.

La méthode de suivi choisie devait être en mesure de marquer tous les poissons issus de pisciculture soit un très grand nombre d'individus dès leurs plus jeunes stades. Du fait de ces différentes contraintes, l'étude s'est appuyée sur le travail effectué par Caudron et Champigneulle (2009) à savoir le marquage à l'alizarine. Ce marquage utilise la propriété du fluorochrome à venir se fixer sur les otolithes et ainsi former une marque observable avec un microscope à fluorescence. En parallèle, une étude scalimétrique est menée afin de déterminer l'âge de chaque individu.

1.2. Matériel et méthode

Durant trois années (2012, 2013 et 2014) tous les alevins introduits ont été marqués par baignade de 3h à 100 mg/L d'alizarine Red S. L'échantillonnage s'est ensuite étalé sur deux années (2014 et 2015) en utilisant deux méthodes de capture différentes (pêche électrique et pêcheurs à la ligne) (tableau i).

Tableau i : Chronogramme de l'étude du suivi de l'efficacité du repeuplement dans le canton du Valais (Suisse)

	2012	2013	2014	2015	2016
Marquage et déversement	■	■	■		
Echantillonnage par pêche électrique			■		
Echantillonnage par les pêcheurs				■	
Traitement en laboratoire et interprétation					■

L'efficacité de chaque balnéation est confirmée par le prélèvement d'un lot témoin (260 individus au total sur les 3 années) qui subira les mêmes analyses que les poissons échantillonnés en rivière.

1040 individus ont été prélevés en rivière sur deux années. La tête et des écailles de chaque poisson sont conservés en vue de l'analyse.

Une fois arrivés au laboratoire, les otolithes sont extraits, nettoyés, fixés et poncés afin d'être observés sous microscope optique à épifluorescence tandis que les écailles sont nettoyées, triées et fixées avant d'être observées pour estimation de l'âge.

1.3. Traitement des résultats

1.3.1. Repeuplement

Pour chacun des trois bassins versants, les données de repeuplement ont été extraites à savoir, pour chaque année et chaque tronçon, la quantité d'individus déversés au stade de pré-estivaux et estivaux. Ces données ont été regroupées sous forme de carte afin de permettre une meilleure visibilité (figure i).

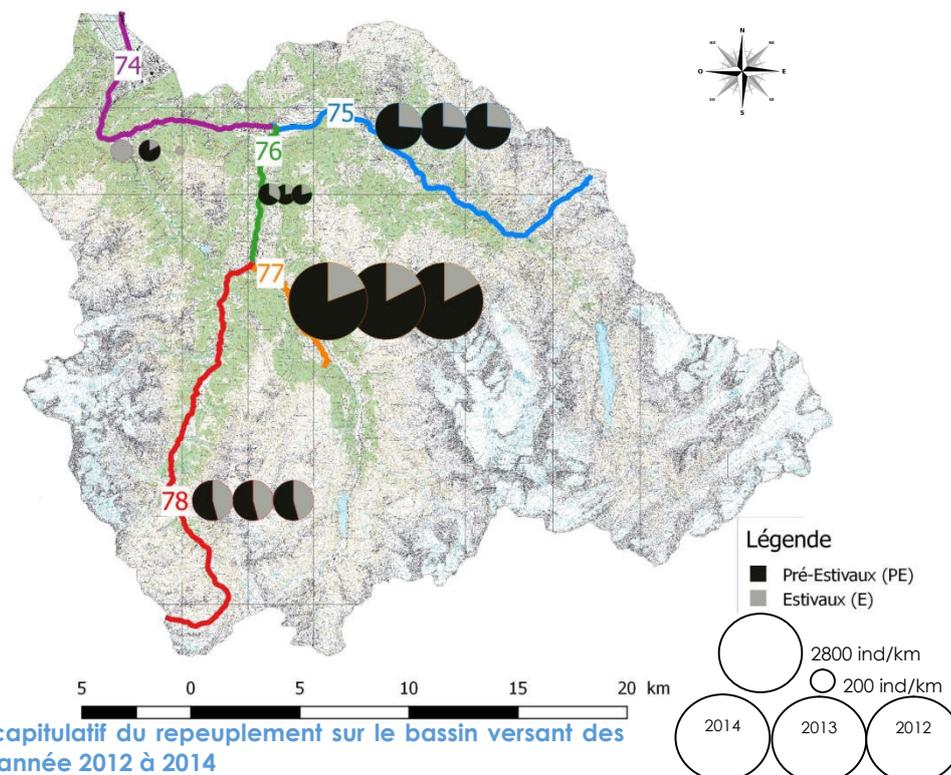
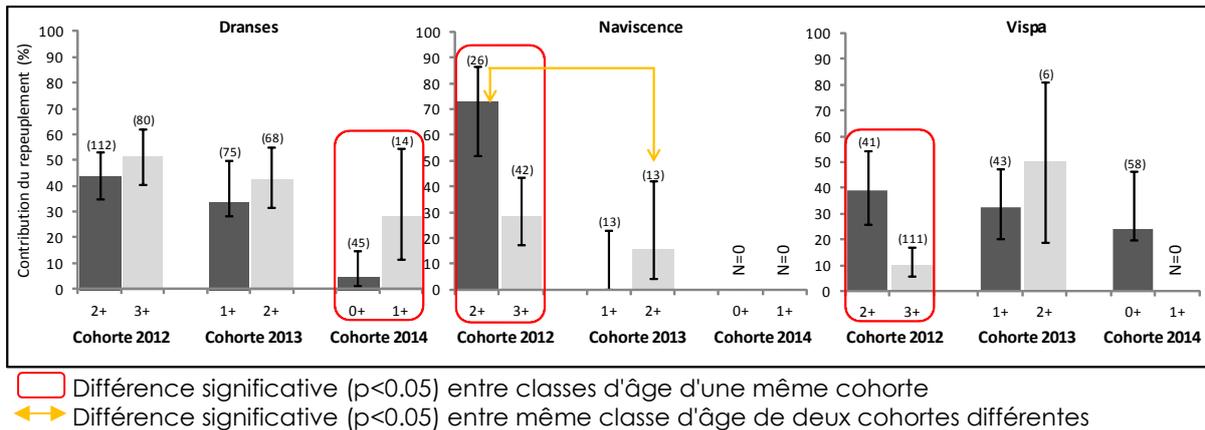


Figure i : Récapitulatif du repeuplement sur le bassin versant des Dranses de l'année 2012 à 2014

1.3.2. Contribution

Il s'agit de comparer la proportion d'individus marqués issus du repeuplement part rapport aux individus non marqués issus du recrutement naturel. Ce calcul a été effectué à deux échelles géographiques (bassin versant et tronçon) en séparant

bien les différentes cohortes ainsi que les deux années de prélèvements afin de ne pas mélanger ou comparer des classes d'individus indépendantes (cohortes ou classes d'âge). Des différences significatives ont ensuite été recherchées à l'aide d'un test statistique (χ^2 : $p_{\text{valeur}}=0.05$). Ce test permet de faire la part des variations qui peuvent être liées à l'échantillonnage (trop peu d'individus prélevés) par rapport à celles qui sont vraiment liées au peuplement en place (figure ii).



 Différence significative ($p < 0.05$) entre classes d'âge d'une même cohorte
↔ Différence significative ($p < 0.05$) entre même classe d'âge de deux cohortes différentes

Figure ii : Contributions du repeuplement par cohorte et classe d'âge échantillonnée pour 3 bassins versants du Valais (Suisse)

1.3.3. Efficacité

Le passage à une notion d'efficacité est ici utilisé pour comparer les résultats obtenus entre les deux stades de déversement. Il s'agit donc de comparer les individus avec une seule marque (pré-estivaux) avec les individus présentant deux marques (estivaux) en s'affranchissant des différences dans les quantités repeuplées. L'IER (Indice d'Efficacité Relative) tiré de l'étude de Caudron et Champigneulle (2009) a donc été utilisé dans ce but. De même que pour les contributions, l'analyse a été menée à deux échelles géographiques et sans mélanger les différentes classes d'âge et les cohortes (figure iii).

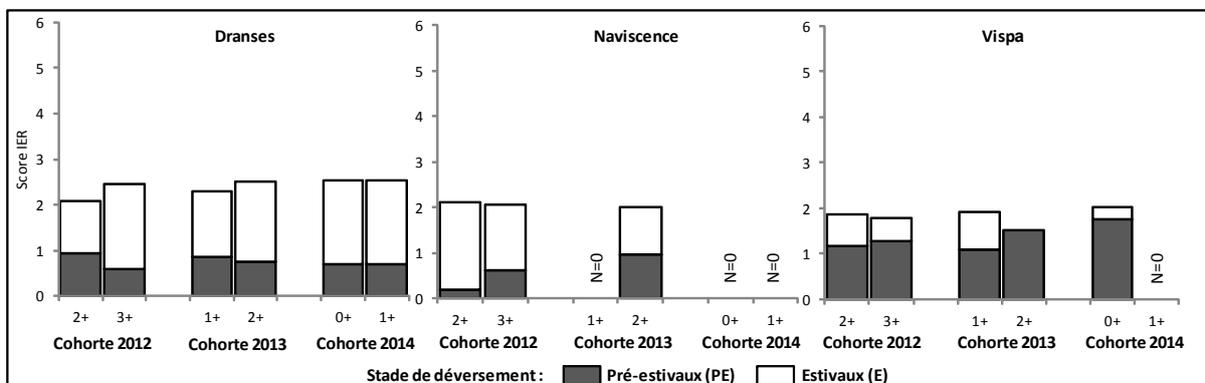


Figure iii : Efficacité du repeuplement par cohorte et classe d'âge échantillonnée pour 3 bassins versants du Valais (Suisse)

1.4. Résultats et discussion

Le résultat majeur de l'étude est que la contribution du repeuplement est, sauf une exception, inférieure à 50%, ce qui signifie que les poissons natifs restent majoritaires dans le peuplement. D'autre part, une population de juvéniles issus du recrutement naturel est présente sur l'ensemble des tronçons. De plus, la contribution du repeuplement diminue au fur et à mesure du vieillissement de chaque cohorte. La part efficace de la population (reproducteurs) est donc à forte majorité composée d'individus natifs.

La part du repeuplement reste tout de même élevée par rapport aux différentes valeurs relevées (44% en moyenne pour les individus 2+) dans la bibliographie et correspondrait à des rivières très anthropisées. L'ensemble des résultats est en conformité avec la bibliographie dont les conclusions majeures sont que la présence d'une forte compétition entre les individus dès les plus jeunes stades chez la truite fario, que ce soit pour l'alimentation ou pour l'habitat, influence grandement le peuplement. Les premiers individus installés sont donc favorisés (natifs) tandis que les poissons déversés entrent en compétition avec des individus ayant déjà leur territoire. Ceci peut être l'explication de la moindre efficacité des estivaux sur le bassin de la Vispa alors que la forte mortalité en début d'alimentation est une cause de moindre efficacité chez les pré-estivaux sur les bassins des Dranses et de la Naviscence.

1.5. Conclusion

La contribution du repeuplement bien qu'importante ne représente pas la part majoritaire du peuplement. De plus cette contribution baisse avec le vieillissement des cohortes, ce qui signifie que la majorité des individus reproducteurs sont issus du recrutement naturel.

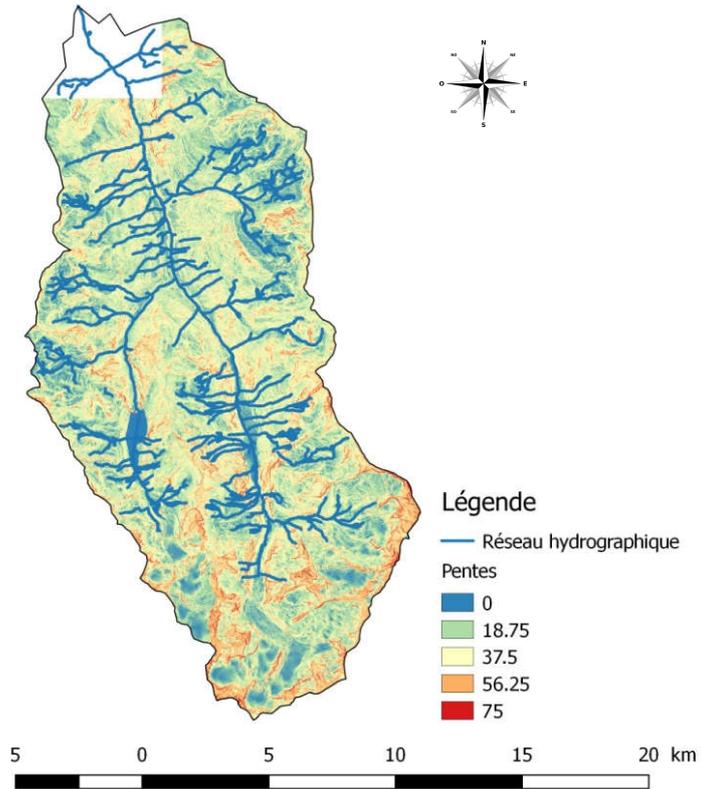
Des différences d'efficacité ont été observées entre les deux stades d'introduction. Il est cependant important de ne pas repeupler en un seul stade de développement mais de garder un repeuplement varié pour éviter l'impact de variations brutales de conditions du milieu.

La présente étude a permis d'atteindre l'ensemble des objectifs fixés par le Canton du Valais qui va pouvoir intégrer ces résultats dans ses prochains plans de repeuplement. Cependant, de nombreux points restent à éclaircir et les perspectives à la suite de cette étude sont multiples.

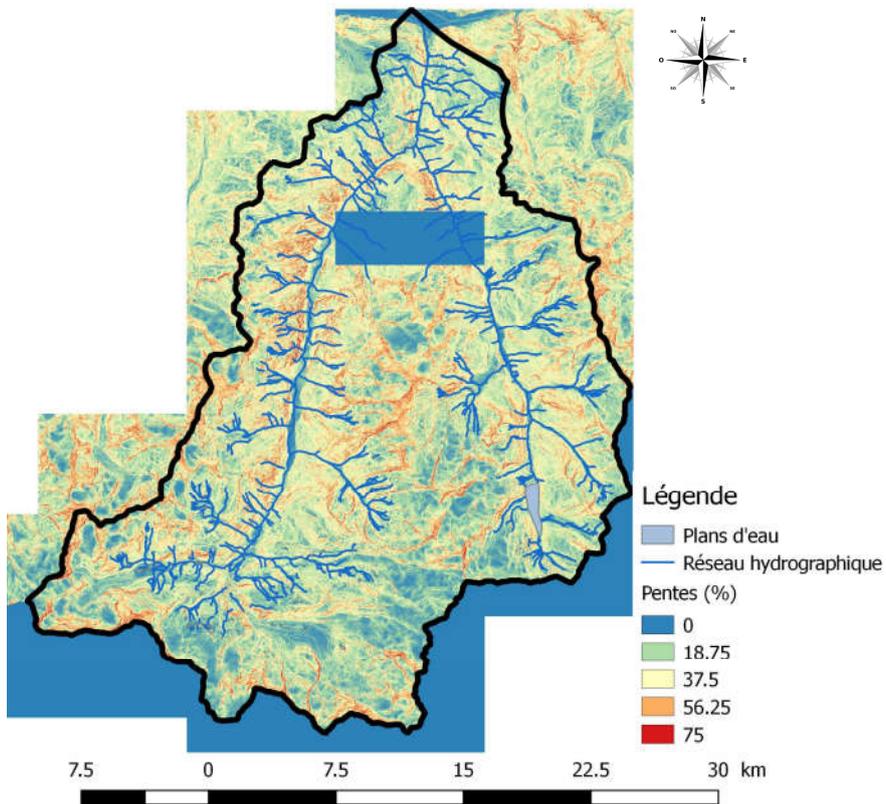
Annexes

Annexe 1 : Carte des pentes sur le bassin versant de la Naviscence	I
Annexe 2 : Carte des pentes sur le bassin versant de la Vispa.....	I
Annexe 3 : Carte d'occupation du sol sur le bassin versant des Dranses	II
Annexe 4 : Carte d'occupation du sol sur le bassin versant de la Naviscence	II
Annexe 5 : Carte d'occupation du sol sur le bassin versant de la Vispa.....	III
Annexe 6 : Fiches méthodologiques pour balnéation d'alizarine à destination des pisciculteurs	III
Annexe 7 : Récapitulatif des marquages effectués dans les 3 piscicultures pour l'étude du repeuplement (Valais)	V
Annexe 8 : Découpage en tronçons de bassin versant de la Naviscence	VI
Annexe 9 : Découpage en tronçons de bassin versant de la Vispa	VI
Annexe 10 : Volet européen	VII

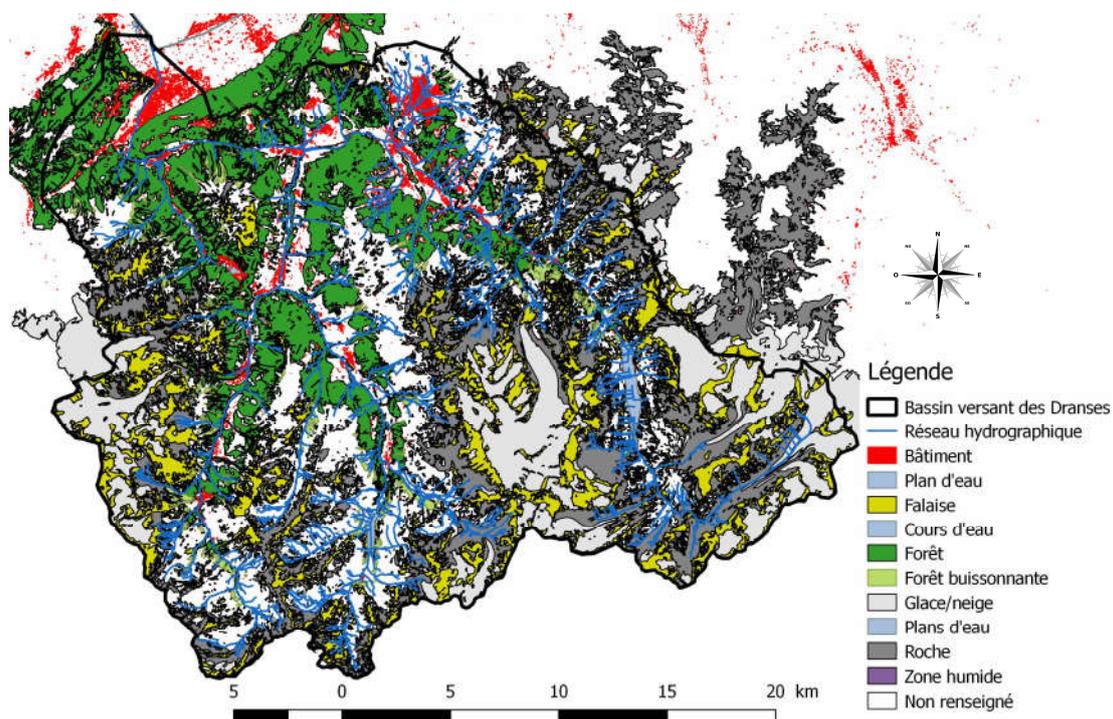
Annexe 1 : Carte des pentes sur le bassin versant de la Navisence



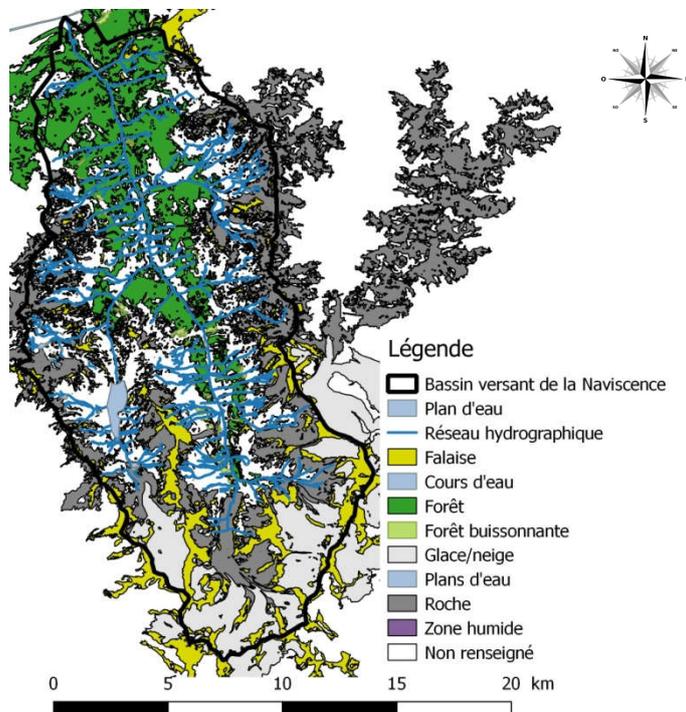
Annexe 2 : Carte des pentes sur le bassin versant de la Vispa



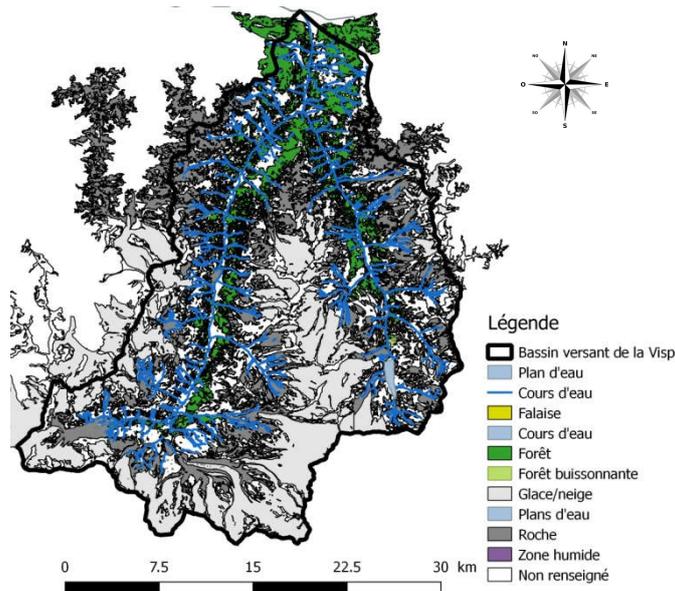
Annexe 3 : Carte d'occupation du sol sur le bassin versant des Dranses



Annexe 4 : Carte d'occupation du sol sur le bassin versant de la Navissance



Annexe 5 : Carte d'occupation du sol sur le bassin versant de la Vispa



Annexe 6 : Fiches méthodologiques pour baignation d'alizarine à destination des pisciculteurs

Méthodologie:

Mode opératoire:

Durée de baignation: 3 heures

Concentration d'Alizarine Red S : 100mg/l, soit 1g/10 litres : 1 bouteille de 25 g convient pour 250 litres

Prescriptions particulières:

- travailler en circuit fermé
- agiter continuellement le mélange en créant un courant d'eau - agitateur - pompe
- garantir la fraîcheur de l'eau entre 2°C et 12°C durant tout le temps de baignation (bac à conserver à l'ombre)
- apport d'oxygène pour le poisson
- limiter le stress des poissons
- adapter nombre de poissons à marquer au volume d'eau du bain

Contrôle du marquage:

- prélever après chaque premier marquage (préestivaux, alevins) un lot témoin de 50 poissons pris au hasard
- prélever après chaque deuxième marquage (estivaux) 20-30 individus pris au hasard
- les lots seront congelés séparément et étiquetés (date lieu, type de marquage, concentration, durée, faits particuliers), puis conservés pour le contrôle témoin

Double marquage

- uniquement sur les estivaux
- à réaliser 100°C/jour après le premier marquage

Opération de marquage :

1) Préparer le bac de baignation

- disposer du volume suffisant pour le nombre de poissons à marquer
- adapter et mesurer le volume d'eau
- prendre l'eau de la pisciculture en tête de bassin (pour éviter stress du choc thermique ou changement de qualité d'eau)
- mesurer la température de l'eau et surveiller cette température durant toute la baignation

2) Préparer l'apport d'oxygène (diffuseur et bouteille)

- apport d'oxygène en permanence et en suffisance, surveiller l'apport durant toute la baignation

3) Préparer le système de brassage par courant d'eau

- pompage et rejet en circuit fermé) : objectif homogénéiser le mélange
- tester que le système de mélangeur soit fonctionnel et ne présente aucun risque pour le poisson
- prévoir crépine très fine pour la zone de pompage
- vérifier que l'eau est bien mélangée durant toute la baignation

4) Préparation du mélange eau-alizarine

- préparer le dosage d'Alizarine Red S en fonction du volume d'eau nécessaire selon nombre de poissons à marquer

- mélanger la totalité de l'Alizarine dans 10 litres d'eau (comprise dans le volume) et bien
brasser
- verser les 10 litres d'eau dans le bac de balnéation
- bien brasser l'ensemble du bain avec des bois, contrôler l'homogénéité du mélange
jusqu'à l'arrivée des poissons
- vérifier une nouvelle fois (système de brassage par courant d'eau, température,
oxygène...)

5) Préparer les poissons et marquage

- noter l'âge en jour depuis l'éclosion des poissons à marquer et la mesure moyenne des
poissons poids et longueur
- évaluer par comptage/calibration le nombre de poissons marqués
- introduire les poissons dans le bac durant trois heures (noter heure de départ et de fin
de l'opération)
- surveiller le comportement du poisson durant toute la durée de la balnéation
- surveiller oxygénation et brassage de l'eau
- prévoir plus de poissons que le nombre à mettre dans le plan pour tenir compte de la
mortalité jusqu'à l'immersion
- pour le double marquage : prévoir suffisamment de poissons pour disposer des poissons
nécessaires au deuxième marquage
- surveiller le comportement et noter tout cas de mortalité anormal
- dès la fin des 3 heures de balnéation, sortir les poissons et les remettre en bassin
(attention choc thermique éventuel)
- prélever les lots témoins : remplir fiche (date, lieu, température, nombre, concentration,
volume d'eau du bain etc...)
- dès la fin des 3 heures de balnéation, sortir les poissons et les remettre en bassin
(attention choc thermique éventuel)
- noter les bassins contenant du poisson marqué et suivre attentivement le lot de poissons
marqués

6) Mise à l'eau des poissons marqués selon le plan:

- préparer à l'avance les cartes au 1 : 10'000 du cours d'eau à rempoissonner
- vérifier et contrôler qu'il s'agit bien du lot des poissons marqués, calibrer et compter le
nombre de poissons à immerger
- prélever un lot de 10 poissons choisis au hasard (avant l'immersion en rivière) et
conserver comme lot témoin. A étiquetter.
- avant immersion vérifier que les conditions physiologiques et facteurs
environnementaux soient optimaux
- noter tout événement particuliers pouvant avoir une influence sur le résultat (mortalité
durant transport, autre)
- **représenter sur une carte au 1 : 10'000 chaque point de mise à l'eau et le
nombre de poissons déversés.**

6) Vidange du bac :

- l'Alizarine à une pouvoir colorant très fort, mais ne présente pas de risque pour
l'environnement.
- l'eau du bain sera déversée progressivement dans le Rhône et non pas dans les cours
d'eau de moindre taille.

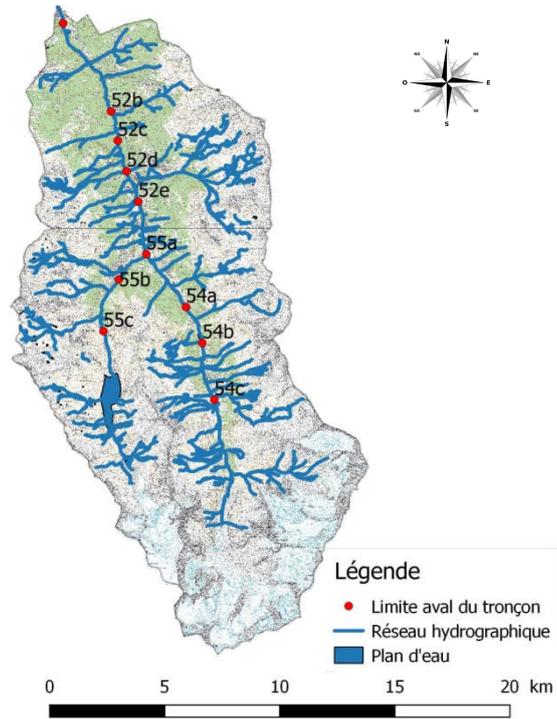
TRAVAILLER AVEC SERIEUX ET RIGUEUR, TOUT NOTER ET CONSERVER DOCUMENTS ET
ECHANTILLONS
REPRODUIRE ET SUIVRE STRICTEMENT LE PROTOCOLE DANS TOUS LES MARQUAGES

Service de la chasse, de la pêche et de la faune du canton du Valais
Rue de l'Industrie 29, CP 405
CH- 1951 Sion

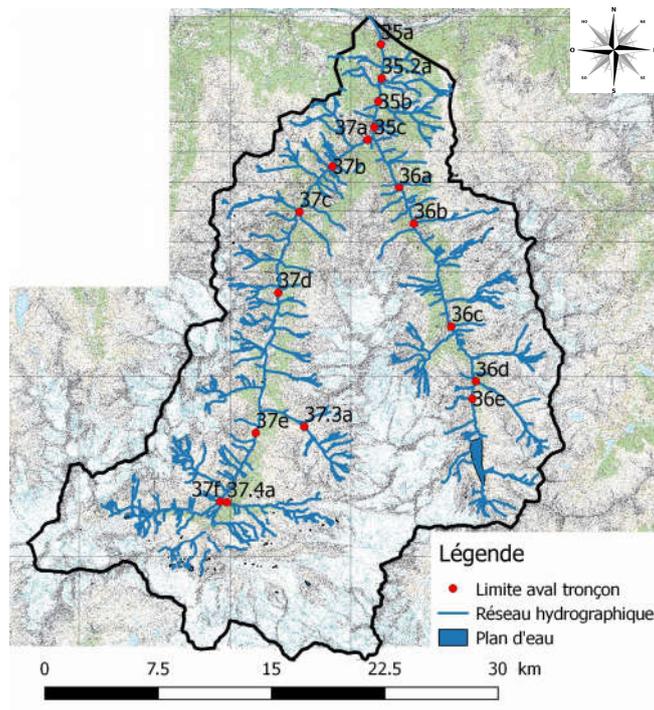
Annexe 7 : Récapitulatif des marquages effectués dans les 3 piscicultures pour l'étude du repeuplement (Valais)

Section/ Sektion	Date/ Datum	Age / Alter	Stade de développement	Quantité/ Menge		Dosage/ Dosierung		Remarques Bemerkungen
				pce/Stück	poids/Gewicht	g produit/Produkt	l eau/Wasser	
Entremont	04/05/2012	30 jours après l'éclosion	Pré-Estivaux	42 750	2250 pce/kg	37.5	375	
Entremont	04/05/2012	30 jours après l'éclosion	Pré-Estivaux	48 375	2250 pce/kg	37.5	375	
Sierre	11/05/2012	40 jours après l'éclosion	Pré-Estivaux	15 000	5680 pce/kg	25	250	Prélèvement d'un lot témoin
Entremont	31/05/2012	90 jours après l'éclosion	Estivaux	30 000	1380 pce/kg	37.5	375	
Sierre	05/06/2012	300 j.C° après le 11.5	Estivaux	6 500	2514 pce/kg	25	250	Prélèvement d'un lot témoin
Visp	22/06/2012	ca. 30 jours après résorption	Pré-Estivaux	68 870	3333 St./kg	37.5	375	Prélèvement d'un lot témoin
Visp	22/06/2012	ca. 30 jours après résorption	Pré-Estivaux	70 000	3333 St./kg	37.5	375	Prélèvement d'un lot témoin
Visp	02/08/2012	300 T.C° après le 22.6	Estivaux	15 536	1470 St./kg	37.5	375	
Visp	25/03/2013	ca. 20 jours après résorption	Pré-Estivaux	128 150	2777 St./kg	2*37.5	2*375	Prélèvement d'un lot témoin
Entremont	17/05/2013	40 jours après l'éclosion	Pré-Estivaux	120 000	2350 pce/kg	2*37.5	2*375	
Sierre	24/05/2013	86 jours après résorption	Pré-Estivaux	15 000	3012 pce./kg	25	250	Prélèvement d'un lot témoin
Sierre	20/06/2013	260 T. C° après le 24.5	Estivaux	7 000	2200 pce./kg	25	250	
Entremont	26/06/2013	300 j.C° après le 17.5	Estivaux	30 000	1400 pce/kg	37.5	375	Prélèvement d'un lot témoin
Visp	14/06/2013	500 T C° après le 25.3	Estivaux	70 000	1150 St./kg	37.5	375	
Visp	16/05/2014	43 jours après résorption	Pré-Estivaux	102 555	1106 St./kg	3*3.75	3*375	Prélèvement d'un lot témoin
Sierre	20/05/2014	54 jours après resorption	Pré-Estivaux	15 000	3846 pce/kg	3.75	375	Prélèvement d'un lot témoin
Entremont	28/05/2014	40 jours après resorption	Pré-Estivaux	60 000	2100 pce/kg	3.75	375	
Sierre	01/07/2014	env. 600 j. C° après le 20.5	Estivaux	5000	1000 pce/kg	3.75	375	
Entremont	16/07/2014	24.3 résorbé	Estivaux	30000	1100 pce./kg	3.75	375	Prélèvement d'un lot témoin
Visp	17/07/2014	134 jours après l'éclosion	Estivaux	33000	625 St./kg	3.75	375	Prélèvement d'un lot témoin

Annexe 8 : Découpage en tronçons de bassin versant de la Naviscence



Annexe 9 : Découpage en tronçons de bassin versant de la Vispa



Annexe 10 : Volet européen

En Europe, la problématique du repeuplement et de ses impacts est très répandue. Le marquage à l'alizarine est une méthode de suivi très adaptée à ces problématiques et éprouvée par les scientifiques et les gestionnaires. Cependant, si l'on recherche uniquement les suivis effectués sur les truites fario, il reste alors très peu de cas d'utilisation concrète de gestion.

Première étude

En Allemagne, J. BAER et R. RÖSCH (2008) ont publié une étude sur un bassin versant du Sud du pays qui a été menée sur 2 ans pour analyser les cohortes 2002 et 2003.

L'objectif visé par cette étude est cependant légèrement différent. En effet, il s'agit d'une recherche du taux de survie des juvéniles introduits dans les 60 à 80 jours suivant leur déversement ainsi que leur contribution dans le peuplement.

Ce site ne semble pas présenter de pression anthropique particulière, il ne contient que des petites villes et une agriculture expansive. Les régimes thermiques et hydrologiques se rapprochent ici d'un cours d'eau pluviaux-nival. Ainsi, la nécessité du repeuplement est justifiée par une forte prédation par des oiseaux (Cormorans notamment).

Ces deux auteurs utilisent la même méthode avec usage de l'alizarine red S dans le but d'effectuer un marquage de masse sur des alevins de truites fario de pisciculture avant leur déversement en rivière. Les concentrations en fluoromarqueur dans les bains sont identiques mais appuyées par un choc osmotique. Durant la balnéation, les larves de truites sont placées dans une solution à 10g/L de NaCl.

Les résultats majeurs sont :

- Entre 4,8 et 8,9 % de contribution du repeuplement dans les truitelles de l'année,
- Absence de truitelles de l'année marquées en dehors des zones de déversement,
- Pas de différence de croissance (taille et poids) entre les individus natifs et déversés,

- Différence significative de croissance entre les deux années de prélèvement (constatée également sur d'autres espèces du fait d'un été plus chaud),
- Densité de truitelles identique dans les zones avec ou sans repeuplement.

La différence de contribution entre les deux cohortes est assimilée à une plus forte prédation ainsi qu'une plus forte compétition du fait d'une plus grande densité de truitelles sauvages entre les deux années de prélèvement comme décrit respectivement dans les publications de Henderson et Letcher (2003), Kelly-Quinn et Bracken (1989) et Berg et Jørgensen (1991). La compétition pour le territoire est également bien décrite dans la bibliographie (Elliott (1994) ; Johnsson et al. (1999)). Ces hypothèses sont préférées par les auteurs car les deux sites d'études n'ont pas subi de crues dont l'effet sur les truitelles est largement connu (Daufresne et al. (2005)).

Cette étude conclut donc en montrant qu'un repeuplement sur cette rivière n'est pas bénéfique du fait d'une reproduction naturelle abondante et constante.

Par rapport à l'étude dirigée par le Canton du Valais, la possibilité de calculer les densités de truites grâce à un échantillonnage plus complet et précis sur de plus petites portions de rivières en se concentrant sur une seule classe d'âge est un net avantage. Cela permet une meilleure interprétation des résultats et une conclusion sur l'efficacité du repeuplement bien plus étayée.

Si l'on compare les résultats des deux études, la contribution du repeuplement est très largement supérieure dans le canton du Valais. Malheureusement, les contributions dans les classes d'âge 0+ n'ont pas pu être calculées dans notre étude du fait d'un trop faible échantillonnage. Cependant, d'après la littérature, la contribution du repeuplement est toujours décroissante au fur et à mesure de la vieillissement des classes d'âge (Caudron et Chanpigneule (2006)). De plus, une chute importante apparaît entre les 0+ et les 1+.

La comparaison des individus dévalants est impossible car ces individus font partie de classes d'âge plus âgées.

Deuxième étude

Une autre publication pouvant être utilisée dans des études complémentaires à celle effectuée dans le canton du Valais, il s'agit du travail de Unfer et Pinter (2013). Ces auteurs se sont investis pour adapter la méthode de fluoromarquage à l'alizarine

à des stades plus précoces ("eyed eggs" : œufs œillés). Le but du développement de cette méthode est de correspondre aux repeuplements qui sont effectués en Autriche avec ces stades de développement.

Le marquage a été concluant avec une concentration en alizarine de 500mg/L qui présente une marque nette et un taux de mortalité faible. Le développement de cette méthode va sûrement donner lieu à des études similaires à celles menées dans le Canton du Valais afin d'évaluer la contribution et l'efficacité du repeuplement. Il sera donc intéressant d'étudier les suites données à cette étude afin d'avoir un nouveau point de comparaison et peut être envisager le test d'un repeuplement incluant un nouveau stade de développement. En effet, les cours d'eau qu'étudient les auteurs ont une forte influence glaciaire comme ceux qui ont été étudiés dans ce rapport. L'avantage de ce stade est une arrivée encore plus tôt dans le milieu, avantage qui a déjà été prouvé. Un autre intérêt de cette arrivée précoce est une bonne survie lors des crues engendrées par la fonte des neiges et de glace car du fait de leur petite taille les juvéniles sont encore en capacité de rester protégés dans les sédiments.

Outre l'avantage qui pourrait être tiré de l'intégration de ce stade de développement dans les plans de repeuplement, le développement de cette méthode permet aussi d'envisager un marquage supplémentaire lors des multi-marquage. Cela pourrait être très intéressant pour certaines problématique telles que l'étude du mouvement des poissons.