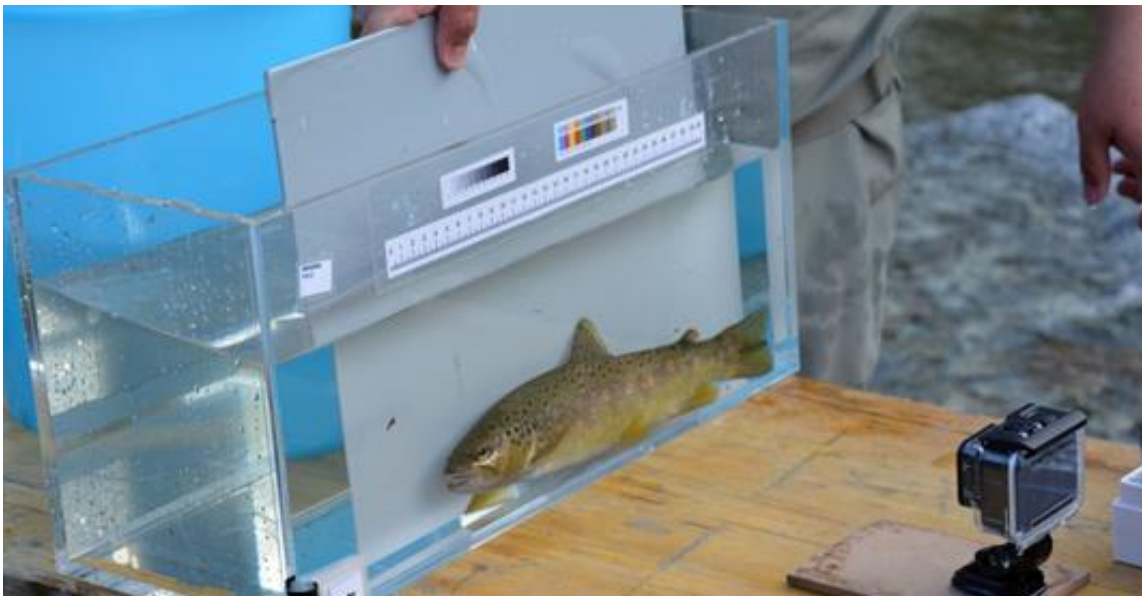
Certificate of Advanced Studies (CAS)

Poissons d'eau douce d'Europe – Ecologie et Gestion

Caractérisation génétique des truites de rivière du Canton du Tessin



Travail de certificat de Christophe Molina

Superviseur :

Jean-François Rubin

Directeur de la Maison de la Rivière

Expert externe :

Pascal Vonlanthen

Gérant Aquabios Sàrl

Décembre 2019

La Maison de la Rivière

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

Hes·so GENÈVE
Haute Ecole Spécialisée de Suisse occidentale

Remerciements

Je remercie le Canton du Tessin pour avoir financé la présente étude et le Service de la chasse et de la pêche pour avoir mis à disposition les ressources humaines et le matériel pour effectuer l'échantillonnage.

Merci à Thomas Kreienbühl et Pascal Vonlanthen, qui ont réalisé l'analyse génétique, pour leur suivi lors de la rédaction du rapport et m'avoir fourni les échantillons de référence de la souche atlantique.

Je remercie Jean François Rubin, Giorgio Leoni, Danilo Foresti et Tiziano Putelli d'avoir cru en ce projet et de m'avoir donné l'opportunité de le réaliser.

Ma gratitude va à Alessia Coduri, Alex Ambrosini, Athos Conti, Claudio Mondelli, Cristian Agostini, Curzio Lotti, Fabio Croci, Fabrizio Maestrani, Fernando Foresti, Flavio Nollo, Giorgio Bonomi, Jonathan Molina, Luca Brugali, Luca Lorenzetti, Massimo Gaggetta, Matteo Gaggetta, Matteo Inselmini, Mattia Kuzmic, Maurilio Garbani-Nerini, Maurizio Costa, Maurizio Genasci, Michele Ferrario, Michele Minoretti, Michele Pasci, Nevio Consoli, Patrick Fumagalli, Patrik Arnold, Renato Cellerino, Renzo Gianinazzi, Silverio Manenti, Siro Gianella, Stefano Beltrami et Thomas Romanski pour m'avoir aidé lors des campagnes d'échantillonnage.

Merci encore à Diego Dagani (OFEV) pour ses précieux conseils et pour m'avoir fourni les échantillons de truite marbrée de référence, ainsi qu'à Pietro Volta (CNR Pallanza) pour les échantillons de truite marbrée du Toce et Paolo Lo Conte (Institut Città metropolitana de Turin) pour les échantillons de référence de la truite adriatique du Pellice.

Ma tante, Claudine Salamin, a relu le document du point de vue de la langue, ce dont je lui suis reconnaissant.

Enfin, je tiens à remercier les sociétés de pêche locales pour leur précieuse collaboration.

Table des matières

1 Introduction 1
1.1 Objectifs 4
2 Matériel et méthode 6
2.1 Région d'étude 6
2.2 Échantillonnage 8
2.3 Laboratoire 11
2.4 Analyses statistiques 12
3 Résultats 13
3.1 Différence génétique entre les sites d'échantillonnage 13
3.2 Les truites des exploitations piscicoles utilisées pour le repeuplement sont-elles appropriées pour une gestion durable ? 15
3.2.1 Alta Leventina 16
3.2.2 Leventinese 17
3.2.3 Bleniese 18
3.2.4 Bellinzonese 19
3.2.5 Moesano 21
3.2.6 Verzaschese 22
3.2.7 Valmaggese 23
3.2.8 Locarnese 24
3.2.9 Ceresiana 25
4 Discussion 27
4.1.1 *Salmo marmoratus* et *Salmo cenerinus* peuplent-elles encore les rivières du Tessin ? 27
4.1.2 Les truites de pisciculture contribuent-elles au maintien des populations de rivière ? 27
4.2 Alta Leventina 28
4.3 Leventinese 30
4.4 Bleniese 31
4.5 Bellinzonese 32

4.6 Moesano 35
4.7 Verzaschese 35
4.8 Valmaggese 36
4.9 Locarnese 38
4.10 Ceresiana 39
5 Conclusion 41
6 Bibliographie 45
7 Annexe 48
7.1 Glossaire 48
7.2 Les truites en Suisse 51
7.3 Zones de distribution de matériel piscicole des différentes pisciculture 57
7.3.1 Alta Leventina 57
7.3.2 Leventinese 58
7.3.3 Bleniese 59
7.3.4 Bellinzonese 60
7.3.5 Moesano 61
7.3.6 Verzaschese 62
7.3.7 Valmaggese 63
7.3.8 Locarnese 64
7.3.9 Ceresiana 65
7.4 Analyse de base 66
7.5 Tableau F_{ST} 67

Tables des illustrations

Figure 1 : diversité de truites en Suisse. FIBER 1

Figure 2: sous bassin versant du canton du Tessin 5

Figure 3 : carte du canton Tessin avec sites d'échantillonnage et districts de distribution de matériel piscicole des différentes pisciculture 7

Figure 5 : échantillonnage effectué par le Service de la chasse et de la pêche 8

Figure 6 : table de travail sur le terrain 8

Figure 7 : truite fario 10

Figure 8 : tableau récapitulatif de l'échantillonnage 11

Figure 9 : différenciation génétique (F_{ST}) 14

Figure 10 : différenciation génétique (F_{st}) sans échantillons de référence 14

Figure 11 : tableau F_{ST} Alta Leventina 16

Figure 12 : graphique STRUCTURE Alta Leventina 17

Figure 13 : tableau F_{ST} Leventinese 17

Figure 14: graphique STRUCTURE Leventinese 18

Figure 15: tableau F_{ST} Bleniese 18

Figure 16 : graphique STRUCTURE Bleniese 19

Figure 17: tableau F_{ST} Bellinzonese 20

Figure 18 : graphique STRUCTURE Bellinzonese 20

Figure 19: tableau F_{ST} Moesano 21

Figure 20 : graphique STRUCTURE Moesano 21

Figure 21 : tableau F_{ST} Verzaschese 22

Figure 22 : graphique STRUCTURE Verzaschese 22

Figure 23: tableau F_{ST} Valmaggese 23

Figure 24 : graphique STRUCTURE Valmaggese 24

Figure 25 : tableau F_{ST} Locarnese 24

Figure 26 : graphique STRUCTURE Locarnese 25

Figure 27: tableau F_{ST} Ceresiana 25

Figure 28 : graphique STRUCTURE Ceresiana 26

Figure 29 : hybride de truite marbré présent dans la pisciculture de Gorduno 34

Figure 30: truite de pisciculture retrouvé dans la rivière 37

Figure 31: truite marbrée en haut et hybride fario-marbré en bas 42

Figure 32: Salmo cenerinus, Tessin 2019, Christophe Molina 52

Figure 33: Salmo labrax, Kottelat 2007 53

Figure 34: Salmo marmoratus, Tessin 2019, Christophe Molina 54

Figure 35: Salmo rhodanensi, Kottelat 2007 55

Figure 36: Salmo trutta, Tessin 2019, Christophe Molina 56

Résumé

Suite à des rempoissonnements répétés et intensifs par des stocks de truites non indigènes, les cours d'eau du Tessin ont vu leurs populations sauvages de truites indigènes disparaître progressivement. Les stocks de reproducteurs artificiels ont été renouvelés dans les années 1990 et, depuis, l'importation de poissons provenant d'autres régions biogéographiques est interdite. Toutefois, la mise à l'eau de poissons juvéniles de truites atlantiques originaires des pisciculture tessinoises se poursuit en abondance.

Cette étude a été réalisée dans le but de déterminer s'il existe des différences génétiques entre les diverses truites des différents cours d'eau et d'évaluer si les truites d'élevage utilisées aujourd'hui sont adaptées aux pratiques de repeuplement. 40 populations sauvages, 12 stocks distincts de pisciculture et 4 populations de référence ont été analysées à l'aide de 12 loci nucléaires non codants (microsatellites).

Les analyses ont montré que 98% des populations se distinguent génétiquement les unes des autres de manière significative. Observation importante : la plupart des individus échantillonnés dans la rivière Melezza appartiennent à l'espèce originaire du bassin versant du Tessin, soit de la truite marbrée (*Salmo marmoratus*). Toutefois, la souche trouvée dans la Melezza n'est pas pure génétiquement. En effet, elle montre un certain taux d'introgression avec la truite atlantique (*Salmo trutta*). Ce résultat est intéressant du point de vue de la conservation, car il s'agit de la seule population montrant un degré élevé d'appartenance à *Salmo marmoratus,* retrouvé dans la totalité des cours d'eau du canton du Tessin. La seule autre exception est représentée par quelques individus de la Rovana, qui appartiennent apparemment à la truite adriatique (*Salmo cenerinus*).

Les truites des pisciculture se sont globalement révélées inadaptées aux pratiques de repeuplement, car elles sont très différentes génétiquement des populations trouvées dans les rivières. Dans un seul cas (la pisciculture de Cama-GR), les truites correspondent génétiquement à la population trouvée en rivière, et peuvent ainsi être considérée comme génétiquement appropriées pour un rempoissonnement des rivières du bassin versant.

Mise à part les propriétés génétiques des truites tessinoises, les résultats remettent également en question le succès des truites mises à l'eau dans la plupart des rivières

cantonales. En effet, si de tels déversements étaient couronnés de succès, les différences génétiques entre pisciculture et rivières devraient être minces voire inexistantes.

Du point de vue de la conservation, dans la mesure du possible, ces souches ancestrales devraient être préservées et promues. Nous conseillons donc au Service de la chasse et de la pêche, qui gère les pisciculture, de revoir la stratégie de rempoissonnement dans le canton du Tessin. Nous proposons de suspendre le repeuplement par la truite de souche atlantique et de démarrer un programme de réintroduction des espèces de truites indigènes. *La rivière* Melezza semblerait posséder une population de Salmo marmoratus qui pourrait être utilisée à ces fins. *Salmo cenerinus* pourrait être réintroduit à partir des individus les plus proches génétiquement et géographiquement.

D'un point de vue de la gestion de la pêche et des pêcheurs il semble possible de diminuer l'alevinage dans certains cours d'eau pour lesquels le rempoissonnement ne semble pas fonctionner. De plus, je conseille d'utiliser des poissons issus des rivières locales en tant que géniteurs, car ceux utilisés aujourd'hui dans les pisciculture sont mal adaptés et ne survivent apparemment pas bien. Pour les rivières dans lesquelles l'alevinage est maintenu, je recommande donc de renouveler régulièrement l'intégralité les stocks de géniteurs avec des poissons capturé directement dans les rivières et d'effectuer un suivi d'efficacité après chaque action de rempoissonnement.

Mots-clés : génétique, microsatellites, truite, rempoissonnement, gestion durable, *Salmo trutta*, *Salmo marmoratus*, *Salmo cenernius*

1 Introduction

L'étude des communautés animales qui peuplent les milieux aquatiques est essentielle car elle permet l'acquisition de données nécessaires à leur bonne gestion et d'émettre un avis sur la qualité et la fonctionnalité du système aquatique (Pizzul *et al.*, 2003).

La Suisse est souvent qualifiée de réservoir d'eau de l'Europe : une multitude de torrents prennent leur source dans les Alpes suisses, puis se transforment en rivières et en fleuves qui se déversent finalement dans les mers d'Europe. Le Rhin coule vers la mer du Nord (Atlantique), tandis que le Rhône et le Doubs vont se jeter dans la Méditerranée. L'Inn conflue avec le Danube avant de rejoindre les eaux de la mer Noire. Les cours d'eau du Tessin ainsi que quelques-uns des vallées méridionales du Valais et des Grisons aboutissent quant à eux à l'Adriatique via le Pô ou l'Adige. Du fait de ces spécificités hydro-géographiques, certaines régions du pays abritaient à l'origine des espèces distinctes de truites : la truite atlantique (*Salmo trutta*) peuplait ainsi les bassins du Rhin et du Rhône valaisan, alors que la truite du Doubs ou truite zébrée (*Salmo rhodanensis*) se rencontrait dans la partie jurassienne du bassin du Rhône. La truite danubienne (*Salmo labrax*) était typique du bassin du Danube. Pas moins

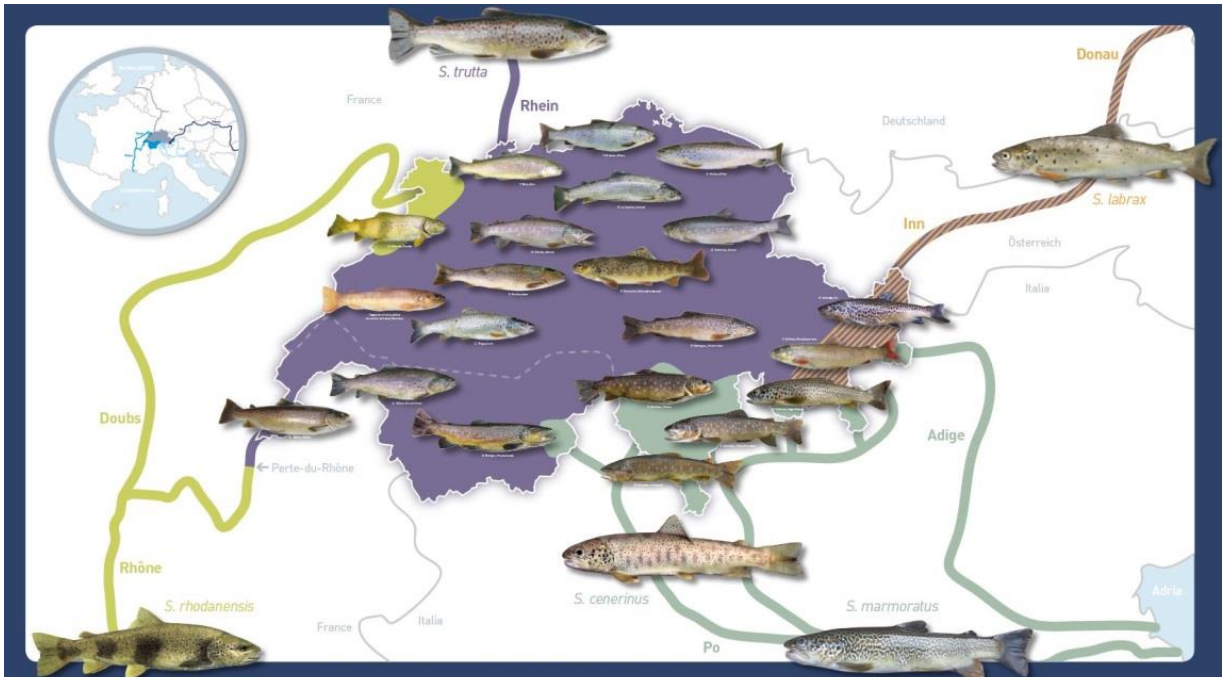


Figure 1 : diversité de truites en Suisse. FIBER

de deux espèces, la truite adriatique (*Salmo cenerinus*) et la truite marbrée (*Salmo marmoratus*), ont été décrites dans les bassins du Pô et de l'Adige. Les espèces énumérées ci-

dessus sont apparues il y a 0.5 à 2 millions d'années. Pendant la longue période qui a suivi, l'Europe a traversé plusieurs glaciations (Fiber, 2015).

En Suisse, la truite est donc présente sous la forme de cinq lignées évolutives génétiquement distinctes qui doivent, en termes de gestion, être considérées comme des espèces à part entière (Kottelat *et al*., 2007, OLFP depuis la révision du 1.1.2017).

L'introduction d'espèces non indigènes au bassin versant, associée à des activités anthropiques telles que la pollution, la destruction des habitats naturels, la construction de barrages pour produire de l'énergie hydroélectrique et la pêche ont provoqué le déclin de nombreuses populations de truites En ce qui concerne l'intégrité génétique des populations locales, la menace principale réside dans l'introduction par le biais du repeuplement d'espèces et de populations étrangères à la région, qui présentent un génome différent des populations autochtones. Le résultat de ce phénomène est l'introgression du « pool génétique » de la population locale et, au fil des générations, la formation de populations essentiellement composées par des hybrides (Leary *et al*., 1995; Ryman *et al*., 1995; Huxel, 1999; Poteaux *et al*., 2000; Allendorf *et al*., 2001; Lucarda, 2007). Cela n'est pas exempt de conséquences au niveau des performances des populations sauvages de poissons, car il a été démontré que l'introgression génétique de poissons peut engendrer une perte de fitness, par exemple des descendants moins nombreux ou moins fertiles (Araki *et al*., 2007).

La loi fédérale du 21 juin 1991 sur la pêche (LFSP, 923.0) a pour but de préserver et de protéger les espèces, races et variétés de poissons indigènes ainsi que leurs biotopes. Elle exige que l'introduction d'espèces, races ou variétés étrangères à la région soit soumise à une autorisation de la Confédération (art. 6, al. 1, LFSP). Selon l'ordonnance du 24 novembre 1993 relative à la loi fédérale sur la pêche (OLFP; RS 923.01), sont notamment considérés comme étrangers à la région, les poissons qui ne sont pas suffisamment proches génétiquement des populations du lieu d'introduction (art. 6, al. 2, let. c, OLFP). Le transfert de poissons entre les grands bassins versants naturels définis à l'annexe 1 OLFP (Rhin, Rhône, Doubs, Tessin, Inn) est soumis à autorisation selon l'art. 6 LFSP. En revanche, le repeuplement par des poissons indigènes ne nécessite pas d'autorisation fédérale au sens de la LFSP lorsque le lieu de mise à l'eau appartient au même bassin versant que le lieu d'origine (art. 8, al. 2, let. a, OLFP). Le rempoissonnement des eaux exploitées pour la pêche relève de la compétence des Cantons (art. 3, al. 2, LFSP). Dans une optique de gestion durable des effectifs, les Cantons peuvent

édicter des prescriptions relatives à l'introduction lorsque cela s'avère nécessaire pour la conservation de races locales ou pour le maintien à long terme de l'exploitation piscicole (art. 8, al. 3, OLFP). À l'intérieur des grands bassins versants indiqués dans l'annexe 1 OLFP, les cantons doivent donc définir des unités de gestion plus petites afin de garantir la conservation des adaptations locales et de la diversité génétique.

Au Tessin, selon la loi cantonale du 26 juin 1996 sur la pêche et la protection des poissons et écrevisses indigènes (LCP ; 923.100), chaque action de repeuplement nécessite une autorisation du Service de la chasse et de la pêche (art. 23, LCP). Celui-ci doit, chaque année, proposer un plan de repeuplement sur la base des recensements piscicoles (pêches électriques) et de la statistique de pêche et émettre des directives pour les pisciculture qui pratiquent le rempoissonnement (art. 24, Règlement d'application de la LCP, RALCP). Le repeuplement des cours d'eau est géré par l'administration cantonale qui délègue aux sociétés de pêche locales la mise à l'eau des poissons de pisciculture.

Durant le siècle dernier, des truites de souche atlantique ont été introduites en masse en raison des requêtes de rempoissonnement. Cette espèce est aujourd'hui la plus fréquente sur tout le territoire suisse et elle représente une menace pour le truites autochtones (Largiader *et al., 1995)*.

Au cours des dernières décennies, il est devenu de plus en plus évident que le recours à des interventions ne respectant pas des modèles de gestion selon la loi fédérale, le plus souvent limitées au rempoissonnement massif, engendre toutes sortes de modifications dans l'équilibre de l'écosystème aquatique et représente aussi un gaspillage économique (Pizzul *et al*., 2003).

Durant les dernières années, les pratiques de repeuplement de certains cantons ont fortement évolué et elles sont désormais orientées vers une approche plus qualitative, axée sur l'intégrité génétique des populations sauvages et le maintien de leur capacité d'adaptation (OFEV, 2018). Ce changement de paradigme s'explique notamment par les progrès scientifiques réalisés en matière d'analyse génétique et, surtout, parce que l'on voit souvent que l'alevinage ne marche pas. Grâce à de nouvelles technologies, la structure génétique fine de chaque population peut être identifiée et l'effet du repeuplement mesuré (Vonlanthen *et al*., 2016).

À l'échelle nationale plusieurs travaux ont été réalisés sur la truite. L'Institut fédéral suisse des sciences et technologies de l'eau (EAWAG) et l'Université de Berne ont étudié trente populations provenant de neuf cours d'eau suisses : un échantillon de 850 individus issus des bassins versants du Rhin, du Rhône et du Pô. Les analyses ont révélé que, au niveau national, les populations de truites suisses peuvent encore être distinguées et cela malgré les nombreux mélanges de populations survenus au fil des décennies per le biais du repeuplement, qui a affecté l'intégrité génétique des souches originelles, sans toutefois éradiquer totalement les populations de truites natives (Vonlanthen et al., 2016).

À l'échelle régionale dans le cadre du *Progetto fiumi*, 722 truites issues de 23 populations des bassins versants du Rhin alpin, de l'Inn, du Poschiavino et du Tessin ont été analysées pour étudier la diversité génétique et phénotypique et caractériser les rapports entre ces deux types de diversité (Vonlanthen et al., 2016).

À l'échelle locale, 384 truites de la rivière Tessin ont été étudiées afin d'évaluer dans quelle mesure les populations natives de salmonidés subsistent aujourd'hui dans cette rivière. Les résultats montrent que la truite marbrée et la truite adriatique ont presque totalement disparu et qu'elles ont été remplacées par la truite de souche atlantique. De plus, la structure génétique des populations de la rivière Tessin diffère sensiblement de celle des truites de pisciculture utilisées pour repeupler ce cours d'eau (Dagani, 2010), ce qui suggère une réussite incertaine des mesures de rempoissonnement et laisse croire que le frai naturel fonctionne dans la rivière Tessin.

A ce jour, il n'existe pas d'analyse génétique des truites portant sur toutes les eaux piscicoles du canton du Tessin. Il est dès lors difficile, de se faire une idée des conséquences qu'ont eu une centaine d'années de repeuplement sur les populations locales. La présente étude vise à acquérir les informations manquantes afin d'améliorer les programmes de repeuplement et la gestion des poissons de pisciculture.

1.1 Objectifs

L'objectif de la présente étude est de répondre aux questions suivantes :

1. Existe-t-il des différences génétiques entre les truites sauvages des différentes cours d'eau du canton du Tessin ?

2. Les truites des exploitations piscicoles utilisées pour le repeuplement sont-elles suffisamment proches génétiquement des populations locales ?
3. De quelle manière devrait être géré le rempoissonnement dans le canton du Tessin afin de a) gérer de manière durable les espèces originelles de truites ; b) gérer de manière efficace et le plus durablement possible la pêche de la truite dans les rivières du canton ?

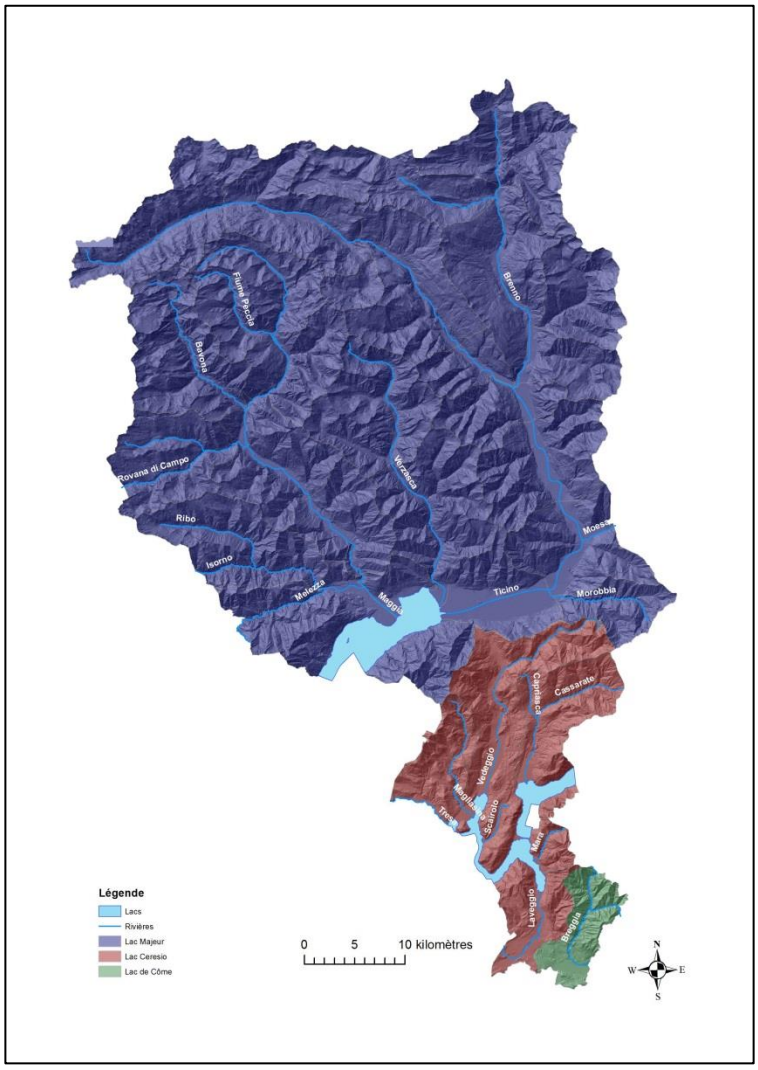


Figure 2: sous bassin versant du canton du Tessin

2 Matériel et méthode

2.1 Région d'étude

Le canton du Tessin couvre une surface de 2'812 km^2, ce qui correspond à environ un quinzième de la surface nationale. C'est le sixième plus grand canton de la Confédération (le plus grand étant le canton des Grisons, 7'105 km^2, tandis que le plus petit est Bâle-Ville (avec 37 km^2). Le Tessin s'étend sur environ 90 km dans l'axe nord-sud et 60 km d'est en ouest. Les Alpes dominent dans les Sopraceneri, où plus de la moitié de la surface est située au-dessus de 1500 m d'altitude (USTAT, 2018).

Au Tessin, il y a environ 140 plans d'eau qui peuvent être classés en quatre groupes : le premier comprend les plans d'eau internationaux de plaine, le lac Majeur (212,5 km^2, dont 42,6 sur sol suisse) et le lac de Lugano (49,0 km^2, dont 31 sur sol suisse). Dans le deuxième groupe, nous trouvons les petits lacs de basse altitude comme le lac d'Origlio, de Muzzano et d'Astano ; suivent les bassins artificiels pour la production d'énergie hydroélectrique et, enfin, les lacs alpins naturels. Le réseau hydrographique relie les lacs et conduit les eaux vers le lac Majeur et le lac de Lugano ; les eaux de ce dernier se déversent à travers la Tresa, dans le Majeur (USTAT, 2018).

Le canton du Tessin peut être subdivisé en 3 grands bassins versants. Le bassin versant du lac Majeur comprend toutes les rivières qui se jettent dans ce dernier (les principales sont Ticino, Brenno, Verzasca, Maggia, Melezza et Moesa), le bassin versant du lac de Lugano (les rivières principales sont le Vedeggio, le Cassarate, la Magliasina, le Laveggio et la Tresa) et le bassin versant du Lario (lac de Côme) qui comprend la rivière Breggia et ses affluents. Le canton entier fait partie du bassin versant du fleuve Pô (Figure 2).

Les sociétés de pêche qui disposent d'une pisciculture sont les suivantes : Alta Leventina, Leventinese, Biaschese, Bleniese, Verzaschese, Bellinzonese, Valmaggese, Locarnese, Onserone-Melezza, Ceresiana e Assoreti (Figure 3, piscicultures en violet).

En 2018 les sociétés de pêche ont mis à l'eau une multitude d'individus de *Salmo trutta* à différents stades de développement. Soit dans le détail 30'000 œufs, 20'000 alevins, 83'200 alevins nourris, 698'978 estivaux de la forme résidante ainsi que 570'000 œufs, 290'000 alevins nourris, 110'000 pré-estivaux, 555'570 estivaux de la forme migratrice. En plus 86'000

alevins nourris de truite marbrée ont été déversés. Au vu des chiffres, on comprend très bien que le repeuplement des cours d'eau est massif et qu'il est bien enraciné dans la culture des pêcheurs tessinois.

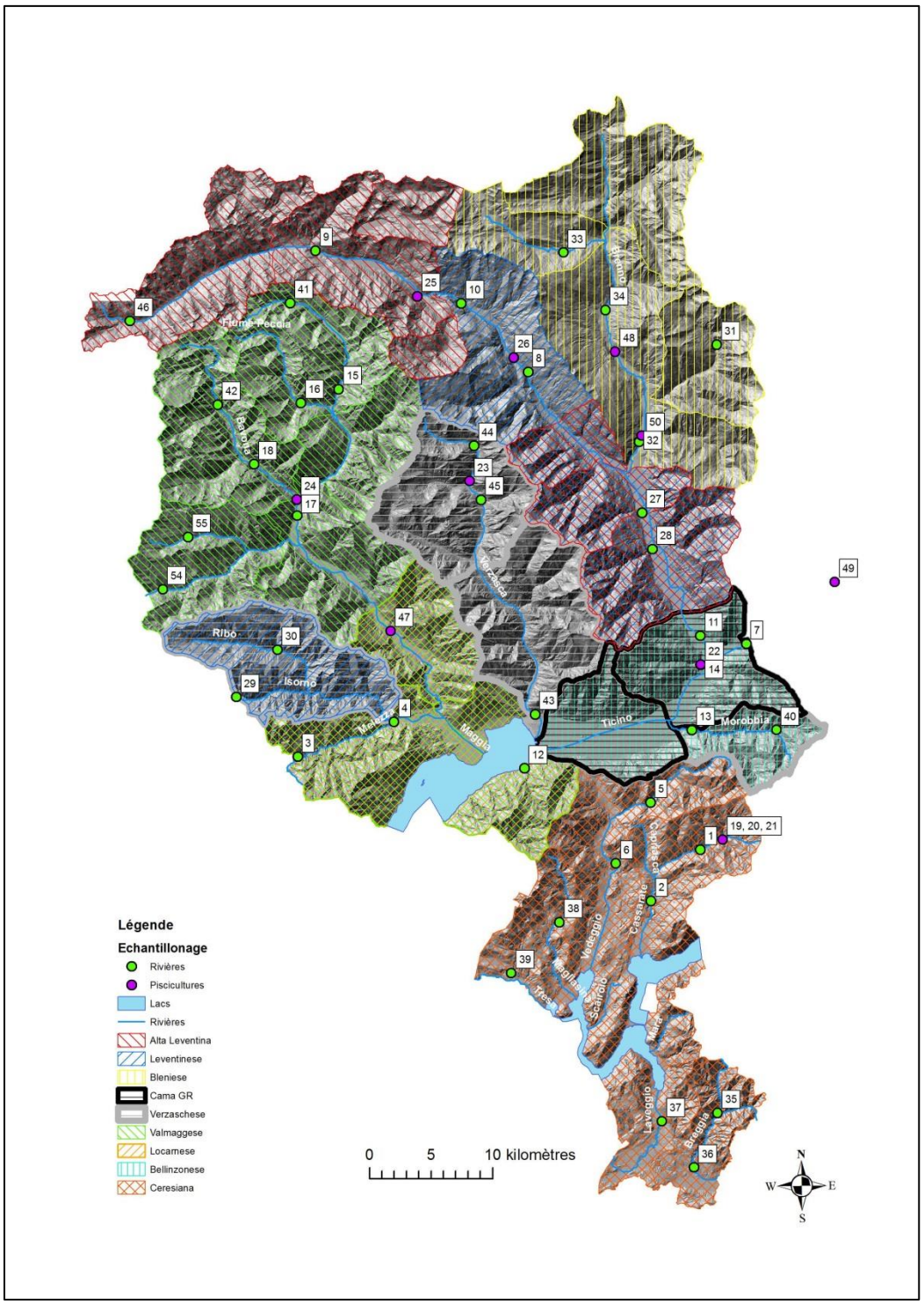


Figure 3 : carte du canton Tessin avec sites d'échantillonnage et districts de distribution de matériel piscicole des différentes piscicultures

2.2 Échantillonnage

L'échantillonnage a eu lieu pendant les mois de mars à juin 2019. Les pêches électriques ont été effectuées avec le Service de la chasse et de la pêche du canton et la participation de collaborateurs externes. En principe, chaque station a fait l'objet d'une pêche quantitative (2 passages) sur une longueur de 100 m. 30 truites par tronçon d'étude ont été échantillonnées pour les analyses génétiques.

Les sites d'échantillonnages ont été choisis en fonction des critères suivants :

1. L'échantillonnage a été réalisé dans les trois grand bassins versants du canton (Lac Majeur, Ceresio et Lario) ;
2. Tous les principaux cours d'eau du canton du Tessin ont été échantillonnés dans au moins une station ;
3. Un certain nombre d'affluents des cours d'eau principaux ont été échantillonnés,
4. Les sites d'échantillonnages ont été optimisés en fonction de la perméabilité piscicole. Par conséquent, la morphologie du territoire et les obstacles (naturels et artificiels) à la libre migration piscicole ont été pris en compte afin d'éviter l'échantillonnage de populations vraisemblablement très proches génétiquement ;
5. Toutes les pisciculture qui produisent le matériel destiné au repeuplement ont été échantillonnées.

Figure 4 : échantillonnage effectué par le Service de la chasse et de la pêche

Figure 5 : table de travail sur le terrain

De plus, des échantillons de référence ont été organisés. Pour la truite marbrée, j'ai utilisé les références du travail de master de Diego Dagani (Maglio di Colla, Melezza et Toce, Dagani 2010), des échantillons de la rivière Toce récupérés par Pietro Volta et son équipe. Pour les références de la truite de souche adriatique j'ai effectué une pêche électrique en collaboration avec Paolo Lo Conte (Città metropolitana de Turin) sur la rivière Pellice car il y a là une population de *Salmo cenerinus* encore présente. Pour la truite de souche atlantique j'ai utilisé des échantillons du canton de Soleure (Vonlanthen, 2017).

Les cours d'eau échantillonnés sont les suivants : la rivière Cassarate a été échantillonnée à deux endroits, dans sa partie supérieure à Curtina et dans sa partie terminale le long du Piano della Stampa. La rivière Melezza a été échantillonnée en amont du barrage de Palagnedra dans la zone limitrophe avec l'Italie et en aval du barrage, à Intragna. La rivière Vedeggio a été échantillonnée dans la section en amont du seuil insurmontable pour les poissons, à Medeglia, et dans la section en aval du seuil à Taverne. La rivière Moesa a été échantillonnée à la frontière avec les Grisons dans la zone de protection. La rivière Tessin a été échantillonnée dans 5 sections à partir de ses sources, c'est-à-dire du col de la Novena, à l'arrivée dans sa section plate dans la région de Gnosca. Trois affluents du Tessin, Iragna, Lodrino, Gorduno ont également été échantillonnés. Dans la région de Gambarogno, la rivière Vadina a été échantillonnée, l'un des rares cours d'eau piscicole du district. Dans celle de Lavizzara, la rivière a été échantillonnée dans la localité de Camblée et en amont du barrage du Sambuco à Campo la Torba. Dans cette zone, on a également échantillonné le bras latéral de la rivière Maggia à Peccia. Dans la région de Bavona, le cours d'eau a été échantillonné dans les localités de Sabbione et de San Carlo. La rivière Maggia a été échantillonnée seulement en altitude en raison des températures élevées pendant les mois d'été, qui limitent fortement la capacité de survie des salmonidés. L'échantillonnage a été effectué en aval de la confluence de la Lavizzara et de la Bavona dans la localité de Bignaschina. Dans les Centovalli, en plus de la Melezza, le torrent Ribo et le torrent Isorno près de la frontière avec l'Italie, ont été échantillonnés. La rivière Brenno a été échantillonnée en 3 points : le premier dans la zone du col de Lucomagno à Pù, le deuxième dans la zone de Pont di Frasch et le troisième en aval de la zone de protection Legiuna. Pour compléter l'échantillonnage du bassin versant du Brenno, l'affluent Orino a également été échantillonné près de Fontanée. Le dernier affluent du Tessin étudié est la Morobbia, qui a été échantillonnée en amont du barrage et en aval

dans la zone de sortie minimale. La vallée de Verzasca a été échantillonnée à trois endroits, l'un en aval du barrage dans la région de la Gordola et les autre en amont (Cabioi et Frasco). La Magliasina été échantillonnée dans sa partie amont et la rivière Lisora pour son importance en tant que zone de reproduction pour la truite migratrice. Pour terminer, des prélèvements ont également été réalisés au Mendrisiotto dans la rivière Laveggio ainsi que dans la Breggia, le tronçon haut à Bruzzella et le tronçon bas dans la zone du Ghitello.

En total, 1697 échantillons ont été analysés : 359 provenant des pisciculture, 1223 provenant des cours d'eau et 115 de références. Toutes les truites échantillonnées lors de cette étude ont été photographiées.

Figure 6 : truite fario

Type	Bassin versant	Cours d'eau	Localité	Population	Coordonée X	Cordonée Y	Numero de poissons
Cours d'eau	Lac Ceresio	Cassarate	Ponte Curtina	1	722743	104465	30
Cours d'eau	Lac Ceresio	Cassarate	Piano Stampa	2	718734	100293	30
Cours d'eau	Lac Majeur	Melezza	Confine	3	690038	112006	31
Cours d'eau	Lac Majeur	Melezza	Intragna	4	697868	114852	30
Cours d'eau	Lac Ceresio	Vedeggio	Medeglia	5	718702	108300	30
Cours d'eau	Lac Ceresio	Vedeggio	Afor	6	715893	103342	35
Cours d'eau	Lac Majeur	Moesa	Confine	7	726475	121174	29
Cours d'eau	Lac Majeur	Ticino	Lavorgo	8	708154	104755	30
Cours d'eau	Lac Majeur	Ticino	Stalvedro	9	691494	153109	30
Cours d'eau	Lac Majeur	Ticino	Polmengo	10	703324	148825	30
Cours d'eau	Lac Majeur	Ticino	Gnosca	11	722758	121820	32
Cours d'eau	Lac Majeur	Gambarogno	riale Vadina	12	708460	111068	30
Cours d'eau	Lac Majeur	Morobbia	Monte Centrale	13	722059	114167	29
Cours d'eau	Lac Majeur	Riale di Gorduno	Bandita	14	722761	119463	30
Cours d'eau	Lac Majeur	Lavizzara	Camblee	15	693389	141870	30
Cours d'eau	Lac Majeur	Peccia	Bacino	16	690296	140741	30
Cours d'eau	Lac Majeur	Maggia	Bignaschina	17	689977	131576	34
Cours d'eau	Lac Majeur	Bavona	Sabbione	18	686491	135768	28
Pisciculture	Ceresio/Como	Pisciculture	Ceresiana	19-20-21	724564	105264	90
Pisciculture	Lac Majeur	Pisciculture	Bellinzonese	22	722779	119480	30
Pisciculture	Lac Majeur	Pisciculture	Verzaschese	23	704006	134390	30
Pisciculture	Lac Majeur	Pisciculture	Valmaggese	24	689959	132893	30
Pisciculture	Lac Majeur	Pisciculture	Alta Leventina	25	699757	149402	30
Pisciculture	Lac Majeur	Pisciculture	Leventinese	26	707588	144439	30
Cours d'eau	Lac Majeur	Riale di Iragna	Ponte	27	718006	131831	30
Cours d'eau	Lac Majeur	Riale di Lodrino	Ponte	28	718853	128863	30
Cours d'eau	Lac Majeur	Isorno	Bagni di Craveggia	29	685065	116844	30
Cours d'eau	Lac Majeur	Ribo	Confluenza Camana	30	688393	120689	30
Cours d'eau	Lac Majeur	Orino	Fontanéé	31	724103	145475	30
Cours d'eau	Lac Majeur	Brenno	Legiüna	32	717787	137574	30
Cours d'eau	Lac Majeur	Brenno Lucomagno	Pü	33	711626	152949	30
Cours d'eau	Lac Majeur	Brenno	Pont di Frasch	34	715041	148306	30
Cours d'eau	Lac de Como	Breggia	Bruzella	35	724147	83079	30
Cours d'eau	Lac de Como	Breggia	Manor	36	722236	78643	30
Cours d'eau	Lac Ceresio	Laveggio	Piscine	37	719642	82393	31
Cours d'eau	Lac Ceresio	Magliasina	Ponte di Vello	38	711322	98565	30
Cours d'eau	Lac Ceresio	Tresa	Lisora	39	707401	94445	32
Cours d'eau	Lac Majeur	Morobbia	Ponte Fossada	40	728930	114182	29
Cours d'eau	Lac Majeur	Lavizzara	Campo la Torba	41	689433	148854	30
Cours d'eau	Lac Majeur	Bavona	San Carlo	42	683551	140605	30
Cours d'eau	Lac Majeur	Verzasca	Gordola	43	709327	115453	27
Cours d'eau	Lac Majeur	Verzasca	Cabioi	44	704364	137261	33
Cours d'eau	Lac Majeur	Verzasca	Frasco	45	704919	132880	30
Cours d'eau	Lac Majeur	Ticino	Novena	46	676410	147394	30
Pisciculture	Lac Majeur	Pisciculture	Locarnese	47	697582	122213	30
Pisciculture	Lac Majeur	Pisciculture	Bleniese	48	715843	144923	30
Pisciculture	Lac Majeur	Pisciculture	Cama	49	733684	126210	29
Pisciculture	Lac Majeur	Pisciculture	Biaschese	50	717995	138076	30
Mix	Ceresio/Majeur	Diego Master		51			44
Cours d'eau	Lac Majeur	Toce	Toce	52			14
Cours d'eau	Po	Pellice	Villar Pellice	53			15
Cours d'eau	Lac Majeur	Rovana di Campo	Confine	54	679092	125614	42
Cours d'eau	Lac Majeur	Rovana di Bosco	Impianti	55	681118	129852	30
Cours d'eau	Lac Majeur	Maggiore	DD	56			1
Cours d'eau	Aar	Soletta	Soletta	57			42
Total							**1697**

Figure 7 : tableau récapitulatif de l'échantillonnage

2.3 Laboratoire

Le travail de laboratoire a été effectué par Aquabios Sàrl en utilisant la méthodologie appliquée par Vonlanthen *et al.* (2017) dans le cadre de l'étude génétique effectuée sur les truites du canton d'Argovie.

L'acide désoxyribonucléique (ADN) a été extrait à partir des échantillons de nageoire (généralement des morceaux de nageoire adipeuse) en utilisant une méthode de précipitation

Chelex. La réaction en chaîne de la polymérase (PCR) de l'ADN a été réalisée dans un volume réactionnel de 4.25 µl avec les composants suivants : 2,5 µl de mélange maître PCR multiplex QI-AGEN, 1,75 µl de ddH2O, 0,75 µl d'ADN et 0,115 µl de mélange de primers. Les primers qui ont été utilisés sont les suivants : SL438, Ssa100, Ssa197, Ssa85, SsoSL417, Str15, Str2, Str543, Str591, Str60, Str73, Strutta12. Le profil de PCR commence par une dénaturation de l'ADN à 94 ° C pendant 15 minutes, suivie de 35 cycles de 30 secondes à 94 ° C, de 90 secondes à 54 ° C et de 90 secondes à 72 ° C ; il se termine par un cycle de 30 minutes à 60 ° C.

Les fragments d'ADN de chaque produit de PCR ont été séparés au moyen d'un séquenceur d'ADN (analyseur génétique ABI PRISM® 3100). On a utilisé pour cela 0,9 µl de réaction PCR diluée au 1/5 avec 8 975 µl de formamide Hi-Di ™ et 0,025 µl d'un standard de longueur (GeneScan ™ 500 LIZ® Color Standard Size v2.0). L'identification des allèles microsatellites a été réalisée automatiquement à l'aide du logiciel d'analyse de fragments GENEMARKER, puis vérifiée manuellement.

2.4 Analyses statistiques

Pour l'analyse statistique, les programmes de génétiques de population suivants ont été utilisés : ARLEQUIN (Excoffier, 2010), STRUCTURE (Pritchard, 2010), FSTAT (Goudet, 1993), GENEPOP (Rousset, 1995). Si utile et nécessaire, la fonction d'une analyse ou d'un test est directement discutée dans les résultats. Certains sites d'échantillonnage ont été exclus pour certaines analyses statistiques en raison de la petite taille des échantillons.

3 Résultats

3.1 Différence génétique entre les sites d'échantillonnage

La mesure de la différenciation génétique la plus couramment utilisée est la valeur F_{ST}. Elle peut prendre des valeurs comprises entre 0 (pas de différenciation) et 1 (complètement différent). Les valeurs F_{ST} comprises entre 0 et 0,05 sont considérées comme indiquant une faible différence, les valeurs comprises entre 0,05 et 0,15 une différence modérée, les valeurs comprises entre 0,15 et 0,25 une forte différence et les valeurs > 0,25 sont l'indicateur d'une très forte différenciation génétique (Vonlanthen et al., 2016). Le niveau de F_{ST} observé entre deux populations dépend de différents paramètres. Les deux plus importants sont la dérive génétique et le flux de gènes entre différentes populations. Le terme de dérive génétique indique le changement aléatoire non soumis à la sélection naturelle dans la composition génétique (appelée « fréquence allélique ») au sein d'une population. Cela provoque des différences génétiques dans les marqueurs neutres (par exemple, des séquences d'ADN microsatellite). Plus la population est petite, plus la dérive génétique est forte et plus la différenciation génétique est rapide. En revanche, le flux génétique amène des populations diverses à se rapprocher, ce qui signifie qu'elles vont se mélanger génétiquement. Les différences génétiques observées aujourd'hui dépendent donc essentiellement de l'origine naturelle ou artificielle des poissons, de la taille de la population (actuelle et passée) et du flux de gènes entre les populations.

Sur les 1'540 comparaisons effectuées par paires dans tout le canton, 98 % des comparaisons ont montré des différences génétiques statistiquement significatives, seuls 2% ont obtenu un résultat non significatif (annexe 7.5). Les poissons de la plupart des sites d'échantillonnage sont donc significativement différents les uns des autres sur le plan de la génétique. En général, seules de très petites valeurs F_{ST} inférieures à 0,01 ne se sont pas révélées significatives.

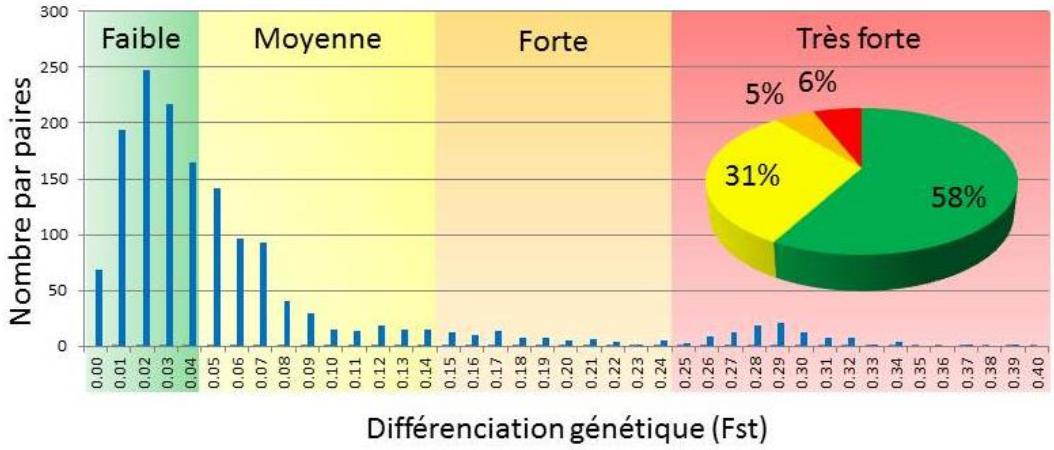


Figure 8 : différenciation génétique (F_{ST})

Lorsqu'on analyse les comparaisons par paires entre sites, on peut constater que 58% d'entre elles montrent de faibles différences génétiques (Figure 8). 31% ont des différences génétiques modérées, alors que 5% présentent de fortes différences génétiques et 6% de très fortes. Les différences les plus marquées sont dues au fait que, le calcul a été effectué en tenant également compte des échantillons de référence (très différents sur le plan génétique des truites présentes dans les cours d'eau tessinois). La moyenne est de 0,065. Les différences se retrouvent donc dans une gamme similaire à celle d'autres études génétiques menées sur la truite en Suisse (Vonlanthen *et al*., 2016).

En analysant uniquement la situation au Tessin, excluant ainsi les échantillons de référence, les différences génétiques sont moins marquées (Figure 9). On peut constater que 63% de ces comparaisons par paires entre sites montrent de faibles différences génétiques, 36% ont des différences génétiques modérées et seulement 1% de fortes différences génétiques.

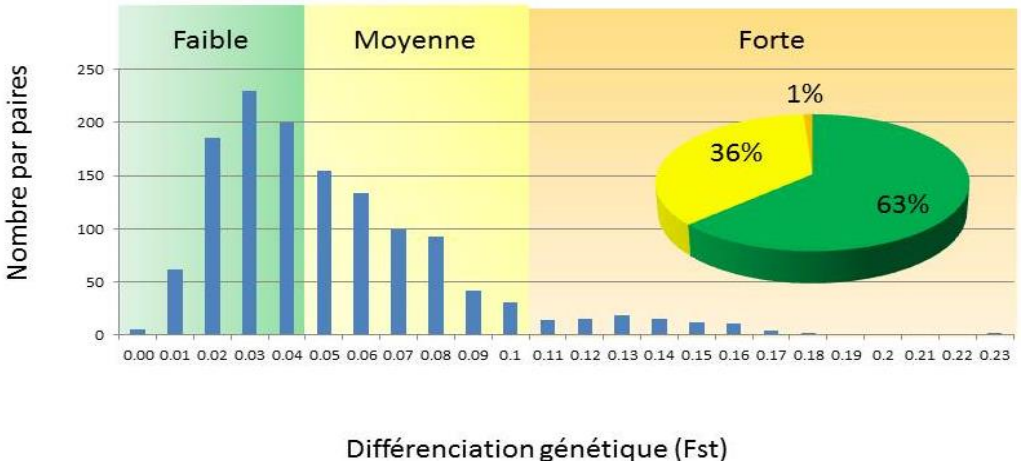


Figure 9 : différenciation génétique (F_{st}) sans échantillons de référence

3.2 Les truites des exploitations piscicoles utilisées pour le repeuplement sont-elles appropriées pour une gestion durable ?

Pour mieux répondre à cette question, j'ai réalisé des regroupements pour les districts de distribution de matériel piscicole des différentes pisciculture. En fait, j'ai divisé l'analyse en 9 districts : Alta Leventina, Leventinese, Bleniese, Bellinzonese, Moesano, Verzaschese, Valmaggese, Locarnese et Ceresiana.

Pour chaque société, une étude de l'indice F_{ST} a été réalisée (en plus de l'analyse générale) pour comprendre en détails les différences qui peuvent être trouvées dans une zone géographique relativement proche, influencée par l'introduction de poissons de la même pisciculture.

De plus, pour chaque district, j'ai effectué une analyse au moyen du logiciel STRUCTURE. Elle permet de déterminer le nombre de populations différenciables génétiquement. Les individus sont affectés aux groupes individuels sur la base des informations génétiques. Le nombre des unités génétiques possibles a été estimé pour tous les sites échantillonnés et testés avant d'être défini à k = 1 à $k = n+1$, où n = le nombre de populations à travers la méthode du Δk décrite par Evanno *et al.* (2005) en utilisant STRUCTURE Harvester (Earl *et al*, 2012). Une vérification visuelle de k a été effectuée. La valeur de k la mieux appropriée a finalement été choisie pour la présentation des résultats.

Les graphiques créés à l'aide du logiciel présentent un diagramme à barres pour illustrer la structure de la population des truites pour un k de 4 ou 5 groupes ou populations supposées de génotype, chacun symbolisé par une couleur différente. Chaque barre de couleur verticale symbolise un individu. Les truites ont été regroupées en fonction de leur origine (voir légende). Les différents segments de couleur dans les barres représentent l'appartenance au groupe de génotypes respectif, sous forme de probabilité a posteriori. Les populations 51, 52, 53, 57 forment les échantillons de référence.

3.2.1 Alta Leventina

Pour le district de l'Alta Leventina, j'ai regroupé 6 stations : Stalvedro (9), pisciculture de Rodi (25), Iragna (27), Lodrino (28), Novena (46) et pisciculture de la Biaschese (50).

Analyses F_{ST}

	9	25	27	28	46	50
9		+	+	+	+	+
25	0.0134		+	+	-	+
27	0.0150	0.0231		+	+	+
28	0.0102	0.0433	0.0406		+	+
46	0.0112	0.0005	0.0263	0.0404		+
50	0.0460	0.0212	0.0427	0.0746	0.0428	

valori tra 0-0-05	93%
valori tra 0.05-0.15	7%
valori tra 0.15-0.25	0%
valori > 0.25	0%

Significativo	93%
non significativo	7%

Figure 10 : tableau F_{ST} Alta Leventina

- La plupart des différences sont significatives (voir Figure 10). La valeur F_{ST} moyenne des cours d'eau alevinée par la société de pêche Alta Leventina est de 0,0301.
- Une différence n'est pas significative : le site d'échantillonnage 46 (Novena) comparé au 25 (pisciculture de Rodi). La valeur F_{ST} est 0,0005. Cela signifie qu'il n'y a pas de différence génétique substantielle entre les deux populations.
- Le site 50 (pisciculture de la Biaschese), qui reçoit également des poissons de la société Alta Leventina, présente des différences marquées avec ceux de la rivière Lodrino (28) où cette pisciculture effectue des repeuplements.
- Les valeurs F_{ST} de Stalvedro (9), Iragna (27) et Lodrino (28) comparées aux deux exploitations piscicoles présentent des valeurs F_{ST} assez faibles mais significatives.

Analyses STRUCTURE

L'analyse visuelle des résultats a révélé qu'un total de 4 unités génétiques pouvaient être différenciées (k = 4 ; Figure 11).

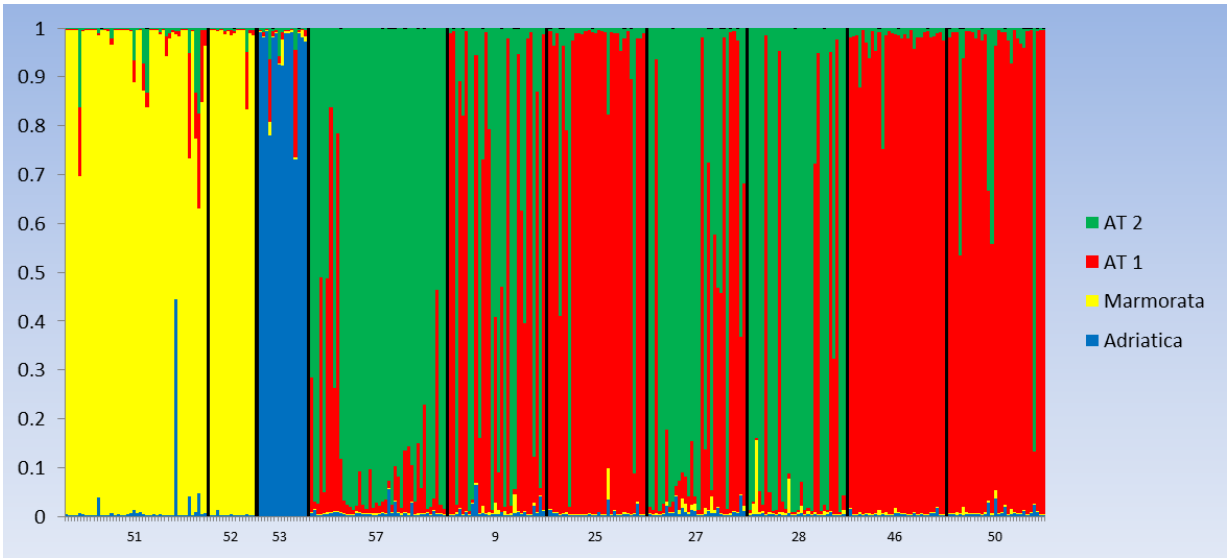


Figure 11 : graphique STRUCTURE Alta Leventina

3.2.2 Leventinese

Pour le district de la Leventinese, nous avons regroupé 8 stations : Lavorgo (8), Polmengo (10) pisciculture de Lavorgo (26), Iragna (27), Lodrino (28), Isorno (29), Ribo (30) et pisciculture de la Biaschese (50).

Analyses F_{ST}

	8	10	26	27	28	29	30	50
8		-	+	+	+	+	+	+
10	0.0020		+	+	+	+	+	+
26	0.0623	0.0585		+	+	+	+	+
27	0.0584	0.0465	0.0211		+	+	+	+
28	0.0119	0.0104	0.0498	0.0406		+	+	+
29	0.0620	0.0557	0.0609	0.0387	0.0551		+	+
30	0.0279	0.0263	0.0686	0.0683	0.0195	0.0562		+
50	0.0960	0.0985	0.0135	0.0427	0.0746	0.0808	0.0950	

valori tra 0-0-05	46%
valori tra 0.05-0.15	54%
valori tra 0.15-0.25	0%
valori > 0.25	0%

Significativo	96%
non significativo	4%

Figure 12 : tableau F_{ST} Leventinese

- La plupart des différences sont significatives (voir Figure 12). La valeur F_{ST} moyenne des cours d'eau alevinés par la Leventinese est de 0,0501.
- La différence non significative entre le site d'échantillonnage 8 et le site 10 semble indiquer que la population au niveau génétique est la même.

- La Leventinese fournit des poissons qui sont alevinés dans la vallée de la Melezza (Isorno - 29 et Ribo - 30), le F_{ST} moyen est de 0,064.
- La pisciculture Biaschese reçoit des poissons de la Leventinese et la valeur F_{ST} entre les deux piscicultures est 0,0135.

Analyses STRUCTURE

L'analyse visuelle a révélé qu'un total de 5 unités génétiques pouvaient être différenciées (*k* = 5 ; Figure 13)

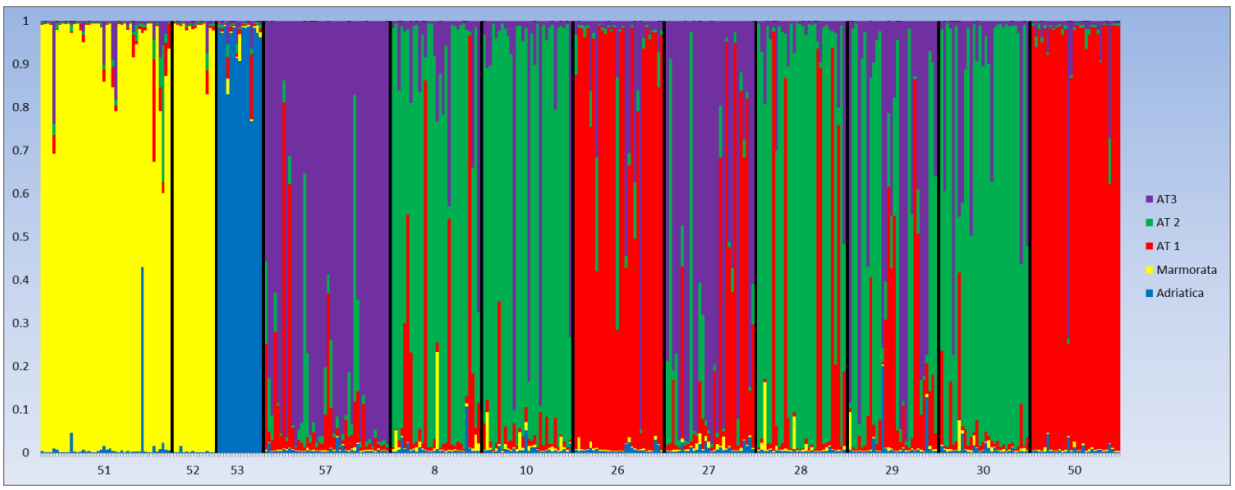


Figure 13: graphique STRUCTURE Leventinese

3.2.3 Bleniese

Pour le district de la Bleniese nous avons regroupé 5 stations : Orino (31), Legiuna (32) Pü (33), Pont di frasch (34) et la pisciculture de Corzoneso (48).

Analyses F_{ST}

	31	32	33	34	48
31		+	+	+	-
32	0.02556		+	-	+
33	0.04041	0.01413		+	+
34	0.02613	0.0069	0.01729		+
48	0.00545	0.04103	0.05483	0.04047	

valori tra 0-0-05	90%
valori tra 0.05-0.15	10%
valori tra 0.15-0.25	0%
valori > 0.25	0%

Significativo	80%
non significativo	20%

Figure 14: tableau F_{ST} Bleniese

- La plupart des différences sont significatives (voir Figure 14). La valeur moyenne de F_{ST} est 0,027.
- Deux différences ne sont pas significatives : l'une est la rivière Orino (31) comparée à la pisciculture Bleniese (48) pour une valeur F_{ST} égale à 0,005. L'autre est le site 32 par rapport au site 34 pour une valeur de 0,0069.
- La valeur F_{ST} la plus élevée sépare Pü (33) de la pisciculture (48).

Analyses STRUCTURE

L'analyse a révélé qu'un total de 4 unités génétiques pouvaient être différenciées (k = 4 ; Figure 15)

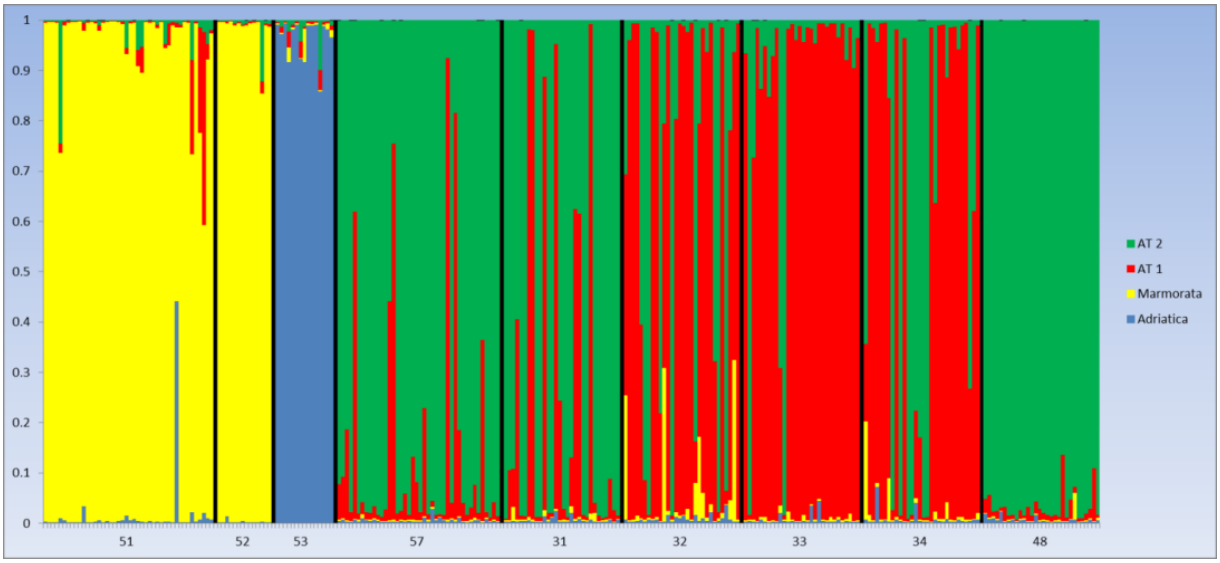


Figure 15 : graphique STRUCTURE Bleniese

3.2.4 Bellinzonese

Pour le district de la Bellinzonese nous avons regroupé 6 stations : Moesa (7), Gnosca (11) Morobbia centrale (13), Gorduno (14), la pisciculture de Gorduno (22) et Morobbia Fossada (40).

Analyses F_{ST}

	7	11	13	14	22	40
7		+	+	+	+	+
11	0.00842		+	+	+	+
13	0.02612	0.02095		+	+	+
14	0.03236	0.03236	0.0233		+	+
22	0.04893	0.02978	0.05327	0.04151		+
40	0.07057	0.07208	0.06024	0.07952	0.12224	

valori tra 0-0-05	60%
valori tra 0.05-0.15	40%
valori tra 0.15-0.25	0%
valori > 0.25	0%

Significativo	100%
non significativo	0%

Figure 16: tableau F_{ST} Bellinzonese

- Tous les résultats sont significatifs (Figure 16). Le F_{ST} moyen est de 0,048.
- Le site de Morobbia Fossada (40) révèle de grandes différences avec tous les autres endroits.
- La valeur F_{ST} la plus élevée est de 0.122.

Analyses STRUCTURE

L'analyse visuelle a révélé qu'un total de 4 unités génétiques pouvaient être différenciées (*k* = 4 ; Figure 17)

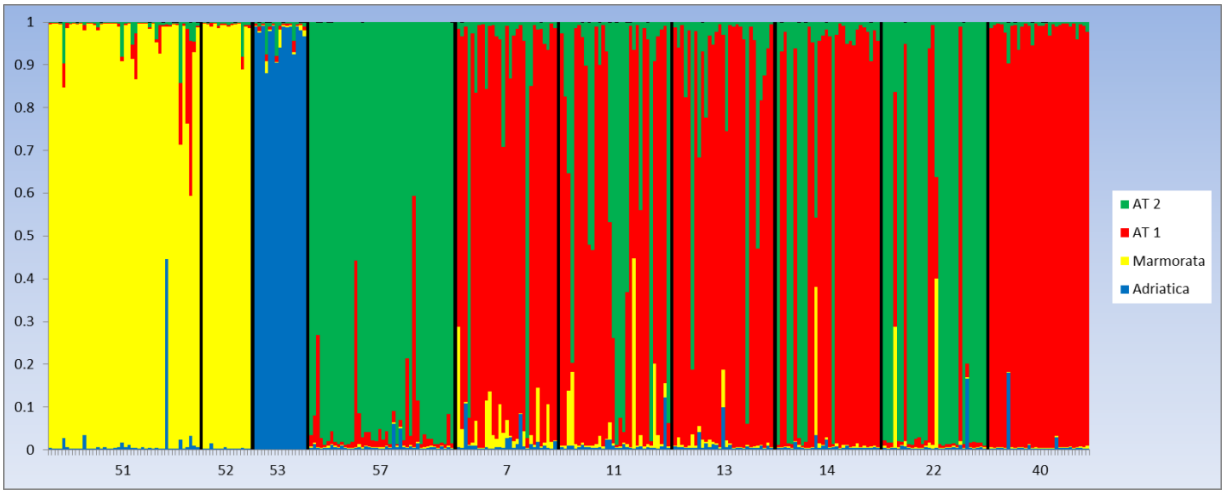


Figure 17 : graphique STRUCTURE Bellinzonese

3.2.5 Moesano

Pour le district de la Bellinzonese nous avons regroupé 4 stations : Moesa (7), Gnosca (11), Gorduno (14), la pisciculture de Cama (49).

Analyses F_{ST}

	7	11	14	49
7		+	+	+
11	0.00842		+	+
14	0.03236	0.03236		+
49	0.01471	0.01899	0.02863	

valori tra 0-0-05	100%
valori tra 0.05-0.15	0%
valori tra 0.15-0.25	0%
valori > 0.25	0%

Significativo	100%
non significativo	0%

Figure 18: tableau F_{ST} Moesano

- Toutes les différences sont significatives (voir Figure 19). Le F_{ST} moyen est 0,022.
- La valeur F_{ST} de comparaison entre la Moesa (7) et la pisciculture de Cama (49) est très basse.

Analyses STRUCTURE

L'analyse visuelle a révélé qu'un total de 4 unités génétiques pouvaient être différenciées (*k* = 4 ; Figure 19).

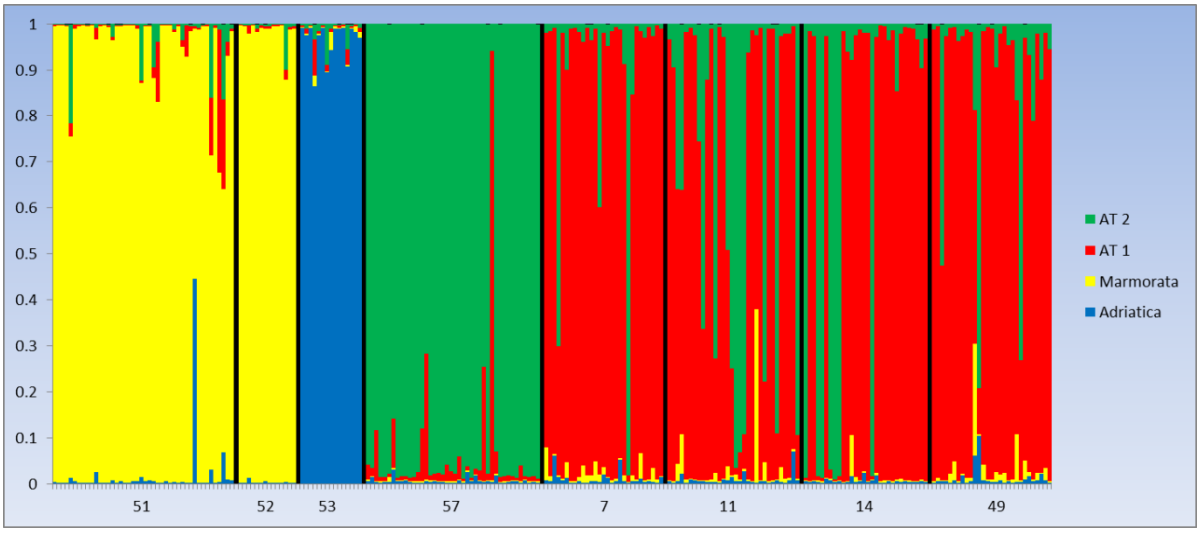


Figure 19 : graphique STRUCTURE Moesano

3.2.6 Verzaschese

Pour le district de la Verzaschese nous avons regroupé 11 stations : Moesa (7), Gnosca (11), Morobbia centrale (13), Gorduno (14), Isorno (29), Ribo (30), Morobbia Fossada (40), Gordola (43), Cabioi (44), Frasco (45) et la pisciculture de Sonogno (23).

Analyses F_{ST}

	7	11	13	14	29	30	40	43	44	45	23
7		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
11	0.00842		+	+	+	+	+	+	+	+	+
13	0.02612	0.02095		+	+	+	+	+	+	+	+
14	0.03236	0.03236	0.0233		+	+	+	+	+	+	+
29	0.05572	0.04902	0.06934	0.06479		+	+	+	+	+	+
30	0.02193	0.0244	0.02332	0.0273	0.05622		+	+	+	+	+
40	0.07057	0.07208	0.06024	0.07952	0.13336	0.09685		+	+	+	+
43	0.02514	0.02832	0.02874	0.03826	0.07877	0.03184	0.05847		+	+	+
44	0.04212	0.0506	0.05158	0.0319	0.09062	0.04031	0.08737	0.04489		+	+
45	0.02988	0.03601	0.0319	0.03961	0.08266	0.04557	0.04149	0.03745	0.04253		+
23	0.07188	0.05342	0.07877	0.07015	0.04962	0.07643	0.14213	0.08699	0.09856	0.10679	

valori tra 0-0-05	53%
valori tra 0.05-0.15	47%
valori tra 0.15-0.25	0%
valori > 0.25	0%

Significativo	100%
non significativo	0%

Figure 20 : tableau F_{ST} Verzaschese

- Toutes les différences étaient significatives. La valeur moyenne de F_{ST} est 0,054.
- La pisciculture montre un F_{ST} élevé comparée à tous les cours d'eau étudiés. Moyenne de 0,0834.

Analyses STRUCTURE

L'analyse visuelle a révélé qu'un total de 5 unités génétiques pouvaient être différenciées (*k* = 5 ; Figure 21).

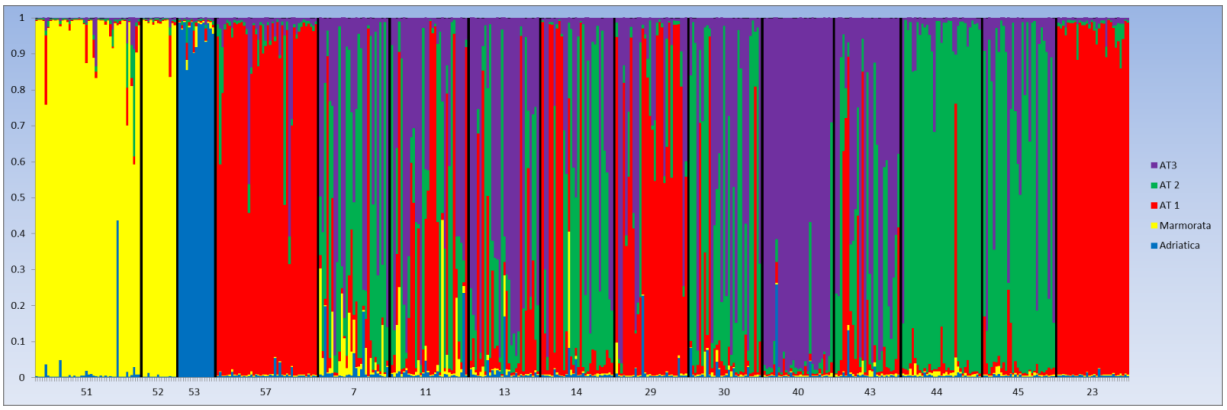


Figure 21 : graphique STRUCTURE Verzaschese

3.2.7 Valmaggese

Pour le district de la Valmaggese nous avons regroupé 12 stations : Melezza Camedo (3), Melezza Golino (4), Vadina (12), Maggia Camblée (15), Peccia (16), Maggia Bignaschina (17), Bavona Sabbione (18), la pisciculture de Bignasco (24), Lavizzara Campo la Torba (41), Bavona San Carlo (42) Rovana di Campo (54) et Rovana di Bosco (55).

Analyses F_{ST}

	3	4	12	15	16	17	18	24	41	42	54	55
3		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4	0.01653		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
12	0.05076	0.01055		+	-	+	+	+	+	+	-	-
15	0.09385	0.06689	0.0545		+	+	+	+	+	+	+	+
16	0.05433	0.0145	0.00005	0.07048		+	+	-	-	+	-	-
17	0.05643	0.02253	0.00779	0.01695	0.01873		-	+	+	-	+	+
18	0.06898	0.0385	0.02063	0.00993	0.02748	0.00483		+	+	-	+	+
24	0.06224	0.01883	0.01022	0.09251	-0.00133	0.02743	0.04671		-	+	+	-
41	0.06981	0.02709	0.01578	0.11049	0.00509	0.03786	0.06305	-0.00231		+	+	+
42	0.05412	0.02697	0.01544	0.02315	0.02056	0.00333	0.00583	0.03327	0.0487		+	+
54	0.05006	0.01355	0.0008	0.06822	0.00319	0.01358	0.03407	0.01083	0.01724	0.02189		-
55	0.05322	0.01464	0.00518	0.07058	-0.0051	0.01946	0.02714	-0.00054	0.00977	0.01952	0.00414	

valori tra 0-0-05	73%
valori tra 0.05-0.15	27%
valori tra 0.15-0.25	0%
valori > 0.25	0%

Significativo	80%
non significativo	20%

Figure 22: tableau F_{ST} Valmaggese

- 80% des différences sont significatives. 20% des comparaisons ont donné des résultats non significatifs. La valeur moyenne de F_{ST} est 0,030.
- Le site d'échantillonnage de la Melezza (3) à Camedo a donné des résultats élevés en comparaison à tous les autres sites étudiés, à l'exception du plus proche situé le long du même cours d'eau (4) du Melezza a Golino. Le F_{ST} moyen est de 0,057.
- Le site d'échantillonnage de la haute Maggia à Camblee (15) montre des différences assez importantes avec les sites 16, 24, 41, 54,55. Avec les sites 17, 18 et 42 (les plus proches), les différences sont moins importantes.

Analyses Structure

L'analyse visuelle a révélé qu'un total de 5 unités génétiques pouvaient être différenciées (*k* = 5: Figure 23).

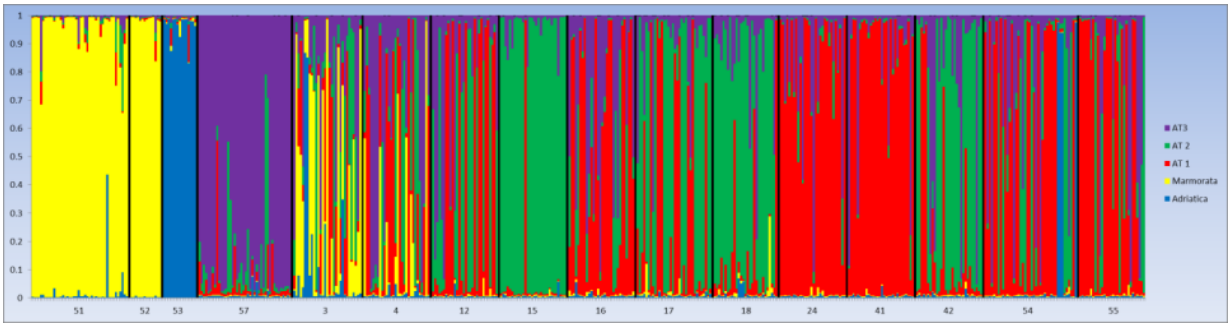


Figure 23 : graphique STRUCTURE Valmaggese

3.2.8 Locarnese

Pour le district de la Locarnese nous avons regroupé 5 stations : Melezza Camedo (3), Melezza Golino (4), Vadina (12), Gordola (43) et la pisciculture de Maggia (47).

Analyses F_{ST}

	3	4	12	43	47
3		+	+	+	+
4	0.01653		+	+	+
12	0.05076	0.01055		+	+
43	0.09074	0.05997	0.05818		+
47	0.07164	0.05063	0.05301	0.09043	

valori tra 0-0-05	20%
valori tra 0.05-0.15	80%
valori tra 0.15-0.25	0%
valori > 0.25	0%

Significativo	100%
non significativo	0%

Figure 24 : tableau F_{ST} Locarnese

- Toutes les différences sont significatives. La valeur moyenne de F_{ST} est 0.055.
- La pisciculture (43) montre des F_{ST} plus élevés que les eaux alevinées.

Analyses STRUCTURE

L'analyse visuelle a révélé que 5 unités génétiques pouvaient être différenciées au total (*k* = 5: Figure 25).

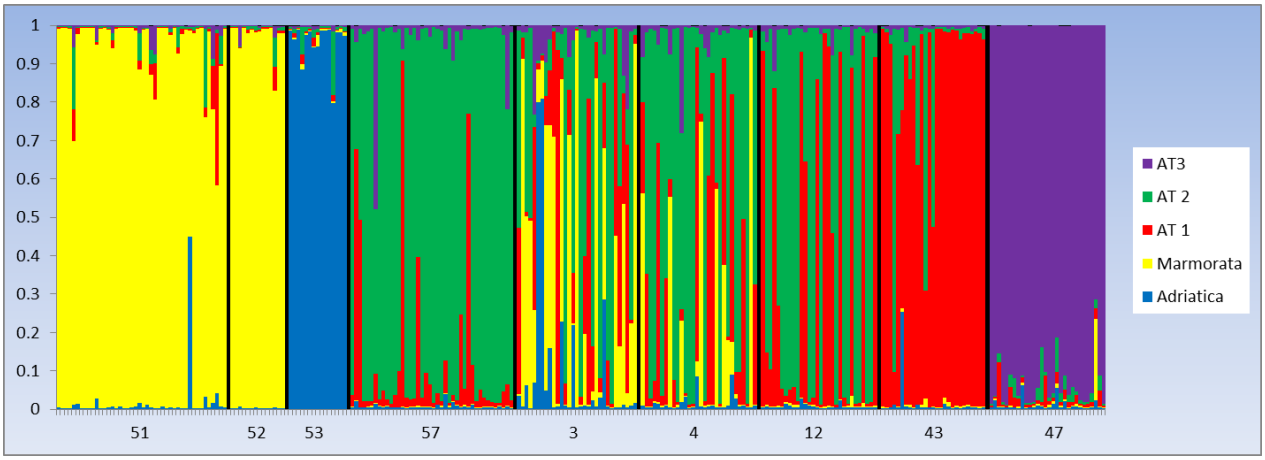


Figure 25 : graphique STRUCTURE Locarnese

3.2.9 Ceresiana

Pour le district de la Ceresiana, nous avons regroupé 12 stations : Cassarate Curtina (1), Cassarate Stampa (2), Vedeggio Afor (5), Vedeggio Medeglia (6), forme résidente de *Salmo trutta* de pisciculture (19), forme migratrice de *Salmo trutta* de pisciculture (20), truite marbrée de pisciculture (21), Breggia Bruzzella (35), Breggia Manor (36), Laveggio (37), Magliasina (38) et Lisora (39).

Analyses F_{ST}

	1	2	5	6	19	20	21	35	36	37	38	39
1		-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	0.00408		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5	0.0391	0.04151		+	+	+	+	+	+	+	+	+
6	0.01963	0.02066	0.01975		+	+	+	+	+	+	+	+
19	0.01003	0.02028	0.07027	0.04399		-	+	+	+	+	+	+
20	0.03092	0.04423	0.10118	0.06564	0.00782		+	+	+	+	+	+
21	0.11592	0.13139	0.16756	0.13731	0.11837	0.1444		+	+	+	+	+
35	0.03642	0.03228	0.0258	0.02663	0.06036	0.09102	0.16797		+	+	+	+
36	0.00829	0.01724	0.0402	0.01976	0.01704	0.03405	0.12889	0.03459		+	+	+
37	0.01159	0.01299	0.038	0.01765	0.024	0.04938	0.14706	0.03466	0.01099		+	+
38	0.02347	0.01755	0.01582	0.02185	0.04519	0.07656	0.15364	0.00988	0.02278	0.01646		+
39	0.02494	0.03184	0.04368	0.01685	0.03744	0.06952	0.15227	0.03767	0.01523	0.01472	0.02871	

valori tra 0-0-05	73%
valori tra 0.05-0.15	21%
valori tra 0.15-0.25	6%
valori > 0.25	0%

Significativo	97%
non significativo	3%

Figure 26: tableau F_{ST} Ceresiana

- Tous les résultats sont significatifs à l'exception de deux : 1 envers 2 et 20 envers 19 (Figure 26). La valeur moyenne de F_{ST} est de 0,050.
- Le F_{ST} du site d'échantillonnage 21 (truites marbrées de pisciculture) est très élevé, par rapport à tous les autres sites.

Analyses STRUCTURE

L'analyse visuelle a révélé qu'un total de 4 unités génétiques pouvaient être différenciées (*k* = 4 ; Figure 27).

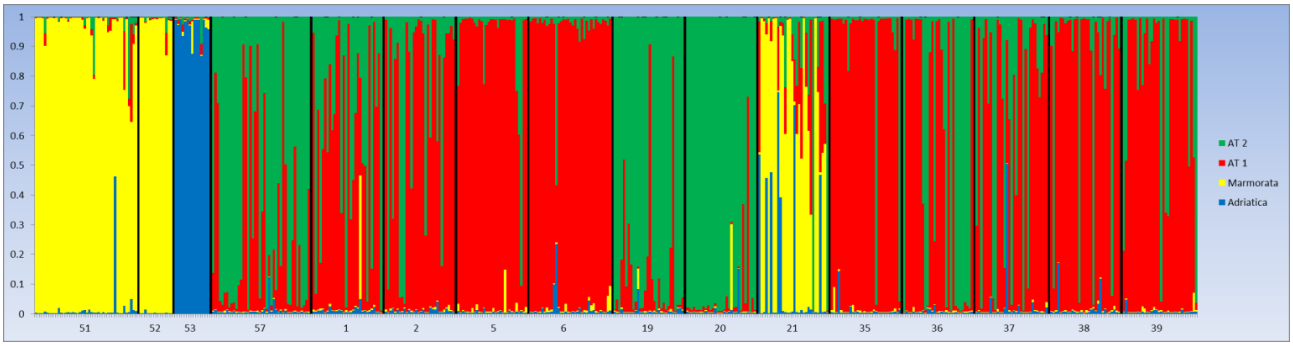


Figure 27 : graphique STRUCTURE Ceresiana

4 Discussion

99% des échantillons ont été analysés ; une toute petite partie, 1%, n'a pas pu être analysée en raison de la contamination ou de l'échec de l'extraction de l'ADN. Il s'agissait principalement d'échantillons récupérés auprès des pêcheurs, quelques-uns provenant de la pisciculture.

En général, les résultats obtenus à partir de l'analyse de l'indice F_{ST} montrent que 98% des comparaisons par paires sont statistiquement significatives. En conséquence, la plupart des populations analysées diffèrent génétiquement les unes des autres. Selon les préconisations scientifiques pour la gestion durable des stocks indigènes, ce résultat implique qu'il faudrait gérer séparément presque toutes les populations.

4.1.1 *Salmo marmoratus* et *Salmo cenerinus* peuplent-elles encore les rivières du Tessin ?

Cependant, l'analyse du tableau F_{ST} (annexe 7.5) montre que les échantillons de référence de *Salmo marmoratus* et *Salmo cenerinus* diffèrent grandement de toutes les populations analysées (sauf pour la Melezza). Cela signifie que les deux espèces de truites natives du bassin versant du Tessin ont disparu dans la quasi-totalité de l'aire de distribution historique. Les cours d'eau tessinois sont donc aujourd'hui majoritairement peuplés par des truites atlantiques (*Salmo trutta*). Cela est le résultat du repeuplement massif intervenu au cours des cent dernières années. Les populations de truites échantillonnées dans cette étude sont donc étrangères à la région.

En théorie, pour la truite marbrée (*Salmo marmoratus*) et la truite adriatique (*Salmo cenerinus*), ce processus pourrait être inversé si l'environnement était capable d'exercer une sélection négative à l'encontre des espèces allochtones et des hybrides, favorisant ainsi la récupération des espèces natives sélectionnée dans ces milieux. Cela nécessite aussi qu'on y trouve encore suffisamment de composantes génétiques d'origine. Pour y parvenir, il convient de cesser le repeuplement de truites fario d'origine non indigène (Baraldi et al., 2010).

4.1.2 Les truites de pisciculture contribuent-elles au maintien des populations de rivière ?

Les activités de repeuplement en faveur des ressources halieutiques sont à considérer comme une mesure extraordinaire pour le maintien des populations soumises aux stress

environnementaux dus à l'activité humaine. La gestion durable a pour but d'avoir des populations qui se maintiennent de manière naturelle et autonome : malheureusement, pour compenser la baisse de capture des truites survenue pendant le siècle dernier, des pratiques de rempoissonnement avec des truites non originaires de la région de la mise à l'eau ont été mises en place.

Dans les années 1990, l'OFEV a demandé aux pisciculture suisses d'élever des truites provenant de la même rivière que la zone de déversement (Largiader, 1995). Cette stratégie permet de préserver une part de l'adaptation locale des truites. Elle ne permet cependant pas de prendre en compte tous les processus naturels important, tels que, p.ex., la sélection sexuelle.

Au niveau plus local, les stocks de truites maintenus dans les pisciculture (19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 47, 48, 49, 50 ; annexe 7.5) et utilisés pour les rempoissonnements présentent des différences plus ou moins marquées par rapport aux truites recensées dans les cours d'eau alevinées. Dans une situation de dysfonctionnement du frai naturel et de succès du rempoissonnement, on s'attend à ne pas trouver de différences génétiques entre les sources du rempoissonnement et la population en rivière. Or dans cette étude, nous constatons souvent, mais pas toujours, d'importantes différences génétiques. Ces résultats permettent de conclure que là où les différences sont plus importantes, la reproduction naturelle en rivière doit participer de manière importante au recrutement naturel des truites dans ces cours d'eau. En conséquence, la nécessité de pratiquer le rempoissonnement afin de maintenir une exploitation piscicole est donc à remettre en question et à vérifier au cas par cas. Ces éléments sont discutés plus en détails ci-dessous, en nous penchant sur chacun des différents bassins versants.

4.2 Alta Leventina

La zone de compétence de la société de pêche Alta Leventina comprend les municipalités de Dalpe, Prato Leventina, Quinto, Airolo et Bedretto, situées entre le Dazio Grande del Piottino et la frontière avec les cantons d'Uri (sources du Saint-Gothard) et du Valais (sources du Nufenen et del Corno) : sur ce vaste territoire de plus de 27'000 hectares, on compte une trentaine de lacs alpins et plus de 90 kilomètres de cours d'eau.

La société est très active dans la pratique du repeuplement. En fait, tous les cours d'eau de sa juridiction sont repeuplés par des juvéniles. En 2018, 20'000 alevins, 6'000 estivaux et 24'500 1+ de *Salmo trutta* ont été mis à l'eau comme les années précédentes.

Dans ce district, outre les géniteurs de la pisciculture de Rodi, deux stations de la rivière Tessin ont été échantillonnées, plus précisément à Stalvedro (9) et sur le col de la Novena (46). Dans l'analyse des données, les échantillons piscicoles de la pisciculture de la société de pêche la Biaschese (50) ont été inclus, car ils reçoivent les œufs de celle de Rodi et deux tronçons de rivière sont repeuplés par cette dernière, à savoir la rivière Iragna (27) et la rivière Lodrino (28) (annexe 7.3.1).

En examinant le tableau F_{ST} (Figure 10), il apparaît qu'une seule donnée n'est pas significative, à savoir la comparaison entre la pisciculture de Rodi (9) et le site échantillonné de la Novena (46). Cela signifie que les truites de deux sites échantillonnés ne sont pas différentes génétiquement. Pour toutes les autres comparaisons par paires, nous avons des résultats significatifs, ce qui montre que les populations analysées le sont. Ainsi, les truites retrouvées dans les rivières ne proviennent pas uniquement de la pisciculture mais également du frai naturel. Une valeur plus grande indique un impact moindre de la pisciculture. Cela veut dire aussi que la part du frai naturel au recrutement dans la rivière doit être importante.

Le résultat non significatif trouvé entre la population de pisciculture et la population de la Novena semble dû principalement à deux raisons : d'abord, le site analysé est situé à la source du Tessin à une altitude d'environ 1'940 mètres. Ensuite, le cours d'eau ne présente pas les conditions idéales pour la reproduction naturelle et aucun juvénile n'a été trouvé lors des pêches électriques. Ainsi, ce résultat suggère que la reproduction naturelle ne fonctionne pas à cet endroit du Ticino. Le rempoissonnement semble donc permettre de maintenir la pêche à la truite sur ce secteur.

En analysant avec précision le tableau F_{ST} (Figure 10), nous constatons que la comparaison entre la Biaschese (50) et la rivière Lodrino (28) a la valeur la plus élevée. Cela indique que l'alevinage est inefficace dans cette rivière

En approfondissant le graphique créé par mes soins au moyen de STRUCTURE (Figure 11), il est facile de comprendre que les truites originaires du bassin versant du Tessin ont pratiquement disparu de cette région. En fait, seules des traces en sont retrouvées chez certains individus.

Le graphique montre que les populations 9, 27 et 28 ressemblent davantage aux populations de référence du nord de la Suisse que les autres et qu'elles diffèrent considérablement des truites présentes dans les pisciculture 25 et 50.

4.3 Leventinese

La zone de compétence de la société de pêche Leventinese s'étend du pont du Piottino au pont ferroviaire de Giornico.

Cette société est très active dans le repeuplement, en fait tous les cours d'eau de sa juridiction sont alevinés. En 2018, 35'000 estivaux de *Salmo trutta* ont été introduits comme lors des années précédentes.

Au cours de notre étude, ont été échantillonnées dans cette zone, outre les géniteurs de la pisciculture de Lavorgo (26), deux stations de la rivière Tessin, plus précisément celles de Lavorgo (8) et de Polmengo (10). Les échantillons piscicoles de la pisciculture de la société de pêche la Biaschese (50) ont été inclus dans l'analyse des données, car ils reçoivent les œufs de Lavorgo, de deux tronçons de rivière repeuplés par cette pisciculture, à savoir la rivière Iragna (27) et la rivière Lodrino (28). Deux secteurs de compétence des pêcheurs de l'Onsernone-Melezza qui reçoivent les œufs de l'écloserie de Lavorgo, le premier sur la rivière Ribo (30) et le second sur la rivière Isorno (29), ont été inclus (annexe 7.3.2).

En analysant le tableau F_{ST} (Figure 12), il ressort qu'une seule donnée n'est pas significative, soit la comparaison entre la population de Lavorgo (8) et celle de Polmengo (9). Cela signifie que les truites des deux sites échantillonnés ne sont pas différentes génétiquement. À Lavorgo, les échantillons ont été prélevés en amont d'une barrière infranchissable. Cette identité génétique pourrait être due au fait que lorsqu'il y a des inondations ou que la sortie est ouverte pour vidange, les poissons peuvent passer d'un côté à l'autre et il semble que les poissons descendent vers la vallée. Pour toutes les autres comparaisons par paires, nous avons des résultats significatifs, les populations analysées sont donc différentes génétiquement.

En examinant de près le tableau F_{ST} (Figure 12), nous constatons que la pisciculture (26) présente des valeurs élevées par rapport aux tronçons de Lavorgo (8), Polmengo (10), Isorno (29) et Ribo (30). Cela indique clairement qu'elle n'a que peu d'impact sur la population en place et, par conséquent que le maintien des populations est probablement grandement

garanti par le frai naturel. Dans les tronçons échantillonnés, la morphologie du cours d'eau se prête bien à la reproduction naturelle de la truite. Les échantillonnages dans ce secteur ont eu lieu en mars, il n'a donc pas été possible de vérifier le succès de la reproduction.

La valeur la plus faible trouvée, en plus de la valeur non significative, est celle résultant de la comparaison entre Polmengo (10) et Lodrino (28), cette station étant située en amont de la barrière infranchissable.

En approfondissant le graphique que j'ai créé à l'aide du logiciel STRUCTURE (Figure 13), il est facile de comprendre que les truites originaires du bassin versant du Tessin ont pratiquement disparu dans cette zone. En fait, seules des traces ont été trouvées chez certains individus. Le graphique montre comment les populations 8, 10, 28 et 30 s'écartent à la fois des échantillons de référence et des truites de pisciculture analysées pour le secteur. Les populations 27 et 29 sont plutôt similaires à l'échantillon de référence de *Salmo trutta*. Les truites de l'élevage de Lavorgo (26) et de la Biaschese (50) s'écartent de toutes les autres populations analysées.

4.4 Bleniese

La zone de compétence de la société de pêche la Bleniese est très vaste : elle s'étend de l'embouchure de la vallée de Blenio à la frontière avec le canton des Grisons et recouvre toutes les vallées latérales, qui comprennent le Val Malvaglia, le Val Carassina, le Val Camadra, la Valle di Campo et la région du Lucomagno.

Cette société est très active dans les pratiques de repeuplement. En fait, toutes les cours d'eau de sa juridiction sont alevinés. En 2018, 51'200 estivaux de *Salmo trutta* ont été introduits conformément à la tendance des années précédentes.

Au cours de cette étude, en plus des reproducteurs de la pisciculture de Corzoneso (26), deux stations de la rivière Brenno ont été échantillonnées dans ce district, plus précisément à Legiuna (32) et au Pont di Frasch (34), dans une section du Brenno du Lucomagno à Pü et une sur l'Orino dans la région de Fontanee (31) (annexe 7.3.3).

En analysant le tableau F_{ST} (Figure 14), il apparaît que seuls deux résultats ne sont pas significatifs : la comparaison entre la pisciculture de Corzoneso (48) et le site échantillonné sur l'Orino (31) ainsi que la comparaison entre les deux sites échantillonnés sur le Brenno (34 et 32). Cela signifie, que les truites des deux sites échantillonnés ne sont pas différentes génétiquement.

Ces deux résultats sont probablement dus à deux raisons diverses : la première semble indiquer que la reproduction naturelle dans cette section de la rivière Orino ne fonctionne pas et que la truite mise à l'eau par la société de pêche parvient à survivre. Le deuxième résultat indiqué est plutôt dû au fait qu'il n'existe pas d'obstacles à la libre migration piscicole, les deux tronçons étant proches géographiquement, des échanges génétiques peuvent donc avoir lieu naturellement. Pour toutes les autres comparaisons par paires, nous avons des résultats significatifs, ce qui signifie simplement que les populations analysées sont différentes génétiquement et que la libre migration des truites n'a pas lieu.

En examinant attentivement le tableau F_{ST} (Figure 14), nous constatons que la comparaison entre la pisciculture (48) et le Brenno du Lucomagno à Pü présente la valeur la plus élevée. Dans cette station, la présence de juvéniles issus de la reproduction naturelle était bonne. Le tronçon de Pü, facilement accessible, est fortement aleviné, mais ces poissons ne se retrouvent pas dans les résultats génétiques. Cela indique que les poissons utilisés par la société de pêche Bleniese pour le repeuplement des cours d'eau ne survivent pas bien dans ce tronçon.

En approfondissant le graphique créé au moyen de STRUCTURE (Figure 15), il est facile de comprendre que les truites originaires du bassin versant du Tessin ont pratiquement disparu de cette région. En fait, seules des traces ont été retrouvées chez certains individus échantillonnés dans la Legiuna. La truite marbrée présente dans le réseau hydrographique de la rivière Brenno a massivement disparu depuis les années '70 et antérieures (Danilo Foresti, communication personnelle). Il ressort du graphique que les populations 32, 33 et 34 s'écartent à la fois des échantillons de référence et de la truite de pisciculture analysée pour le secteur. La population 31 est au contraire similaire à l'échantillon de référence de *Salmo trutta* et à ceux présents dans la pisciculture de la société.

4.5 Bellinzonese

La zone de compétence de la société de pêche Bellinzona s'étend de Claro à Gudo.

Cette société est très active dans les pratiques de repeuplement. En 2018, 26'000 estivaux de *Salmo trutta* ont été mis à l'eau conformément à la tendance des années précédentes. En 13 ans, la rivière Tessin a été repeuplée par 1'000'000 d'individus. (FTAP, 2019)

Au cours de cette étude, en plus des poissons de la pisciculture de Gorduno (22), une section de la rivière Tessin à Gnosca (11), une de la Moesa (7), deux de Morobbia (13 et 40) ont été échantillonnées dans cette zone. Sans compter une section de la rivière Gorduno (14) où il est impossible de pêcher car la pêche y est interdite (annexe 7.3.4).

L'analyse du tableau F_{ST} (Figure 16) montre que pour toutes les comparaisons par paires, nous obtenons des résultats significatifs, ce qui signifie que les populations analysées sont différentes génétiquement. Le résultat le moins élevé est issu de la comparaison des deux grandes rivières (Moesa et Tessin). Cela est dû au fait que les populations sont proches géographiquement et qu'il peut donc y avoir des échanges génétiques car il n'y a aucun obstacle à la libre migration. Les truites de la pisciculture présentent des différences assez importantes avec celles de tous les autres sites échantillonnés, en particulier avec les sites 13 et 40 (tous deux situés le long de la Morobbia). Ces résultats peuvent être dus au fait que la reproduction fonctionne bien dans le secteur et, donc, qu'on ne retrouve pas les truites mises à l'eau par la société de pêche. Cela relève aussi que les poissons utilisés pour le repeuplement des cours d'eau du district ne survivent pas bien, le maintien de la population étant probablement garanti par le frai naturel.

En approfondissant le graphique créé au moyen de STRUCTURE (Figure 17), il est évident que les truites originaires du bassin versant du Tessin ont pratiquement disparu de cette région. En fait, on n'en trouve que des traces chez certains individus, y compris de la pisciculture. La truite marbrée présente dans le réseau fluvial tessinois s'est faite de plus en plus rare depuis les années 70 (Danilo Foresti, communication personnelle). On peut voir sur le graphique que les populations 7, 11, 13, 14 et 40 diffèrent à la fois des échantillons de référence et de la truite piscicole analysée pour le secteur.

Figure 28 : hybride de truite marbré présent dans la pisciculture de Gorduno

4.6 Moesano

Afin de mieux comprendre la dynamique de la région de Bellinzona, les truites de la pisciculture de Cama dans les Grisons ont également été analysées. L'analyse du tableau F_{ST} (Figure 18) montre que tous les résultats sont significatifs (annexe 7.3.5).

En examinant le graphique créé dans STRUCTURE (Figure 19), il apparaît clairement que les truites originaires du bassin versant du Tessin ont pratiquement disparu dans cette région. En fait, on n'en trouve que des traces chez certains individus, y compris dans la pisciculture. La truite marbrée présente dans le réseau fluvial tessinois a disparu dans les années 70. Le graphique montre que la population 7 est très similaire à la population de pisciculture (49). Cela est dû au fait que le garde-pêche a capturé ses reproducteurs directement dans la rivière Moesa et rajeunit le stock avec des individus de la même rivière. (Flavio Nollo, communication personnelle).

4.7 Verzaschese

Le Verzaschese gère une vaste juridiction allant de Sonogno à Tenero et à Cugnasco.

Cette société est très active dans les pratiques de repeuplement, en fait toutes les cours d'eau de sa juridiction sont repeuplées avec des juvéniles. En 2018, 50'000 estivaux de *Salmo trutta* ont été introduits conformément à la tendance des années précédentes.

Au cours de cette étude, en plus des reproducteurs de la pisciculture de Sonogno (23), trois populations ont été échantillonnées sur la rivière Verzasca à Gordola (43), à Cabioi (44) et à Frasco (45) dans ce district. Les populations 7, 11, 13, 14, 29, 30 et 40 ont également été incluses dans l'analyse des données, car les œufs produits à Sonogno sont distribués à la société de pêche Onsernone-Melezza et Bellinzonese (annexe 7.3.6).

L'analyse du tableau F_{ST} (Figure 20) montre que pour toutes les comparaisons par paires, nous obtenons des résultats significatifs, soit que les populations analysées sont différentes génétiquement. La pisciculture de Sonogno a des résultats élevés par rapport à toutes les autres populations, cela indique que les poissons utilisés pour le repeuplement des cours d'eau dans le district ne survivent pas bien. Les résultats les plus élevés se trouvent dans les populations les plus proches géographiquement de la pisciculture. Ces résultats sont

certainement dus au succès de la reproduction naturelle du secteur. Ce dernier semble être suffisant pour réussir à maintenir une population locale.

En approfondissant le graphique créé dans STRUCTURE (Figure 21), il est facile de comprendre que les truites originaires du bassin versant du Tessin ont pratiquement disparu de cette région. En fait, seules des traces sont retrouvées chez certains individus. Le graphique montre que les populations 7, 11, 13, 14, 30, 43, 44, 45 diffèrent à la fois des échantillons de référence et des poissons analysés en pisciculture. Dans ce cas, les poissons de l'écloserie de Sonogno ressemblent à ceux de référence de la souche atlantique.

4.8 Valmaggese

La Valmaggese gère une vaste juridiction allant de Lodano aux hautes vallées de Rovana, Bavona et Lavizzara.

Cette société est très active dans les pratiques de repeuplement. En fait, toutes les cours d'eau de sa juridiction sont repeuplés par des juvéniles. En 2018, 50'000 alvins et 133'000 estivaux de *Salmo trutta* ont été mis à l'eau conformément à la tendance des années précédentes.

Au cours de cette étude, en plus du stock reproducteur de Bignasco (24), deux tronçons de la haute Maggia (15 et 41), un tronçon à Peccia (16) et un situé dans la Maggia à Bignasco (16) ont été échantillonnées dans cette zone. Deux populations de la Bavona (18 et 42) et deux de la Rovana (une dans la vallée de Campo et une dans la vallée de Bosco) ont été échantillonnées. Deux populations de la Melezza (3 et 4) et une de la rivière Vadina (12) ont également été incluses dans les analyses, dans la mesure où les œufs produits à Bignasco alimentent les écloseries de la Locarnese à Maggia et de l'Onsernone-Melezza (annexe 7.3.7).

En analysant le tableau F_{ST} (Figure 22), il apparaît que pour 80% des comparaisons par paires, nous obtenons des résultats significatifs, ce qui signifie que les populations analysées sont souvent différentes génétiquement. Cela indique que les poissons utilisés par la société de pêche Valmaggese pour le repeuplement des cours d'eau ne survivent pas bien.

Un total de 13 comparaisons n'a montré aucun résultat significatif. La population du Vadina (12) avec les populations 16, 54, 55 ; celle de Peccia (16) avec les populations 12, 24, 41, 54, 55 ; celle de la Maggia (17) avec les populations 18 et 42 ; celle de la Bavona (18) avec les populations 17 et 42 et celle de pisciculture avec les populations 18, 41, 55. De plus, la

comparaison entre les deux populations de la Rovana n'était pas significative. En examinant le tableau, nous pouvons constater que les comparaisons non significatives avec la pisciculture se situent dans des zones facilement accessibles où la morphologie du cours d'eau n'est pas particulièrement adaptée à la reproduction naturelle ; en fait on n'a pas remarqué la présence de juvéniles sauvages dans ces zones. Les résultats pourraient donc être dus au fait que les poissons de pisciculture, introduits en masse dans ces secteurs (Figure 29), réussissent à survivre, le recrutement naturel étant déficitaire.

Figure 29: truite de pisciculture retrouvé dans la rivière

Un fait intéressant ressort du tableau : celui des poissons de la Melezza échantillonnés à la frontière à Camedo. Il est connu que des truites marbrées sont mises dans la partie italienne de ce cours d'eau. En fait, la population 3 diffère nettement de toutes les autres à l'exception de celle géographiquement la plus proche échantillonnée à Golino (4).

En approfondissant le graphique créé à l'aide de STRUCTURE (Figure 23), il est évident que les truites originaires du bassin versant du Tessin ont disparu dans presque tout le district. La Melezza formant la seule exception, où l'on constate encore une bonne présence de génotypes de *Salmo marmoratus* et celle de quelques individus affectés à la population de référence de l'Adriatique. Cette rivière est très importante car les truites qui y vivent pourraient être utilisées en tant que souche pour essayer de réintroduire *Salmo marmoratus* dans d'autres rivières du canton. Le graphique montre que la pisciculture (24) ressemble aux

populations 41 et 16, ce que reflète l'analyse de l'indice F_{ST}. Par ailleurs, les autres populations échantillonnées diffèrent nettement à la fois des échantillons de référence et des poissons de la pisciculture.

Si nous examinons attentivement le graphique (Figure 23), des individus ont été assignés à la truite de référence de l'Adriatique dans la population 54. C'est le seul cas dans le canton du Tessin où des individus d'une certaine pureté ont été trouvés. Il est indispensable de procéder à d'autres analyses dans ce cours d'eau, afin d'affiner ce résultat et d'essayer de trouver la source de ces individus de *Salmo cenerinus*.

4.9 Locarnese

La juridiction du Locarnese va de la basse vallée de la Maggia aux Centovalli.

L'association repeuple depuis longtemps un vaste territoire : tout le bassin de la Maggia avec Lavizzara, Rovana et Bavona, les rives du littoral locarnais (de Gudo à Brissago), l'Onsernone, la Melezza et le Gambarogno; puis, avec la naissance d'autres associations, elle a réduit sa superficie, mais son dévouement au patrimoine halieutique est resté inchangé principalement grâce à l'écloserie sociale de Maggia.

Cette société est très active dans les pratiques de repeuplement, en effet tous les cours d'eau de sa juridiction sont alevinés par des juvéniles : en 2018, 255'000 estivaux de *Salmo trutta* ont été introduits comme les années précédentes.

Au cours de cette étude, deux sites de la Melezza (3 et 4), la rivière Vadina et la population de Gordola de la Verzasca (43) ont été échantillonnées dans ce district, ainsi que les poissons de la pisciculture de Maggia (47) (annexe 7.3.8).

Il ressort du tableau F_{ST} (Figure 24) que nous avons des résultats significatifs pour toutes les comparaisons par paires et cela signifie que les populations analysées sont différentes génétiquement. Cela indique que les poissons utilisés pour le repeuplement des cours d'eau du district ne survivent pas et le maintien de la population est probablement assuré par le frai naturel.

En approfondissant le graphique créé dans STRUCTURE (Figure 25), il est apparent que les truites originaires du bassin versant du Tessin ont disparu dans presque tout le district. La Melezza est la seule exception, on y trouve encore une bonne présence de génotypes de

Salmo marmoratus et quelques individus affectés à la population de référence adriatique – *Salmo cenerinus*. Le graphique montre que la pisciculture (47) diffère considérablement de toutes les autres populations étudiées. En fait, le matériel est issu de la pisciculture italienne de Maccagno. Il conviendrait ne plus s'approvisionner à Maccagno, car nous ne le trouvons nulle part dans les cours d'eau.

4.10 Ceresiana

La Ceresiana possède une vaste juridiction allant du Ceneri à Melano, en passant par tout le territoire du Malcantone.

Cette société est très active dans les pratiques de repeuplement. En fait, toutes les cours d'eau de sa juridiction sont repeuplés par des œufs et des juvéniles. En 2018, 550'000 œufs de *Salmo trutta* ont été introduits grâce à l'utilisation de boites *vibert* ainsi que 107'000 alvins et 320'500 estivaux de truite fario (*Salmo trutta*) et 86'000 alvins de truite marbrée, conformément à la tendance des années précédentes.

Au cours de cette étude, en plus du stock reproducteur de Maglio di Colla (19, 20 et 21), deux de la rivière Cassarate (1 et 2), deux du Vedeggio (5 et 6), une sur la Magliasina (38) et une sur la Lisora (39) ont été échantillonnées dans cette zone. Deux populations de la rivière Breggia (35 et 36) et une de la rivière Laveggio (37) ont également été incluses dans les analyses car le poisson produit par la société Ceresiana est livré à la société de pêche Mendrisiense pour être mis à l'eau dans son propre secteur (annexe 7.3.9).

Il ressort du tableau F_{ST} (Figure 26) que seules deux données ne sont pas significatives, à savoir la comparaison entre la rivière Cassarate à Curtina (1) et la rivière Cassarate dans la zone Stampa (2) ainsi que la comparaison entre la forme résidente (19) et la forme migratrice de *Salmo trutta* (20). La comparaison avec la pisciculture indique que les deux espèces de poissons gardées séparées sont très semblables génétiquement. Le résultat insignifiant de la seconde comparaison peut être dû au fait que les truites sont géographiquement très proches et que des échanges naturels peuvent avoir lieu.

En nous concentrant sur le tableau F_{ST} (Figure 26), nous pouvons constater que la population 21, c'est-à-dire la truite marbrée de référence, diffère considérablement de toutes les autres populations. Le tableau montre que la comparaison entre les populations du Vedeggio et de la Breggia et celles de pisciculture présente des données élevées. Ce résultat est certainement

dû au fait que la reproduction naturelle dans ces compartiments fonctionne bien (Inventaire et cartographie des frayères, FIBER 2019) et que, par conséquent, les truites trouvées dans la rivière proviennent de la reproduction naturelle et non du rempoissonnement. D'après les données obtenues, on peut affirmer que les poissons produits dans l'écloserie de Maglio di Colla ne conviennent pas aux pratiques de repeuplement.

En approfondissant le graphique créé dans STRUCTURE (Figure 27), il est facile de comprendre que les truites originaires du bassin versant du Tessin ont disparu dans presque tout le district. La population de truite marbrée présente dans la pisciculture s'est introgressé ces dernières années. Il ressort du graphique que la truite de pisciculture, à l'exclusion des marbrées, ressemble beaucoup à celle des Alpes du Nord. Une bonne partie de la population 36 peut être affectée à la truite issue de la pisciculture. En effet, plusieurs spécimens venaient d'être placés lors de l'échantillonnage, alors que d'autres provenaient de la reproduction naturelle. Toutes les autres populations examinées diffèrent considérablement des échantillons de référence et des échantillons de pisciculture. Cela indique clairement une différenciation locale.

5 Conclusion

L'OFEV a élaboré de nouvelles directives (Génétique et pêche, Repeuplement durable des cours d'eau, Synthèse des suivis d'efficacité des rempoissonnements en Suisse {pas encore publiée}) visant à rendre la gestion des populations de poissons plus conforme aux principes de durabilité de la gestion et de l'exploitation figurant à l'art. 3 de la LFSP.

Les directives visent en particulier à favoriser le maintien de la diversité génétique des populations sauvages et, partant, à favoriser leur adaptation aux particularités locales, tout en préservant la possibilité de développer des lignées évolutives différenciées parmi les populations présentant des zones de diffusion qui resteraient sans intervention humaine.

Cette exigence s'applique en particulier à la gestion des populations sauvages indigènes ayant leur propre potentiel de reproduction (cours d'eau et grands lacs ; populations de *Salmo trutta* ; *Salmo marmoratus* ; *Salmo cenerinus* ; *Thymallus thymallus*), tandis que pour la gestion des lacs alpins divers bassins sans émissaires ni affluents n'ont pas cette exigence, étant donné que les populations dans ces endroits étaient absentes à l'origine et qu'elles dépendent strictement d'un repeuplement artificiel. (OFEV, 2018)

Se demander donc si le matériel utilisé au Tessin pour le repeuplement des cours d'eau est adapté pour pratiquer une gestion durable des souches originaires, après des années de repeuplement massif effectué au moyen de souches de provenance douteuse, devrait être une question obligatoire pour vérifier deux éléments d'importance fondamentale. Le premier est de comprendre si, d'un point de vue de conservation, nous travaillons dans la bonne direction, c'est-à-dire de ramener les espèces originelles et locales dans des conditions d'auto-entretien

La seconde est de comprendre si les efforts en termes économiques et de travail sont soutenables et dans ce cas dans quelles conditions, étant donné que le modèle de gestion actuelle se base sur la collaboration stricte entre Canton et sociétés de pêche chargées du travail dans les pisciculture. Dans ce cadre les intérêts du monde de la pêche et le soutien actif des différentes sociétés est une partie essentielle.

Les analyses génétiques effectuées sur la totalité des échantillons prélevés ont montré qu'une bonne partie des populations étudiées diffèrent les unes des autres et que les espèces de *Salmo marmoratus* et de *Salmo cenerinus* ont pratiquement disparu au profit de *Salmo trutta*.

Un résultat très réjouissant a cependant été obtenu dans les populations analysées de la rivière Melezza, dont la plupart des individus semblent appartenir à la lignée évolutive de la truite marbrée, malgré des signes d'introgression avec des phénotypes intermédiaires entre les deux espèces (Figure 30). Des analyses approfondies de l'ensemble du cours d'eau, en collaboration avec les instances italiennes en charge, étant donné qu'il s'agit d'un cours d'eau transfrontalier, seraient appropriées pour tenter de sauvegarder une espèce disparue en Suisse. C'est la première fois qu'un résultat établit la base scientifique permettant de déterminer une unité de gestion (UG) cohérente avec les connotations zoogéographiques du canton du Tessin.

Figure 30: truite marbrée en haut et hybride fario-marbré en bas

Les résultats ont révélé que, souvent, les truites issues des écloseries gérées par les sociétés de pêche ne se retrouvent pas dans les rivières. Cela remet en question dans un grand nombre de cours d'eau la fonctionnalité et l'utilité du rempoissonnement pratiqué aujourd'hui. Ce qui soulève donc la question de comment modifier cette gestion afin de la rendre utile et fonctionnelle, tant pour la pêche, que pour la conservation du patrimoine halieutique tessinois.

Il ressort de la synthèse sur les contrôles de l'efficacité du repeuplement effectué en Suisse au cours des 40 dernières années qu'un repeuplement des cours d'eau ne parvient que très rarement à soutenir les populations sauvages de truites (Vonlanthen, pas publié). Les résultats de le présente étude génétique correspondent donc aux observations faites dans d'autres rivières suisses et ne sont en aucun cas une singularité tessinoise. Quelles que soient les modifications de la gestion qui seront prises, il sera nécessaire d'organiser des contrôles sur l'efficacité du repeuplement pour voir si les pratiques maintenues sont justifiées ou pas.

À la lumière des nouvelles connaissances obtenues grâce à cette étude, il est possible de fournir les recommandations suivantes pour la gestion de la pêche :

Premièrement, il s'agit de promouvoir les espèces locales et indigènes (*Salmo marmoratus* et *Salmo cenerinus*). La Melezza, pourrait être une source potentielle, mais c'est à vérifier, surtout selon son degré d'hybridation avec la souche atlantique ou adriatique, qui doit être déterminé plus précisément. La truite adriatique n'existe plus à l'état suffisamment pur au Tessin. Il faudrait donc la récupérer à l'étranger, procédant d'abord à une analyse du territoire de distribution originaire de l'espèce. Je conseille au Service de la chasse et de la pêche de développer une stratégie de conservation de *Salmo marmoratus* et de *Salmo cenerinus*.

Deuxièmement, l'alevinage est à abandonner dans les cours d'eau où il ne fonctionne pas. Du point de vue scientifique, cela tombe sous le sens, le concept est ainsi souligné dans la dernière publication OFEV « Repeuplement durable des cours d'eau » (OFEV, 2018). Mais cette mesure provoquera des discussions parmi les pêcheurs. Le Service de la chasse et de la pêche et les sociétés de pêche devraient revoir ensemble le plan de gestion des rivières tessinoises et œuvrer pour une gestion plus durable et économique.

Troisièmement, il serait souhaitable d'effectuer un contrôle d'efficacité pour les actions de repeuplement réalisées, soit par marquage soit par interruption du repeuplement. Techniquement, la meilleure méthode consiste à interrompre le repeuplement par un suivi (avant et après) sur plusieurs années des populations investiguées et un relevé des statistiques de pêche. (Vonlanthen, pas publiée). Des études de marquage des poissons mis à l'eau pourraient être envisagés dans les cours d'eau où le rempoissonnement est maintenu.

En conclusion, seuls des habitats intacts garantiront une population piscicole saine et son exploitation durable. L'assainissement de la force hydraulique (débits minimaux, éclusées,

libre migration piscicole), la renaturation, l'espace relatif aux rivières et aux lacs, etc. ne sont que quelques-unes des bases introduites au cours des dernières décennies dans les lois fédérales pour poursuivre cet objectif à long terme.

6 Bibliographie

Allendorf, F. W., Leary, R. F., Spruell, P., & Wenburg, J. K. (2001). The problems with hybrids: setting conservation guidelines. Trends in ecology & evolution, 16(11), 613-622.

Araki, H., Cooper, B., Blouin, M. S. (2007). Genetic Effects of Captive Breeding Cause a Rapid Cumulative Fitness Decline in the Wild. Science 318, pp. 100 à 103.

Dagani, D. (2010). Introgression of Atlantic brown trout (Salmo trutta) and presence of marble trout (Salmo marmoratus) in the Swiss portion of the Ticino river. Travail de master es sciences en comportement, evolution et conservation. Universite de Lausanne.

Earl, Dent A. and vonHoldt, Bridgett M. (2012) STRUCTURE HARVESTER: a website and program for visualizing STRUCTURE output and implementing the Evanno method. Conservation Genetics Resources vol. 4 (2) pp. 359-361

Excoffier, L. and H.E. L. Lischer (2010) Arlequin suite ver 3.5: A new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. Molecular Ecology Resources. 10: 564-567.

Evanno et al., 2005. Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. Molecular Ecology 14, 2611 - 2620

Fiber. 2015. Les truites en Suisse. Diversité, biologie et reproduction. Une brochure d'information du Bureau suisse de conseil pour la pêche FIBER.

Goudet J (1993). The genetics of geographically structured populations. PhD thesis. 304 p. University of Wales, College of Bangor.

Huxel, G. R. (1999). Rapid displacement of native species by invasive species: effects of hybridization. Biological conservation, 89(2), 143-152.

Kottelat, M., & Freyhof, J. (2007). Handbook of European freshwater fishes. Publications Kottelat. Cornol, Switzerland.

Largiader, C. R., & Scholl, A. (1995). Effects of stocking on the genetic diversity of brown trout populations of the Adriatic and Danubian drainages in Switzerland. Journal of Fish Biology, 47(sA), 209-225.

Leary, R. F., Allendorf, F. W., & Sage, G. K. (1995). Hybridization and introgression between introduced and native fish. In American Fisheries Society Symposium (Vol. 15, pp. 91-101).

Lucarda A.N., 2007. Metodi di ricerca e di gestione finalizzati alla conservazione della Trota Marmorata. Biologia Ambientale, 21 (2) : 75-91.

OFEV (éd.) 2018 : Repeuplement durable des cours d'eau. Conditions-cadres et principes. Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement n° 1823 : 42 p.

Pizzul, E., Bottois, P., Vanzo, S., Tosolini, G., (2003). Osservazioni preliminari sulla predazione della Trota fario e della Trota marmorata nei confronti dei macroinvertebrati bentonici presenti nel drift del torrente But (Bacino del fiume Tagliamento, Friuli Venezia Giulia). Biologia Ambientale, 17 (1): 25-33.

Poteaux, C., Berrebi, P., & Bonhomme, F. (2000). Allozymes, mtDNA and microsatellites study introgression in a stocked trout population in France. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 10(3), 281-292.

Pritchard JK, Stephens M, Donnelly P. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. Genetics 155: 945–959.

Ryman, N., Utter, F., & Laikre, L. (1995). Protection of intraspecific biodiversity of exploited fishes. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 5(4), 417-446.

Raymond M. & Rousset F, 1995. GENEPOP (version 1.2): population genetics software for exact tests and ecumenicism. J. Heredity, 86:248-249

Rousset, F., 2008. Genepop'007: a complete reimplementation of the Genepop software for Windows and Linux. Mol. Ecol. Resources 8 : 103-106.

Vonlanthen P., Hefti D. 2016. Génétique et Pêche. Synthèse des études génétiques et recommandations en matière de gestion piscicole. Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement n° 1637 :90 p.

Volanthen, P., Kreienbühl, T., Schmid, C. 2017. Populationsgenetische Untersuchung der Forellen im Kanton Aargau. Aquabios GmbH, Auftraggeber: Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Sektion Jagd und Fischerei, Kanton Aargau.

USTAT 2018: Territorio e ambiente

Sites Internet

Federazione Ticinese per l'Acquicoltura e la Pesca [En ligne]. http://www.ftap.ch/ (consulté le 9 novembre 2019).

Inventaire et cartographie des frayères [En ligne] https://www.fischereiberatung.ch/fr/themes-principaux/reproduction-naturelle/programme-frayeres (consulté le 9 novembre 2019).

Textes de loi

923.0 Loi fédérale sur la pêche (LFSP) du 21 juin 1991 (Etat le 1er mai 2017) RO 1991 2259

923.01 Ordonnance relative à la loi fédérale sur la pêche (OLFP) du 24 novembre 1993 (Etat le 1er mai 2018) RO 1993 3384

923.100 Legge cantonale sulla pesca (LCP) e sulla protezione dei pesci e gamberi indigeni (del 26 giugno 1996)

923.110 Regolamento di applicazione (RALCP) della legge cantonale sulla pesca e sulla protezione dei pesci e dei gamberi indigeni (del 15 ottobre 1996). Etat le 1er janvier 2018

7 Annexe

7.1 Glossaire

Terme	Description
Acide désoxyribonucléique (ADN)	L'acide désoxyribonucléique (ADN) est une macromolécule porteuse de l'information génétique présente dans le noyau, les mitochondries et les chloroplastes (chez les plantes). L'ADN est un polymère de nucléotides, composés d'un sucre, d'une base azotée et d'un acide phosphorique. Il est formé de deux chaînes antiparallèles reliées par des liaisons d'hydrogène entre les bases. La succession de ces paires de bases azotées est le support de l'information génétique.
Allèle	Les allèles correspondent à différentes versions d'un même gène. Dans le cas des microsatellites, les fragments de différentes longueurs sont considérés comme des allèles.
Analyse STRUCTURE	Dans ce type d'analyse, on tente d'assigner chaque individu étudié à une population indépendante sur la base de ses caractéristiques génétiques. Cette assignation est d'autant plus facile que la distance génétique entre les populations est élevée. La probabilité qu'un individu appartienne à une population est calculée et les résultats sont généralement présentés sous la forme d'un diagramme en barres. Une analyse STRUCTURE permet également dans certains cas d'identifier les hybrides.
Chromosome	Structure en forme de brindille présente dans chaque noyau cellulaire qui porte l'information génétique de chaque être vivant.
Concept biologique d'espèce	Une espèce est un groupe de populations capables de se reproduire et isolées d'autres groupes par des barrières reproductives.
Consanguinité	Reproduction entre individus présentant un fort degré de parenté.
Dérive génétique	Fluctuation aléatoire (donc non définie par la sélection naturelle) des fréquences alléliques d'une population.
Fitness	La fitness (valeur sélective) décrit la probabilité de survie et de reproduction d'un individu ainsi que le nombre de descendants produits. Plus l'individu est adapté à son environnement, plus sa fitness est élevée.
Flux génétique	En biologie de l'évolution, ce terme décrit les échanges de gènes entre populations d'une même espèce ou au sein d'une même population (par l'effet de migrations par exemple).
Fréquence allélique	Fréquence à laquelle se trouve l'allèle d'un gène à l'intérieur d'une population.
F_{ST}	Le F_{ST} correspond à la proportion de la variance des fréquences alléliques qui s'explique par la répartition des individus en plusieurs populations différentes [en Vonlanthen et al., 2016]. Les valeurs calculées vont ainsi de

	0 (les populations sont identiques génétiquement) à 1 (les populations sont totalement différentes sur le plan génétique).
Gène	Unité héréditaire portée par le chromosome qui code pour une protéine ou sa régulation. Influence les caractéristiques morphologiques et physiologiques d'un individu.
Génétique des populations	Partie de la génétique qui a pour objet l'étude de la distribution et des changements de la fréquence des allèles à l'échelle des populations, sous l'influence des mutations, de la sélection naturelle, de la dérive génétique, de la migration et des recombinaisons.
Génome	Le génome ou patrimoine héréditaire est l'ensemble du matériel génétique d'une cellule ou d'un être vivant.
Génotype	Somme de toutes les variantes alléliques d'un individu pour un ou plusieurs loci.
Goulot d'étranglement démographique	En génétique des populations, une perte de la diversité génétique d'une population suite à une réduction considérable (temporaire) du nombre d'individus de la population ou de l'espèce.
Haplotype	Un haplotype est un groupe d'allèles de différents loci situés sur un même chromosome et habituellement transmis ensemble.
Hétérozygote	Individu qui présente deux allèles différents sur le même locus des chromosomes homologues.
Homozygote	Individu qui présente deux allèles identiques sur le même locus des chromosomes homologues.
Hybridation	En biologie, un hybride est un individu résultant du croisement entre genres, espèces, sous-espèces ou lignées différentes. Le terme d'hybridation désigne ce processus.
Introgression	Transfert d'un gène, d'un chromosome, d'un segment chromosomique ou d'un génome d'une espèce ou d'une population à une autre suite à une hybridation.
Locus (pluriel loci)	Emplacement sur un chromosome (gène ou microsatellite par exemple).
Microsatellite	Locus caractérisé par la répétition fréquente de courtes séquences d'ADN (3'–5' par exemple).
Mutation	On appelle mutation toute modification du matériel génétique qui se transmet ou peut être transmise à la génération suivante.
Phénotype	Ensemble des caractères visibles d'un individu. Le phénotype est le résultat des interactions entre le génotype et l'environnement.
Phylogénie	Reconstitution de l'histoire évolutive de différentes lignées depuis leur divergence à partir d'un ancêtre commun.
Plasticité phénotypique	La plasticité phénotypique est la capacité d'un génotype à exprimer

	différents phénotypes en fonction des conditions environnementales. Les individus vivant dans un même milieu peuvent également présenter des apparences différentes sous l'effet de cette plasticité.
Population	Ensemble d'individus se reproduisant entre eux de manière sexuée et vivant dans le même espace géographique (continu) à la même époque.
Réaction de polymérisation en chaîne (PCR)	La PCR (abréviation de l'anglais Polymerase Chain Reaction) est une technique qui permet, à partir d'une portion de molécule d'ADN, d'obtenir des millions de copies identiques qui pourront être facilement séquencées. Elle fait appel à l'enzyme ADN polymérase. Le terme de «réaction en chaîne» se réfère ici au fait que les produits des cycles précédents servent de substrat aux cycles suivants, ce qui induit une amplification exponentielle.
Recombinaison	La recombinaison génétique est le phénomène conduisant à l'apparition, dans une cellule ou dans un individu, de gènes ou de caractères héréditaires dans une association différente de celle observée chez les cellules ou individus parentaux.
Sélection naturelle	Processus tendant à favoriser la transmission aux générations suivantes des caractères héréditaires assurant la meilleure survie et le meilleur succès de la reproduction au détriment des autres.
Sympatrie	En biologie, la sympatrie désigne une forme de distribution géographique dans laquelle les aires de distribution des représentants de deux espèces, sous- espèces ou populations se chevauchent, de sorte qu'ils sont présents sur un même territoire où ils peuvent se rencontrer et éventuellement s'accoupler.

7.2 Les truites en Suisse

Cette description es tirée du livre de Zaugg B. 2018. Pisces. Atlas. Fauna Helvetica 7, info fauna CSCF, Neuchâtel.

Distribution générale Les truites sont largement répandues en Europe, en Asie Mineure et sur les côtes méditerranéennes de l'Afrique du Nord. Dotées d'une grande capacité d'adaptation, les formes de rivière se retrouvent aussi bien dans les torrents de montagne que dans les grands lacs européens et les formes anadromes se retrouvent le long de l'Atlantique (jusqu'en Islande), de la mer du Nord, de la Baltique ainsi qu'en mer Noire. Elles sont cependant absentes de Méditerranée. L'importance de la truite pour la pêche sportive a provoqué son introduction sur tous les continents.

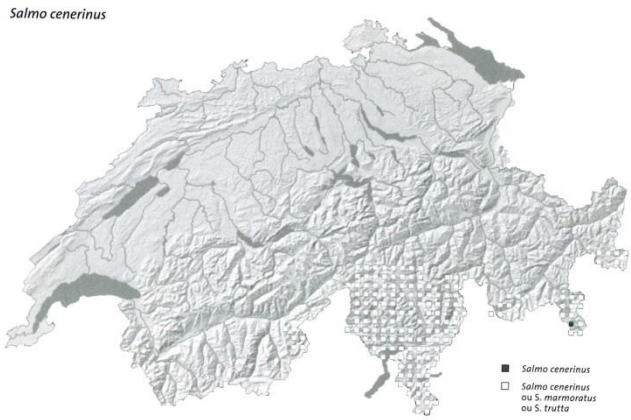
Description du genre La systématique du genre est complexe en raison du grand nombre d'espèces qu'il contient et de leur grande capacité d'adaptation qui induit un haut degré de polymorphisme. Ce dernier est prononcé tant au niveau de la coloration, que de la taille et de la forme du corps. Ainsi, au sein d'une même population, peuvent exister des poissons d'aspect très différent. A titre d'exemple, une truite vivant dans un torrent de montagne pourra avoir une forme élancée et hydrodynamique lui permettant de résister au courant en dépensant un minimum d'énergie, alors qu'un individu vivant dans un lent cours d'eau de plaine aura une forme plus trapue. Citons comme exemple la taille d'un adulte vivant dans un cours d'eau d'altitude qui atteindra à peine 20 cm, alors qu'une truite de la même espèce et du même âge vivant dans un lac peut atteindre le mètre.

Biologie & habitat Qu'elles soient de forme de rivière, de lac ou anadromes, toutes les truites se reproduisent en cours d'eau et entament pour ce faire une migration vers l'amont. Les formes anadromes, telle la truite de mer, parcourent plusieurs centaines de kilomètres pour atteindre les frayères, les formes lacustres et de rivières quelque kilomètres ou quelques centaines voire dizaines de mètres seulement pour les individus vivant en tête de bassin. La période de reproduction, le mode et le besoin sont, quant à eux, identiques. Le frai se déroule d'octobre à janvier, l'eau devant être suffisamment fraîche et oxygénée, et le substrat des frayères composé de gravier non colmaté d'une granulométrie de quelques millimètres à quelques dizaines de millimètres. Lithophiles, les truites enfouissent leurs ovules dans le gravier, souvent à l'abri d'un dôme protecteur. La ponte est ainsi protégée de la prédation et du charriage lié aux crues. Les embryons, très exigeants en oxygène dissous, éclosent après 6 à 12 semaines. Ils résorbent alors leur vésicule vitelline pendant approximativement les 3 semaines de cache dans les interstices du gravier.

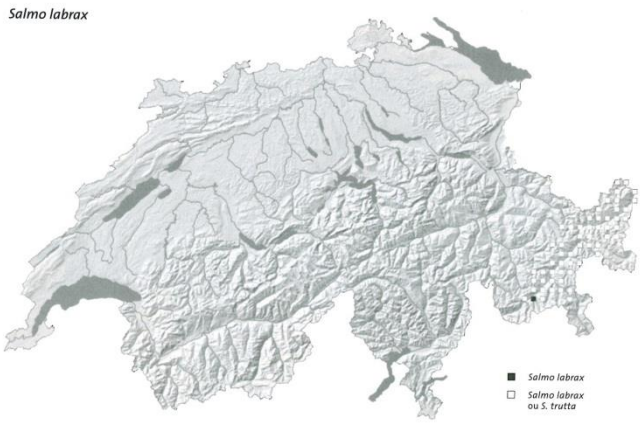
Les truites en Suisse Par la diversité de ses bassin versants dont les exutoires rayonnent à travers l'Europe, le Rhin vers la mer du Nord, le Rhône et le Doubs vers la Méditerranée, l'Inn via le Danube vers la mer Noire, le Pô et l'Adige vers l'Adriatique, la Suisse abritait originalement une grande variété

d'espèces de truites. Actuellement, suite aux rempoissonnements en truites atlantiques (*Salmo trutta*) effectués surtout à des fins halieutiques durant des décennies sur tout le territoire, les espèces autochtones sont devenues rares, que ce soit à cause de la concurrence ou de l'hybridation.

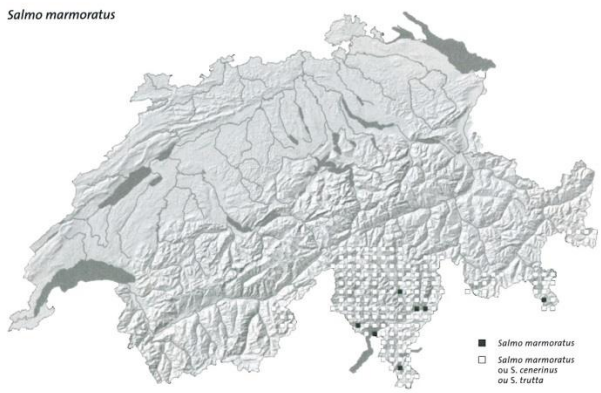
Salmo cenerinus – truite adriatique

Distribution en Suisse 	La truite adriatique ou fario est originaire des bassin su Pô et de l'Adige. Sa distribution actuelle connue se limite à des populations relictuelles documentées dans le lac de Poschiavo et ses tributaires aux Grisons.
Description de l'espèce *Figure 31: Salmo cenerinus, Tessin 2019, Christophe Molina*	D'une taille variant entre 20 et 40 cm en rivière, la forme lacustre peut atteindre 80 cm (max. 100). A l'instar des autres espèces du genre *Salmo*, la reproduction se déroule entre les mois de novembre et février selon l'altitude et la température de l'eau. Espèce âgée de 0.5 à 2 millions d'années, la truite adriatique a souffert des rempoissonnements en truite atlantique (*Salmo trutta*) effectués durant des décennies principalement à des fins halieutiques. Des hybrides entre ces deux espèces existent et menacent le patrimoine génétique de la truite adriatique. La truite lacustre non migratrice du lac de Poschiavo pourrait être de la lignée de la truite adriatique ou un hybride naturel entre truites adriatiques et marbrée (*Salmo marmoratus*) et être ainsi considéré comme une espèce a part entière.
Statut	Cette espèce est classée « menacée d'extinction » en Suisse

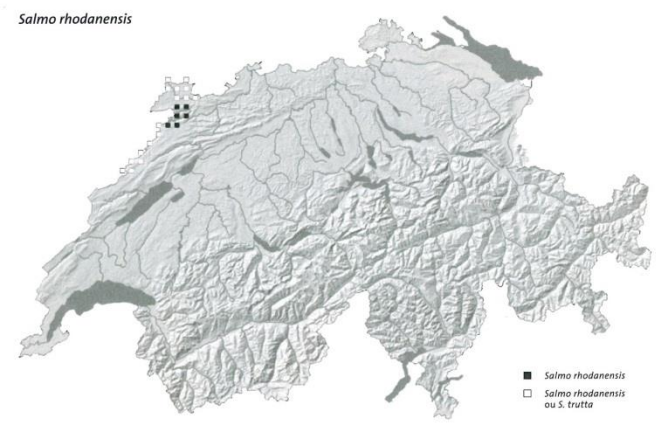
Salmo labrax – truite danubienne

Distribution en Suisse 	La truite de la mer Noire ou Danubienne est typique de la partie supérieure du bassin du Danube. Seule rivière en Suisse rattachée à ce bassin, l'Inn prend sa source dans le canton des Grisons et rejoint le Danube en Bavière (Allemagne) après avoir traversé l'Autriche. Bien que l'espèce ai vraisemblablement occupé le linéaire suisse de cette rivière il y a quelques décennies, il n'existe à ce jour plus qu'une population qui subsiste dans le lac de Sils en Engadine. Si la population existante semple avoir résisté aux rempoissonnements en truites atlantiques (*Salmo trutta*), l'hybridisme et la perte de patrimoine génétique qui en découlent menacent ce taxon d'extinction.
Description de l'espèce *Figure 32: Salmo labrax, Kottelat 2007*	Cette truite dont la taille varie entre 20 et 80 cm (max. 100) selon son habitat est bien répandue autour de la mer Noire. On y trouve même une forme anadrome, plus rare, en plus des formes lacustre et de rivière. Elle se caractérise par la présence de gros points noirs très marqués sur la partie supérieure du corps- pour toutes les formes ; la reproduction a lieu en rivière. Elle débute dès le mois d'octobre pour le truites lacustres et anadromes qui son migratrices et plus tardivement (novembre) pour la forme de rivière. Alors que cette dernière a un régime alimentaire principalement insectivores, les formes lacustre et anadrome se nourrissent presque exclusivement d'autre poissons ou de gros crustacés. Espèce apparue récemment sur la liste des poissons de Suisse grâce aux avancées de la recherche, sa distribution exacte, l'importance de sa population ainsi que sa biologie son encore mal connues.
Statut	Cette espèce est classée « menacée d'extinction » en Suisse

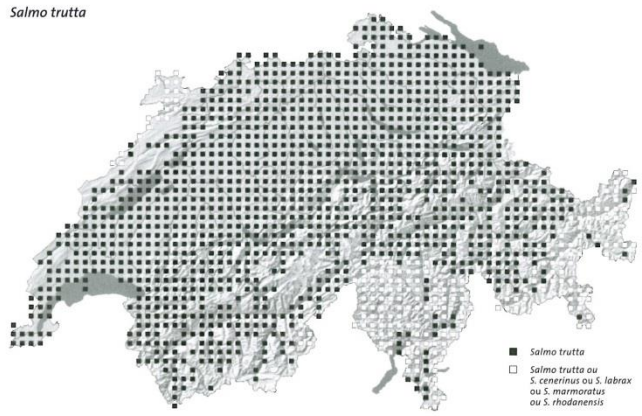
Salmo marmoratus – truite marbrée

Distribution en Suisse  	La truite marbrée est originaire des bassins du Pô et de l'Adige. L'aire de distribution résiduelle conne à ce jour en Suisse se limite au lac de Poschiavino en Engadine et au lac Majeur au Tessin. Certains individus auraient également été signalés dans quelques cours d'eau tessinois. Il pourrait toutefois s'agir d'hybrides issus de croisements avec la truite atlantique (*Salmo trutta*).
Description de l'espèce *Figure 33: Salmo marmoratus, Tessin 2019, Christophe Molina*	Affectionnant les rivières et les lacs froids de montagne dont la température n'excède pas 15°C en été, la truite marbrée se reconnait à son corps vert olive recouvert de marbrures sombres irrégulières. On note généralement l'absence de point rouges sur la robe et une nageoire adipeuse rouge-orange uniquement chez les jeunes individus qui s'assombrit avec l'âge. Les plus gros individus peuvent exceptionnellement atteindre 120 cm pour 50 Kg mais la moyenne se situe plutôt entre e 20 et 60 cm. A la suite de l'introduction intensives de truites atlantiques mais également en raison d'une augmentation de l'aire de répartition de la truite adriatique (naturelle et artificielle), par exemple au nord de l'Italie, les populations de truites marbrées se sont aujourd'hui raréfiées. Les progrès scientifiques, par le biais de la génétique notamment, permettent d'accroitre considérablement les connaissances sur ces espèces et d'assurer la sauvegarde de population fragiles en évitant des introductions hasardeuses pouvant causer la disparition d'un patrimoine génétique de grande valeur.
Statut	Cette espèce est classée « menacée d'extinction » en Suisse

Salmo rhodanensis – truite zébrée

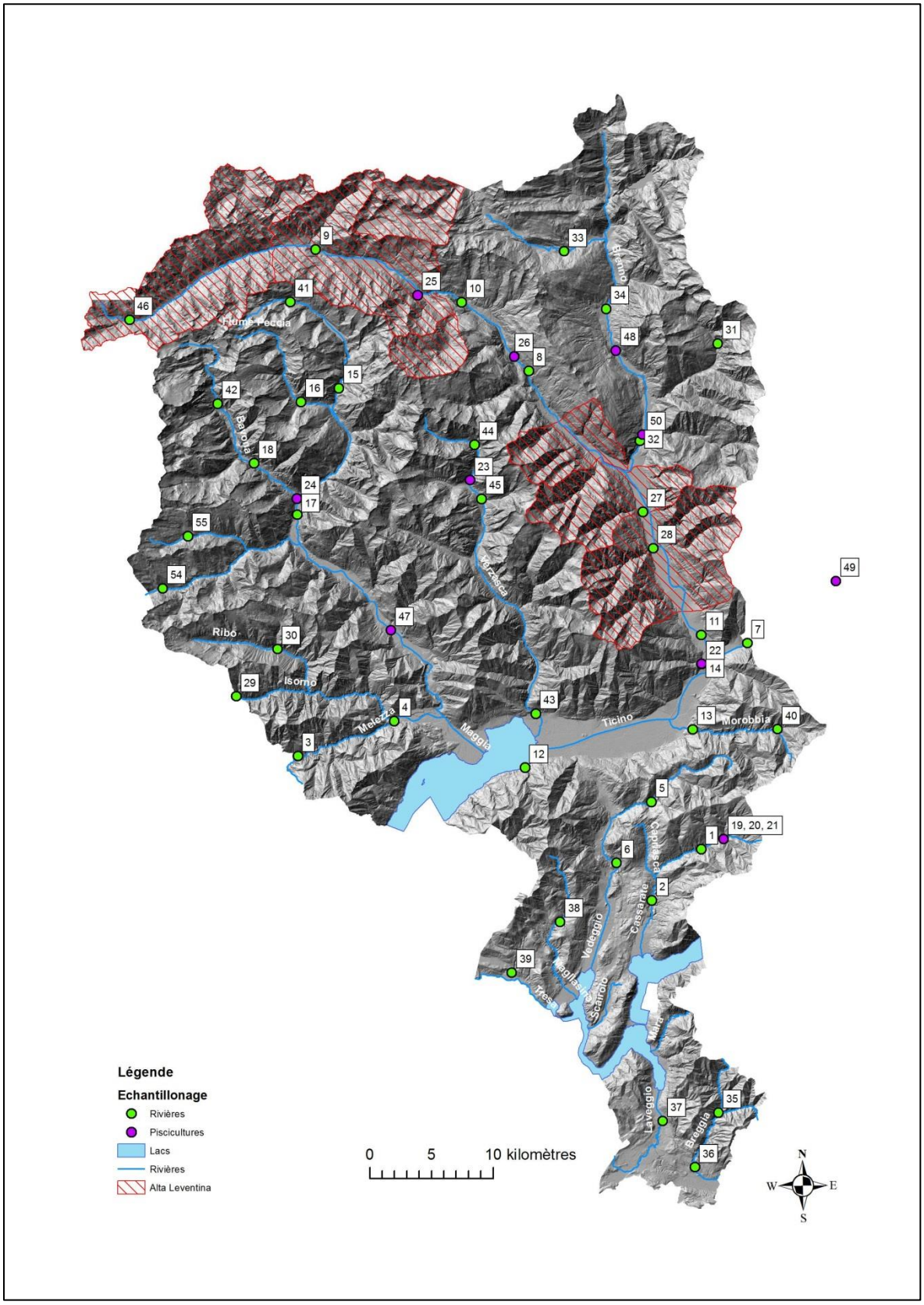
Distribution en Suisse 	La truite zébrée vit dans la partie jurassienne du bassin du Rhône. En Suisse, sa distribution se limite au bassin du Doubs ce qui lui vaut également l'appellation de « truite du Doubs »
Description de l'espèce *Figure 34: Salmo rhodanensi, Kottelat 2007*	La truite zébrée s'identifie grâce à la présence des 4 zébrures sombres (derrière l'opercule, sous la base de la nageoire anale et à l'extrémité du pédoncule caudal) qui ornent ses flancs. Relevons toutefois que certaines autres espèces de truite peuvent également présenter momentanément des barres sombres verticales, notamment en situation de stress. Cette robe particulière lui confère un mimétisme remarquable avec le substrat caractéristique des rivières calcaires dont elle est emblématique. Sa taille varie entre 30 et 65 cm, exceptionnellement 90 cm. A la suite du rempoissonnement généralisé en truite atlantiques (*Salmo trutta*), l'hybridisme survenue entre cette espèce et la truite zébrée a été la principale cause de la perte d'un patrimoine génétique fragile. Quelques populations résiduelles de truite zébrées dans le bassin du Doubs subsistent toutefois, notamment dans certains tronçons, intacts de l'Allaine.
Statut	Cette espèce est classée « fortement menacée » en Suisse

Salmo trutta– truite atlantique

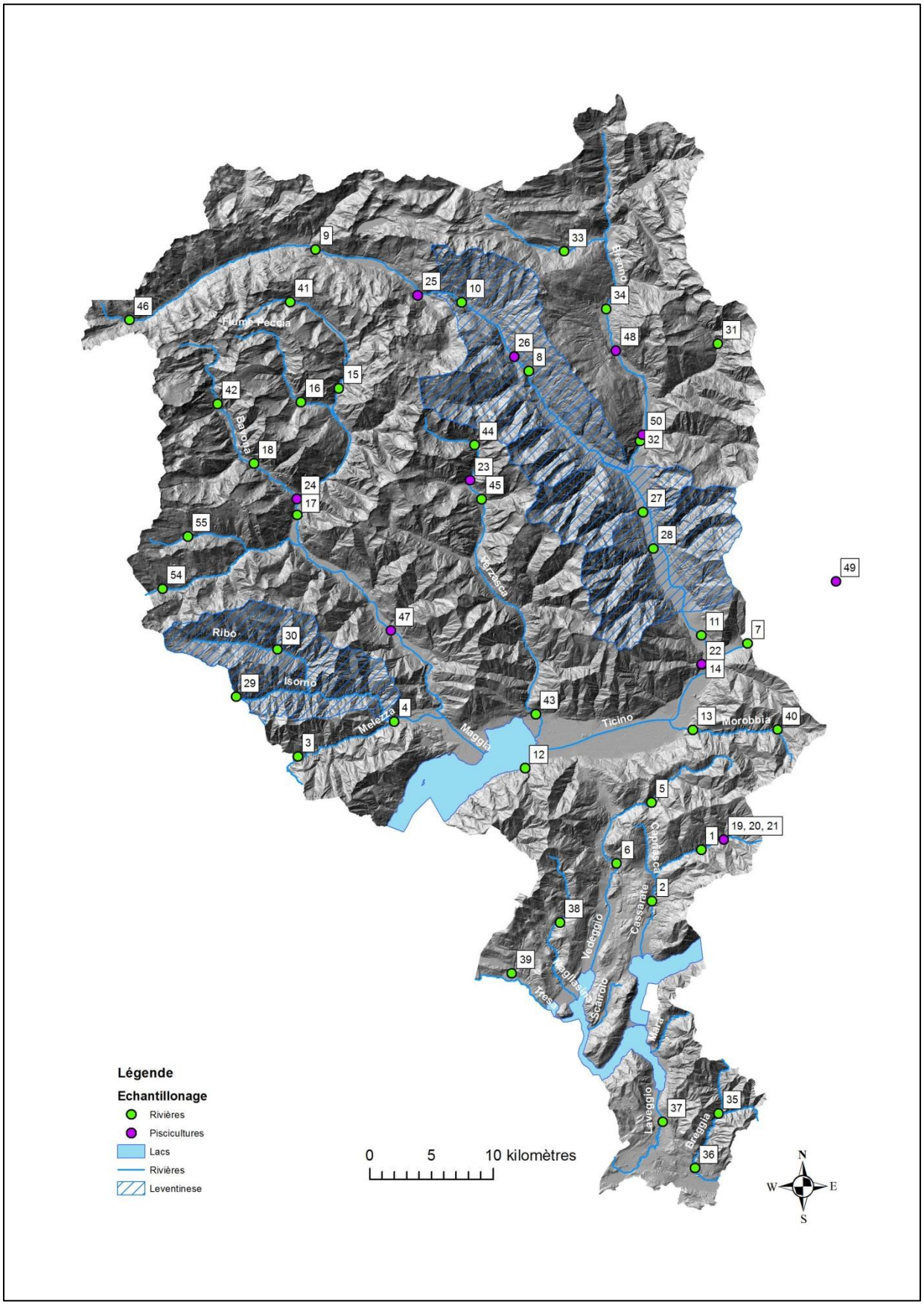
Distribution en Suisse  	La truite atlantique est originaire du bassin du Rhin mais est également native du lac Léman. En effet, la dynamique glaciaire qui a marqué l'Europe il y a plusieurs milliers d'années a temporairement relié le bassin du Rhin et Rhône sur le pourtour du bassin lémanique. C'est ce qui explique la distribution naturelle de la truite atlantique dans le Rhône en amont du lac Léman et de se tributaires alors que la truite zébrée en est absente (bloquée par les pertes du Rhône en aval du lac). Dès le milieu du XX^{e} siècle, à la suite de rempoissonnement très important effectués à des fins halieutiques et s'étendant largement au-delà des bassins versants colonisés à l'origine, la distribution de la truite atlantique couvre aujourd'hui pratiquement tout le territoire suisse.
Description de l'espèce *Figure 35: Salmo trutta, Tessin 2019, Christophe Molina*	La truite atlantique présente une forme anadrome aujourd'hui disparue en Suisse. Cette truite de mer remontait le Rhin jusqu'au premier obstacle naturel infranchissable que constituent les chutes du Rhin en aval du lac de Costance. Il existe également une forme lacustre répandue dans la majorité des grands lacs alpin suisses ainsi qu'une forme de rivière pouvant supporter les températures d'eau très fraiches des torrents de montagne. Alors que les formes anadrome et lacustre présentent généralement une robe argentée parsemée uniquement de point noirs, la livrée de la forme de rivière est plus sobre et cuivrée avec la présence de point rouges généralement dans un nombre compris entre 10 et 25. Les formes lacustre et anadrome peuvent attendre une grande taille (jusqu'à 100 cm pour plus de 10 Kg) alors que la forme de rivière n'excède que très rarement 60 cm pour les plus vieux individus de rivières riches en nourriture voire même une trentaine de centimètres pour le torrent montagneux frais pauvres en ressources alimentaires.
Statut	Cette espèce est classe « potentiellement menacée » en Suisse. Sa forme lacustre est quant à elle considérée comme « fortement menacée ».

7.3 Zones de distribution de matériel piscicole des différentes pisciculture

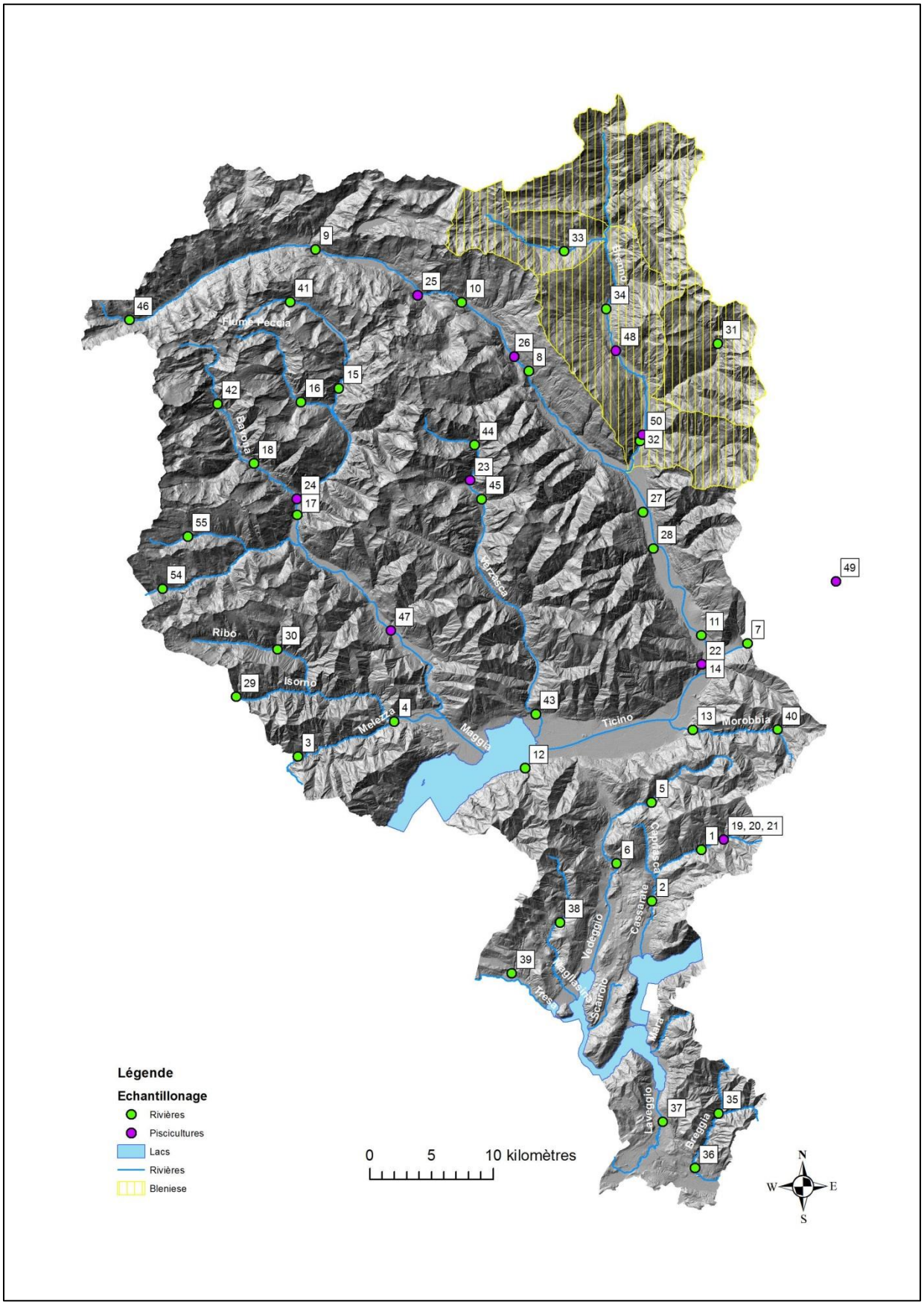
7.3.1 Alta Leventina



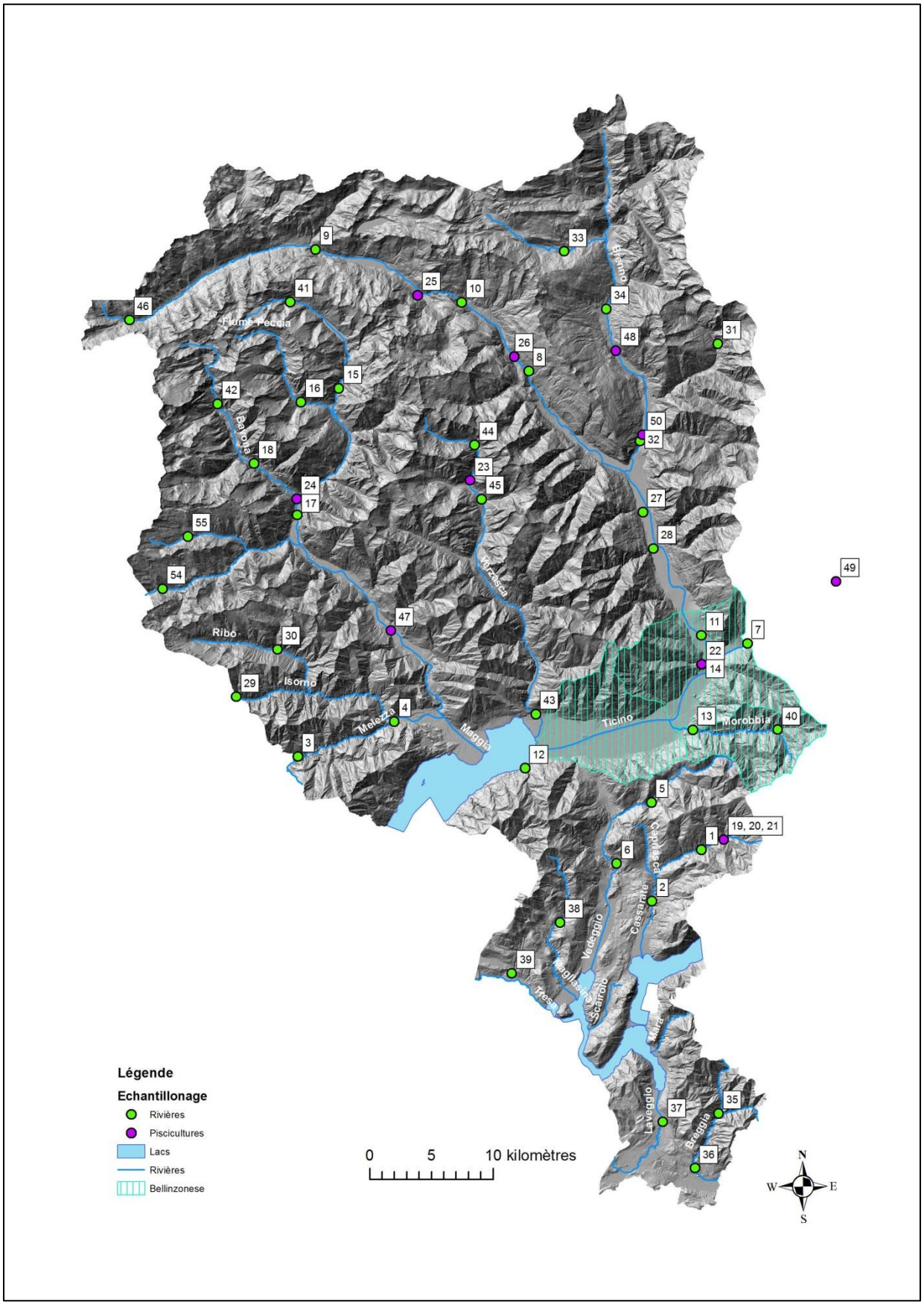
7.3.2 Leventinese



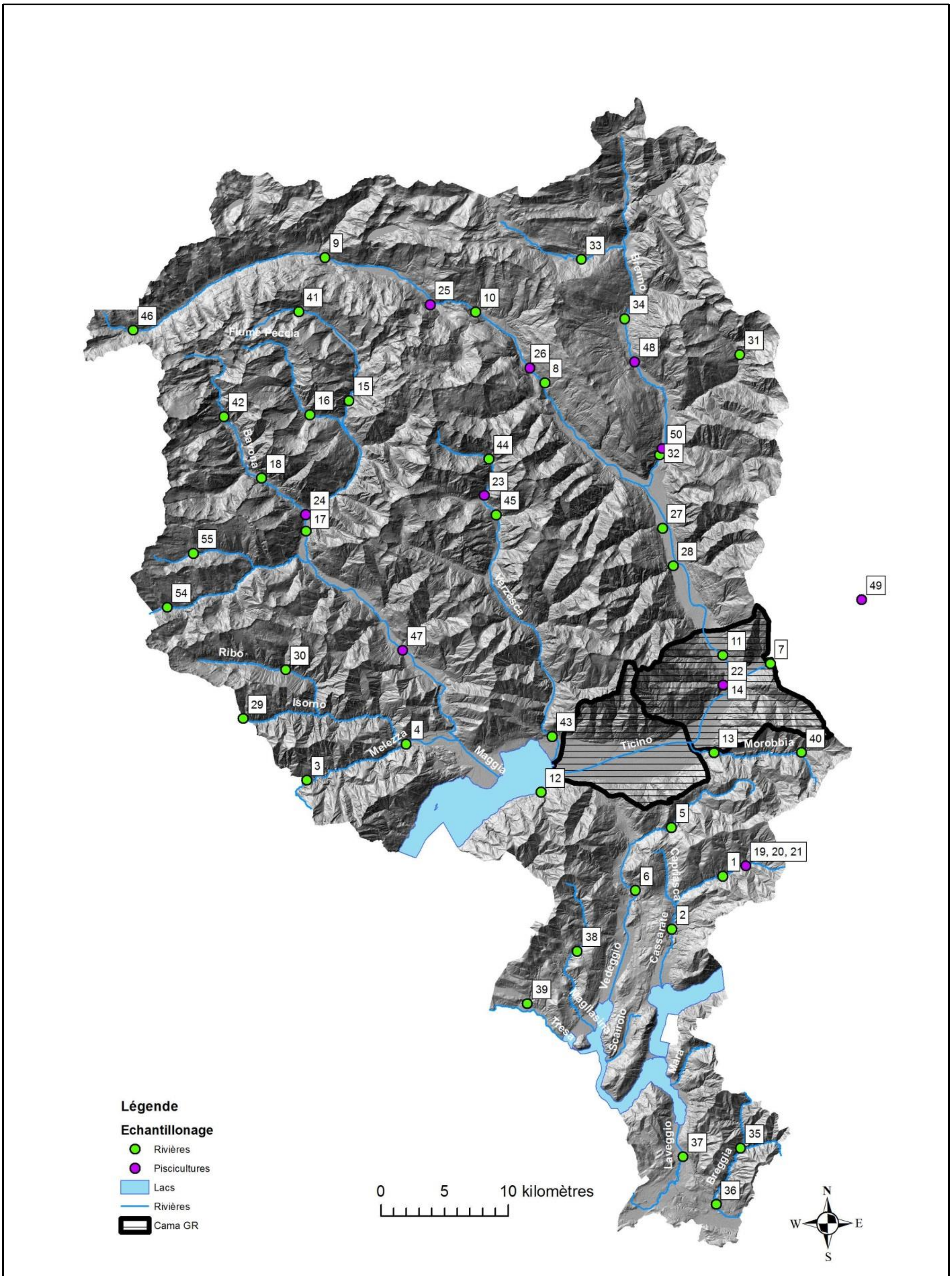
7.3.3 Bleniese



7.3.4 Bellinzonese

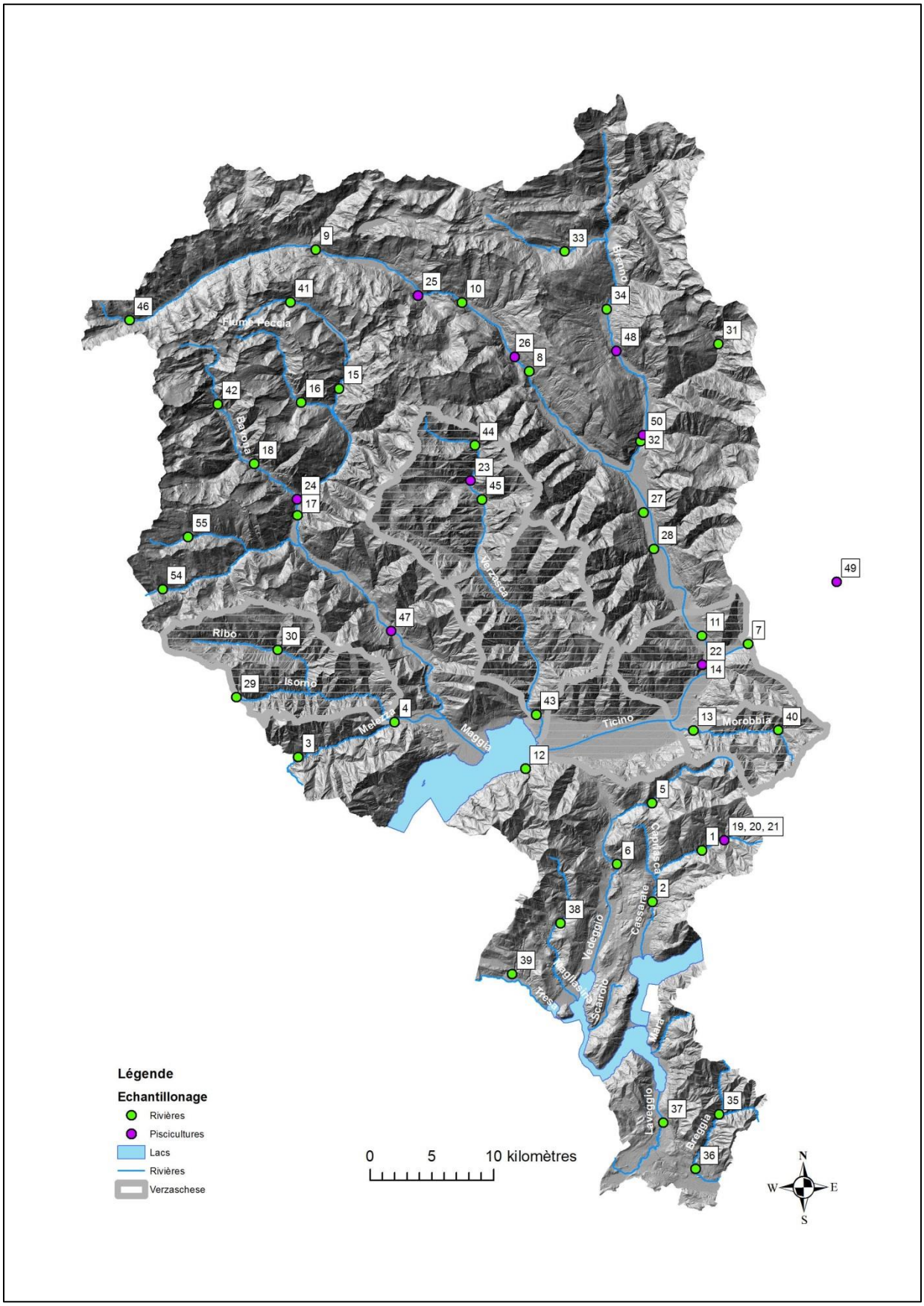


7.3.5 Moesano

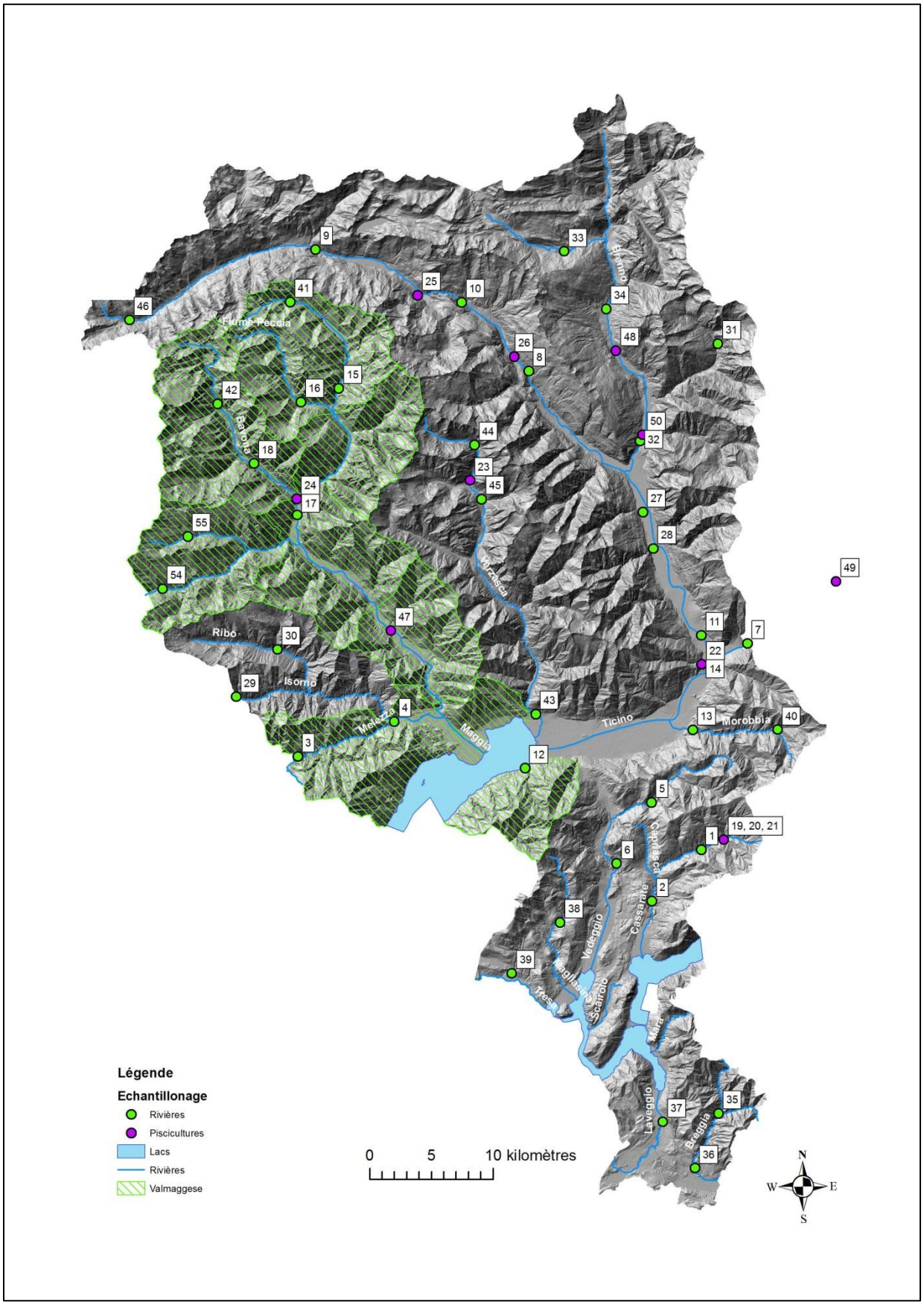


Flume Peccia
Bavona
Verzasca
Ticino
Morobbia
Maggia
Melezza
Isorno
Ribò
Capriasca
Cassarate
Vedeggio
Magliasina
Tresa
Scairolo
Mara
Laveggio
Breggia
Légende
Echantillonage
Rivières
Piscicultures
Lacs
Rivières
Cama GR
0 5 10 kilomètres
N
S
W
E

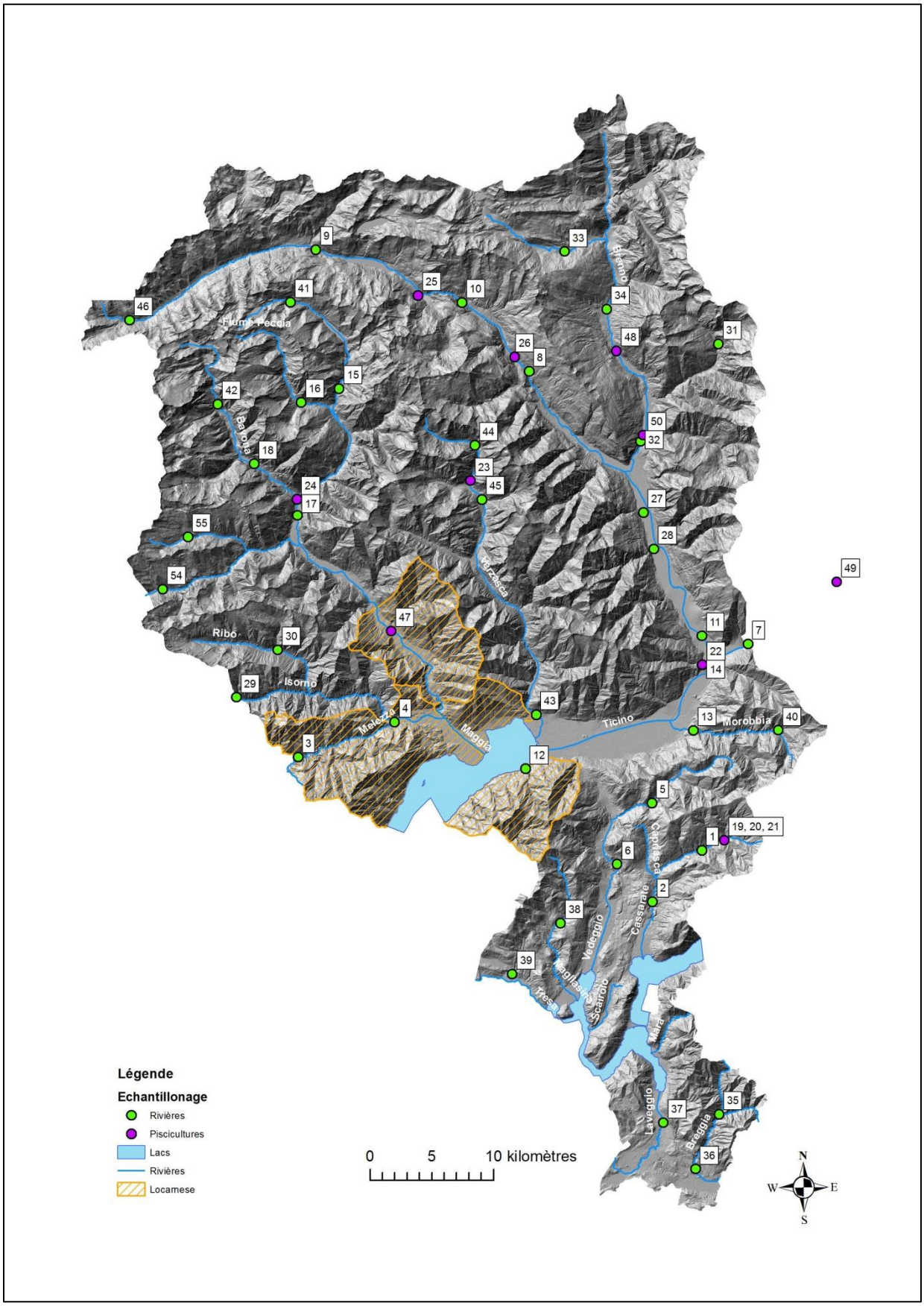
7.3.6 Verzaschese



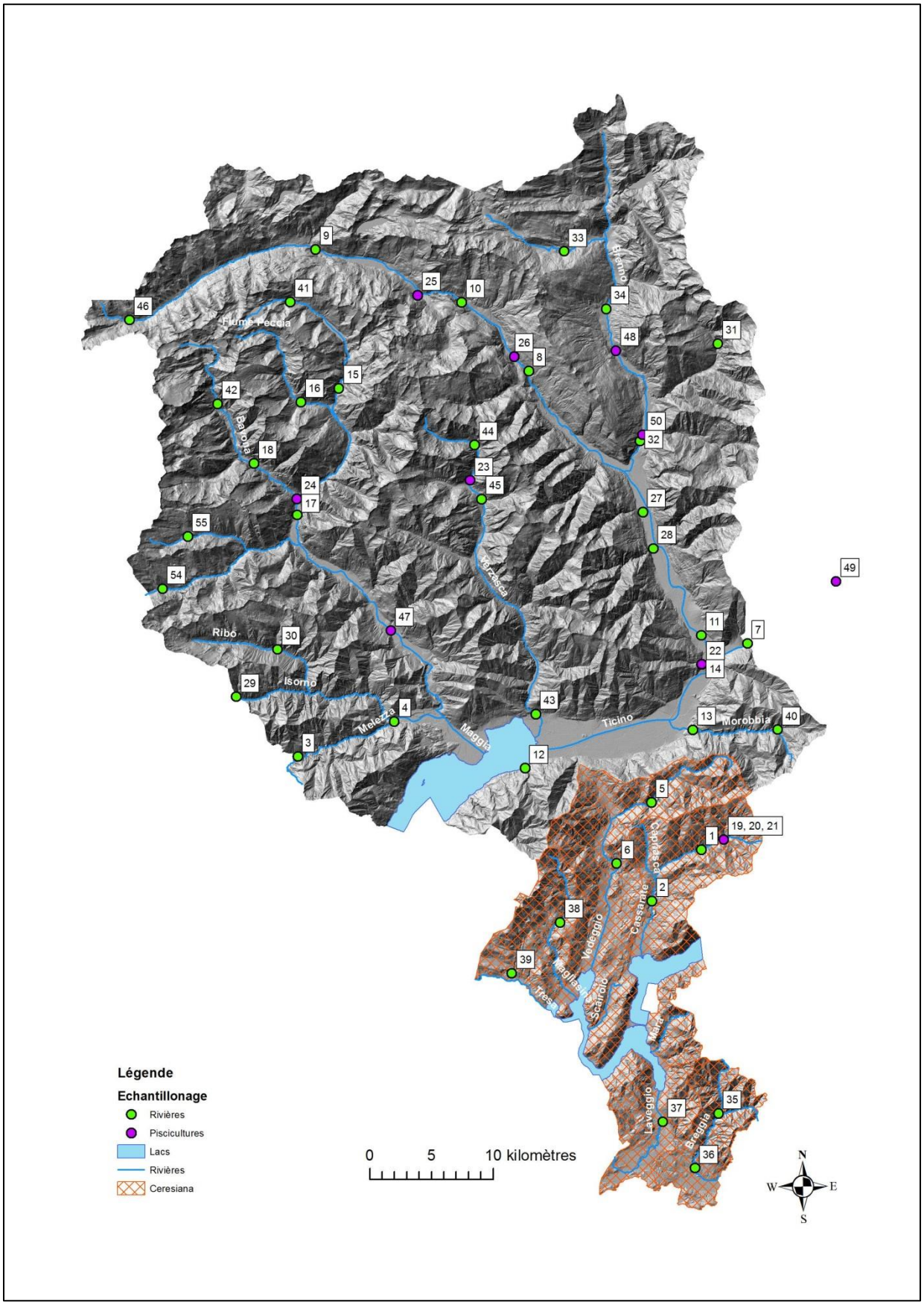
7.3.7 Valmaggese



7.3.8 Locarnese



7.3.9 Ceresiana



7.4 Analyse de base

Populations	Cours d'eau	N	An	Ar	H0	HE	p value	FIS	Significativité
1	Cassarate	30	9.50	8.41	0.73	0.74	0.12	0.03	0.187
2	Cassarate	30	9.08	7.93	0.71	0.73	0.01	0.02	0.253
3	Melezza	31	11.42	10.00	0.72	0.79	High. Sign.	0.09	0.000
4	Melezza	30	10.08	9.00	0.67	0.78	High. Sign.	0.14	0.000
5	Vedeggio	30	8.67	7.74	0.66	0.68	High. Sign.	0.03	0.156
6	Vedeggio	35	7.67	6.94	0.72	0.71	0.60	-0.01	0.671
7	Moesa	29	9.75	8.54	0.73	0.74	0.33	0.01	0.383
8	Ticino	30	8.67	7.58	0.68	0.71	High. Sign.	0.04	0.089
9	Ticino	30	8.75	7.85	0.71	0.73	High. Sign.	0.02	0.207
10	Ticino	30	9.25	8.07	0.70	0.71	0.39	0.01	0.330
11	Ticino	32	10.08	8.67	0.70	0.74	High. Sign.	0.05	0.028
12	Gambarogno	30	8.08	7.43	0.69	0.71	0.44	0.04	0.093
13	Morobbia	29	7.50	6.92	0.67	0.69	0.02	0.04	0.099
14	Riale di Gorduno	30	8.17	7.39	0.68	0.73	0.00	0.08	0.004
15	Lavizzara	30	7.67	6.89	0.66	0.68	0.155	0.03	0.184
16	Peccia	30	7.67	7.06	0.66	0.71	High. Sign.	0.08	0.005
17	Maggia	34	9.33	8.02	0.69	0.73	0.1445	0.06	0.020
18	Bavona	28	8.42	7.65	0.72	0.69	0.9102	-0.04	0.925
19	Pisciculture Ceresiana	30	8.75	7.78	0.72	0.73	High. Sign.	0.01	0.330
20	Pisciculture Ceresiana	30	7.92	7.01	0.66	0.69	High. Sign.	0.05	0.047
21	Pisciculture Ceresiana	30	9.00	8.26	0.68	0.74	High. Sign.	0.09	0.001
22	Pisciculture Bellinzonese	30	9.50	8.36	0.71	0.75	High. Sign.	0.06	0.011
23	Pisciculture Verzaschese	30	6.75	6.32	0.68	0.70	0.0146	0.03	0.149
24	Pisciculture Valmaggese	30	7.33	6.81	0.68	0.70	High. Sign.	0.03	0.189
25	Pisciculture Alta Leventina	30	7.08	6.61	0.69	0.71	0.4261	0.03	0.134
26	Pisciculture Leventinese	30	8.17	7.47	0.72	0.73	0.1192	0.02	0.279
27	Riale di Iragna	30	8.67	7.87	0.74	0.74	0.4528	0.00	0.496
28	Riale di Lodrino	30	8.67	7.78	0.69	0.72	High. Sign.	0.04	0.073
29	Isorno	30	7.33	6.74	0.67	0.70	0.5141	0.05	0.057
30	Ribo	30	7.92	7.03	0.66	0.69	0.1988	0.03	0.164
31	Orino	30	7.75	7.16	0.66	0.72	0.0023	0.08	0.004
32	Brenno	30	10.08	8.88	0.74	0.76	High. Sign.	0.03	0.116
33	Brenno Lucomagno	30	9.00	8.09	0.72	0.73	0.44	0.02	0.205
34	Brenno	30	9.00	7.84	0.72	0.72	High. Sign.	0.01	0.369
35	Breggia	30	7.75	6.91	0.64	0.66	High. Sign.	0.03	0.132
36	Breggia	30	9.17	8.17	0.67	0.74	High. Sign.	0.09	0.000
37	Laveggio	31	8.75	7.80	0.73	0.71	0.8621	-0.03	0.869
38	Magliasina	30	8.58	7.55	0.72	0.70	0.0686	-0.02	0.770
39	Tresa	32	8.67	7.64	0.71	0.71	0.1254	0.00	0.512
40	Morobbia	29	6.17	5.68	0.55	0.59	0.0029	0.07	0.025
41	Lavizzara	30	7.00	6.52	0.67	0.69	High. Sign.	0.04	0.116
42	Bavona	30	8.75	7.87	0.71	0.73	0.0375	0.03	0.119
43	Verzasca	27	7.00	6.54	0.64	0.69	0.0001	0.08	0.010
44	Verzasca	33	6.83	6.08	0.71	0.71	0.0986	0.01	0.419
45	Verzasca	30	7.67	6.82	0.64	0.67	0.9171	0.05	0.061
46	Ticino	30	6.83	6.26	0.69	0.69	0.2263	0.00	0.481
47	Pisciculture Locarnese	30	7.50	6.88	0.75	0.72	0.1148	-0.04	0.933
48	Pisciculture Bleniese	30	7.00	6.39	0.65	0.69	0.233	0.06	0.029
49	Pisciculture Cama	29	10.50	9.34	0.75	0.79	0.2761	0.05	0.031
50	Pisciculture Biaschese	30	6.75	6.32	0.71	0.72	0.1667	-0.02	0.782
51	Diego Master	44	7.18	-	0.55	0.59	High. Sign.	0.07	0.000
52	Toce	14	11.67	-	*	*	*	0.04	0.163
53	Pellice	15	5.67	-	0.73	0.73	High. Sign.	0.02	0.353
54	Rovana di Campo	42	8.75	7.51	0.63	0.72	High. Sign.	0.12	0.000
55	Rovana di Bosco	30	7.83	7.18	0.68	0.71	High. Sign.	0.03	0.135
56	Maggiore	1	-	-	-	-	-	-	-
57	Soletta	42	8.25	-	0.73	0.73	0.1209	-0.00	0.548

7.5 Tableau F_{ST}

	Pop51	Pop52	Pop53	Pop57	Pop19	Pop20	Pop21	Pop22	Pop23	Pop24	Pop25	Pop26	Pop47	Pop48	Pop49	Pop50	Pop1	Pop2	Pop3	Pop4	Pop5	Pop6	Pop7	Pop8	Pop9	Pop10	Pop11	Pop12	Pop13	Pop14	Pop15	Pop16	Pop17	Pop18	Pop27	Pop28	Pop29	Pop30	Pop31	Pop32	Pop33	Pop34	Pop35	Pop36	Pop37	Pop38	Pop39	Pop40	Pop41	Pop42	Pop43	Pop44	Pop45	Pop46	Pop54	Pop55
Pop51		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop52	0.03665		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop53	0.29386	0.32897		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop57	0.27916	0.29138	0.16467		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop19	0.26736	0.28083	0.16077	0.01487		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop20	0.29216	0.30818	0.1961	0.03406	0.00782		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop21	0.07729	0.10927	0.18434	0.13423	0.11837	0.1444		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop22	0.26129	0.27386	0.17664	0.033	0.0222	0.04625	0.11989		-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop23	0.2928	0.31012	0.1875	0.03914	0.034	0.05016	0.15054	0.00519		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop24	0.28124	0.29678	0.17566	0.03635	0.0103	0.04249	0.14126	0.02352	0.02403		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-
Pop25	0.28139	0.29906	0.17681	0.02991	0.0193	0.03899	0.14001	0.02286	0.0272	0.02573		-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
Pop26	0.2602	0.27642	0.16426	0.0283	0.02231	0.05454	0.11698	0.02166	0.03431	0.02792	0.00502		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop47	0.2744	0.29321	0.1775	0.05693	0.03484	0.03946	0.13138	0.0623	0.0821	0.07122	0.06924	0.07727		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop48	0.29118	0.30751	0.18872	0.03904	0.0181	0.04238	0.14637	0.02464	0.02455	0.02122	0.0019	0.01484	0.07948		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
Pop49	0.21698	0.22313	0.15994	0.03484	0.03414	0.0548	0.08639	0.03166	0.06635	0.05958	0.05032	0.0445	0.04854	0.06405		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop50	0.25698	0.27209	0.15868	0.02457	0.01841	0.04098	0.12413	0.0239	0.03696	0.03512	0.0119	0.00676	0.07285	0.0186	0.04554		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop1	0.26484	0.28313	0.17086	0.01391	0.01003	0.03092	0.11592	0.02243	0.04033	0.03287	0.01544	0.02026	0.04024	0.02297	0.02468	0.01999		-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop2	0.27857	0.29274	0.1756	0.00893	0.02028	0.04423	0.13139	0.02443	0.03848	0.03242	0.0301	0.02968	0.05543	0.03744	0.02069	0.03254	0.00408		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop3	0.12187	0.1412	0.14154	0.05695	0.04827	0.07323	0.0332	0.04751	0.07513	0.06224	0.06393	0.05022	0.07164	0.07069	0.03083	0.05453	0.0446	0.05152		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop4	0.20008	0.21489	0.1522	0.02325	0.01751	0.03961	0.07839	0.00707	0.0207	0.01883	0.01716	0.01491	0.05063	0.02553	0.01919	0.01823	0.01296	0.0185	0.01653		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop5	0.32441	0.34353	0.24528	0.06531	0.07027	0.10118	0.16756	0.0464	0.07117	0.07823	0.07416	0.06974	0.09013	0.08242	0.04977	0.09176	0.0391	0.04151	0.09353	0.05461		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop6	0.29197	0.3082	0.19585	0.03646	0.04399	0.06564	0.13731	0.04345	0.06695	0.06624	0.05271	0.05515	0.07111	0.05798	0.03039	0.05898	0.01963	0.02066	0.06762	0.04159	0.01975		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop7	0.2497	0.26645	0.17762	0.04445	0.05273	0.07504	0.11196	0.04893	0.07188	0.0767	0.0634	0.06699	0.07282	0.07357	0.01471	0.06762	0.03151	0.02776	0.04958	0.03839	0.03604	0.01728		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop8	0.29485	0.31293	0.2049	0.04282	0.05517	0.08896	0.14466	0.05381	0.07857	0.08012	0.05948	0.06227	0.07981	0.0674	0.03467	0.07247	0.02814	0.0264	0.07567	0.05426	0.0239	0.01877	0.01243		+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop9	0.28292	0.29892	0.1739	0.01674	0.01619	0.03943	0.13503	0.01506	0.02755	0.03359	0.01338	0.02602	0.05089	0.02022	0.03264	0.02884	0.0061	0.00806	0.05612	0.0185	0.03626	0.0166	0.02832	0.0234		+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop10	0.28683	0.30448	0.20403	0.04146	0.04756	0.07812	0.13883	0.05224	0.07086	0.06484	0.05419	0.05853	0.07794	0.06143	0.03392	0.07626	0.02864	0.02358	0.06708	0.04738	0.02957	0.02233	0.01469	0.00202	0.02109		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop11	0.25614	0.27538	0.17672	0.03131	0.0277	0.05673	0.11439	0.02978	0.05342	0.05201	0.03464	0.04106	0.06139	0.04267	0.01899	0.0463	0.01419	0.01986	0.0471	0.02527	0.03159	0.01374	0.00842	0.00917	0.01172	0.00843		+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop12	0.27721	0.29326	0.18252	0.02192	0.0086	0.02934	0.1296	0.00923	0.01801	0.01022	0.00987	0.01895	0.05301	0.00849	0.03549	0.02118	0.00879	0.01088	0.05076	0.01055	0.05217	0.03418	0.04322	0.04369	0.00604	0.03505	0.01946		+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Pop13	0.30484	0.32269	0.213	0.05543	0.04851	0.08355	0.15126	0.05327	0.07877	0.07048	0.05142	0.05389	0.07881	0.0604	0.04067	0.07081	0.02924	0.03589	0.0767	0.05249	0.02935	0.01596	0.02612	0.02054	0.02412	0.01567	0.02095	0.03607		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop14	0.2739	0.28645	0.19474	0.0429	0.04684	0.07484	0.12559	0.04151	0.07015	0.06647	0.05223	0.03965	0.08763	0.0547	0.02863	0.05292	0.03206	0.02661	0.05926	0.0388	0.03862	0.01556	0.03236	0.03408	0.0266	0.03347	0.03236	0.03783	0.0233		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop15	0.3222	0.34522	0.24373	0.06961	0.07167	0.09781	0.1654	0.0597	0.09026	0.09251	0.07744	0.07334	0.09733	0.08698	0.04759	0.09216	0.04175	0.03903	0.09385	0.06689	0.01339	0.01373	0.02943	0.02289	0.03513	0.02173	0.03039	0.0545	0.00988	0.02074		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop16	0.27579	0.28863	0.1714	0.02557	0.00741	0.03676	0.13201	0.01688	0.0215	-0.00133	0.02219	0.02632	0.05406	0.01462	0.04391	0.02752	0.01815	0.01683	0.05433	0.0145	0.06589	0.04407	0.05723	0.06042	0.01798	0.0463	0.03733	0.00005	0.05006	0.04694	0.07048		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-
Pop17	0.28031	0.29749	0.18796	0.02983	0.02349	0.04939	0.13008	0.01751	0.0334	0.02743	0.02865	0.03049	0.05901	0.03254	0.02882	0.04226	0.01127	0.0121	0.05643	0.02253	0.01405	0.01531	0.02186	0.01964	0.01007	0.01759	0.01607	0.00779	0.01551	0.0201	0.01695	0.01873		-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
Pop18	0.29895	0.31856	0.21539	0.0494	0.03815	0.06597	0.14514	0.03882	0.05234	0.04671	0.04326	0.04539	0.07343	0.04384	0.04293	0.06444	0.02193	0.02361	0.06898	0.0385	0.01792	0.01113	0.03246	0.02951	0.01388	0.01912	0.02312	0.02063	0.01084	0.01675	0.00993	0.02748	0.00483		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop27	0.25983	0.27329	0.16019	0.02106	0.00874	0.03617	0.11643	0.01425	0.02832	0.01731	0.02314	0.02109	0.05119	0.02073	0.0362	0.02533	0.01317	0.01952	0.04382	0.01179	0.0683	0.04993	0.05513	0.05838	0.01502	0.0465	0.03292	0.00457	0.05116	0.0442	0.07163	0.00619	0.0261	0.03827		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop28	0.28506	0.30478	0.19832	0.03467	0.03888	0.06152	0.13176	0.03473	0.05356	0.06473	0.04332	0.04976	0.06703	0.05344	0.02838	0.05646	0.01721	0.01986	0.06266	0.03666	0.02318	0.00383	0.01024	0.01187	0.01017	0.01042	0.00236	0.0278	0.0125	0.02226	0.01527	0.04401	0.01372	0.01406	0.04061		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop29	0.28995	0.30663	0.18839	0.04561	0.04458	0.06507	0.14939	0.04451	0.04962	0.05097	0.05323	0.06093	0.06781	0.06496	0.04381	0.05825	0.03439	0.03311	0.07677	0.03441	0.05864	0.05919	0.05572	0.062	0.04105	0.05569	0.04902	0.03305	0.06934	0.06479	0.0736	0.03806	0.02563	0.05436	0.0387	0.05505		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop30	0.30082	0.32187	0.22496	0.05621	0.06177	0.08077	0.15139	0.05601	0.07643	0.08	0.06688	0.06859	0.08319	0.08012	0.03312	0.07427	0.03874	0.03046	0.08146	0.05189	0.02734	0.0157	0.02193	0.02786	0.03521	0.02631	0.0244	0.04293	0.02332	0.0273	0.01067	0.05699	0.02045	0.01697	0.06832	0.01954	0.05622		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop31	0.26891	0.2873	0.17898	0.02325	0.01462	0.03579	0.12779	0.02097	0.02834	0.01858	0.00646	0.01531	0.0671	0.00545	0.03897	0.01618	0.00946	0.01523	0.0511	0.01032	0.06098	0.03972	0.04704	0.04854	0.01642	0.0379	0.02461	0.00409	0.04351	0.03607	0.06334	0.0091	0.02067	0.02989	0.01159	0.03482	0.0456	0.05172		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop32	0.24351	0.26358	0.16273	0.02651	0.0277	0.06165	0.10633	0.02983	0.05022	0.04232	0.03802	0.04159	0.05419	0.04103	0.02579	0.04973	0.01295	0.01641	0.03865	0.02349	0.02998	0.0151	0.01199	0.00876	0.00906	0.00535	-0.00162	0.02276	0.02188	0.03	0.03301	0.02758	0.01325	0.01975	0.02631	0.00842	0.04816	0.03615	0.02556		+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop33	0.28857	0.30739	0.205	0.0457	0.04573	0.0745	0.13484	0.03406	0.06551	0.07196	0.04711	0.04764	0.06828	0.05483	0.03137	0.05978	0.01687	0.02603	0.06715	0.0401	0.01769	0.00847	0.0203	0.01354	0.01498	0.02454	0.01499	0.03501	0.01378	0.01925	0.0112	0.05049	0.01499	0.01176	0.0442	0.00709	0.07042	0.02717	0.04041	0.01413		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop34	0.28183	0.29526	0.1924	0.03539	0.03676	0.06792	0.13757	0.03763	0.05862	0.05543	0.04313	0.05011	0.07817	0.04047	0.03531	0.05212	0.02307	0.029	0.06427	0.0387	0.03981	0.02093	0.01793	0.00891	0.01825	0.00862	0.00601	0.02728	0.01619	0.02791	0.0295	0.03719	0.01811	0.02221	0.03481	0.01257	0.06067	0.03478	0.02613	0.0069	0.01729		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop35	0.32162	0.34449	0.2436	0.06123	0.06036	0.09102	0.16797	0.05323	0.07732	0.07307	0.05474	0.05666	0.09743	0.06596	0.04992	0.07723	0.03642	0.03228	0.09047	0.05569	0.0258	0.02663	0.03753	0.02585	0.02651	0.02108	0.02108	0.03585	0.01448	0.0384	0.016	0.05639	0.02062	0.01647	0.05997	0.02042	0.0779	0.01424	0.04662	0.03184	0.02186	0.02859		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop36	0.28315	0.29844	0.18958	0.02359	0.01704	0.03405	0.12889	0.03382	0.05825	0.04936	0.03869	0.03813	0.03959	0.04285	0.02669	0.03923	0.00829	0.01724	0.05698	0.03229	0.0402	0.01976	0.03433	0.0326	0.01597	0.03131	0.02613	0.0234	0.02311	0.01904	0.03217	0.03222	0.0173	0.02303	0.02763	0.02078	0.05439	0.03648	0.02499	0.02412	0.01684	0.02429	0.03459		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop37	0.29986	0.31752	0.18853	0.02688	0.024	0.04938	0.14706	0.03606	0.05647	0.05159	0.03401	0.03545	0.05952	0.03703	0.03873	0.03952	0.01159	0.01299	0.0661	0.03403	0.038	0.01765	0.03668	0.02486	0.0061	0.03067	0.02058	0.02258	0.02123	0.02349	0.03259	0.03664	0.01916	0.02119	0.02631	0.01865	0.06096	0.04801	0.02397	0.018	0.01601	0.02153	0.03466	0.01099		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop38	0.30489	0.32397	0.21112	0.04058	0.04519	0.07656	0.15364	0.03304	0.05869	0.05684	0.04796	0.04044	0.07884	0.05454	0.03737	0.05621	0.02347	0.01755	0.07198	0.04001	0.01582	0.02185	0.02959	0.02245	0.02042	0.02198	0.02117	0.02784	0.01506	0.02661	0.00949	0.04244	0.00546	0.01256	0.04128	0.02075	0.05548	0.02235	0.03409	0.02158	0.01368	0.02129	0.00988	0.02278	0.01646		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop39	0.3061	0.31978	0.20441	0.04063	0.03744	0.06952	0.15227	0.0504	0.07677	0.06275	0.05371	0.05106	0.07839	0.05652	0.04305	0.0564	0.02494	0.03184	0.0785	0.05046	0.04368	0.01685	0.04491	0.0339	0.02467	0.03312	0.03096	0.042	0.02388	0.02633	0.03338	0.04378	0.03382	0.02938	0.04186	0.02276	0.08391	0.05054	0.04095	0.02322	0.02011	0.02393	0.03767	0.01523	0.01472	0.02871		+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pop40	0.37267	0.39684	0.28148	0.11593	0.12081	0.15476	0.22034	0.12224	0.14213	0.14679	0.12979	0.13521	0.15511	0.13446	0.10585	0.14212	0.08302	0.08845	0.14931	0.12105	0.07572	0.06102	0.07057	0.06593	0.07542	0.0705	0.07208	0.10843	0.06024	0.07952	0.06119	0.12063	0.07932	0.06562	0.11628	0.04732	0.13336	0.09685	0.10766	0.06501	0.05847	0.06741	0.08348	0.08309	0.07012	0.08107	0.06427		+	+	+	+	+	+	+	+
Pop41	0.28945	0.30395	0.1709	0.03976	0.01989	0.05087	0.15203	0.02525	0.02079	-0.00231	0.02963	0.03779	0.07322	0.02187	0.06935	0.03965	0.04135	0.04254	0.06981	0.02709	0.09233	0.07708	0.08053	0.0886	0.03409	0.0754	0.06113	0.01578	0.08343	0.08101	0.11049	0.00509	0.03786	0.06305	0.02191	0.07324	0.05865	0.09588	0.02834	0.04902	0.0796	0.06428	0.08797	0.05975	0.06319	0.06947	0.07539	0.16027		+	+	+	+	+	+	-
Pop42	0.28024	0.29496	0.19138	0.0303	0.02608	0.04774	0.12801	0.02805	0.04495	0.03327	0.03372	0.02861	0.05537	0.03616	0.0317	0.04705	0.0178	0.01338	0.05412	0.02697	0.02848	0.0185	0.03987	0.03533	0.01505	0.02497	0.02717	0.01544	0.02281	0.0131	0.02315	0.02056	0.00333	0.00583	0.02398	0.02048	0.04289	0.02408	0.02277	0.0191	0.02009	0.0296	0.03108	0.01634	0.02056	0.0166	0.03337	0.09267	0.0487		+	+	+	+	+	+
Pop43	0.31645	0.33343	0.22629	0.0556	0.06876	0.09518	0.15773	0.06298	0.08699	0.09306	0.07775	0.07568	0.09043	0.08705	0.04431	0.08531	0.03386	0.03742	0.09074	0.05997	0.02091	0.01369	0.02514	0.01793	0.03941	0.02978	0.02832	0.05818	0.02874	0.03826	0.02202	0.07305	0.03032	0.03354	0.07166	0.01859	0.07877	0.03184	0.06417	0.03045	0.01887	0.02809	0.03857	0.03711	0.03339	0.03298	0.03165	0.05847	0.1062	0.04416		+	+	+	+	+
Pop44	0.26629	0.28879	0.21069	0.08109	0.08689	0.11371	0.13272	0.07928	0.09856	0.10824	0.101	0.08966	0.11094	0.10602	0.055	0.09898	0.06184	0.05649	0.07629	0.07262	0.05465	0.03472	0.04212	0.04005	0.06346	0.0514	0.0506	0.0852	0.05158	0.0319	0.03446	0.08887	0.04997	0.04086	0.09042	0.04386	0.09062	0.04031	0.07835	0.0409	0.03616	0.05028	0.07186	0.0574	0.05749	0.05286	0.06302	0.08737	0.12612	0.04213	0.04489		+	+	+	+
Pop45	0.32123	0.34415	0.23848	0.07595	0.08722	0.11636	0.17475	0.07767	0.10679	0.10905	0.09431	0.09498	0.1086	0.10431	0.05676	0.1046	0.04987	0.04153	0.09314	0.07681	0.0347	0.0257	0.02988	0.03129	0.04726	0.03304	0.03601	0.06881	0.0319	0.03961	0.01802	0.08739	0.03608	0.03108	0.08284	0.02372	0.08266	0.04557	0.07306	0.02982	0.02186	0.03813	0.0466	0.04726	0.04063	0.02726	0.04351	0.04149	0.1222	0.04641	0.03745	0.04253		+	+	+
Pop46	0.29649	0.31742	0.19519	0.03589	0.02351	0.04482	0.14423	0.03198	0.03844	0.03237	0.00053	0.01587	0.07189	0.00857	0.05685	0.03107	0.016	0.03015	0.07	0.027	0.06188	0.04596	0.06684	0.05549	0.0112	0.05062	0.03382	0.01336	0.05023	0.05393	0.06898	0.02638	0.02838	0.03289	0.02633	0.04042	0.06431	0.0667	0.0163	0.03471	0.03965	0.04514	0.04658	0.03866	0.02688	0.04239	0.04629	0.12107	0.04375	0.02997	0.06771	0.09792	0.08652		+	+
Pop54	0.26182	0.27809	0.16695	0.02386	0.01254	0.04047	0.12714	0.02079	0.02769	0.01083	0.01989	0.02559	0.05683	0.01865	0.03602	0.02535	0.0169	0.01574	0.05006	0.01355	0.06429	0.04799	0.04422	0.04972	0.01762	0.03845	0.03211	0.0008	0.0427	0.04117	0.06822	0.00319	0.01358	0.03407	0.0102	0.03806	0.03231	0.05247	0.00994	0.02667	0.04775	0.03181	0.05186	0.02905	0.0335	0.03885	0.05109	0.11734	0.01724	0.02189	0.07005	0.08706	0.07813	0.02881		-
Pop55	0.27427	0.29053	0.17392	0.02804	0.00729	0.03962	0.12895	0.02347	0.02896	-0.00054	0.02282	0.0234	0.04975	0.01719	0.04581	0.03438	0.01704	0.01888	0.05322	0.01464	0.06285	0.04805	0.06262	0.06159	0.01617	0.04469	0.04113	0.00518	0.04714	0.04711	0.07058	-0.0051	0.01946	0.02714	0.00882	0.04722	0.04463	0.06242	0.01173	0.02865	0.05217	0.0444	0.05455	0.03116	0.03167	0.04318	0.04438	0.12366	0.00977	0.01952	0.07253	0.09268	0.08902	0.01983	0.00414	

valori tra 0-0-05	58%
valori tra 0.05-0.15	31%
valori tra 0.15-0.25	5%
valori > 0.25	6%

Significativo	98%
Non significativo	2%

Ref

Pisc

Wild