

Projet franco-suisse « Truite-Omble-Corégone au Léman »

Rapport Final (septembre 2013)

Rédaction : Alexis CHAMPIGNEULE et Arnaud CAUDRON

Alexis CHAMPIGNEULE

Arnaud CAUDRON

INRA-UMR CARTEL

Aquatiques.BP511

74203 Thonon (France)

04 50 26 78 06

Alexis.champigneulle@thonon.inra.fr

Fédération 74 de Pêche et de Protection des Milieux

2092, route des Diacquenods

74370 St Martin de Bellevue

04 50 46 87 55



REMERCIEMENTS

L'OFEV (Office Fédéral pour l'Environnement en Suisse) et le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du développement durable, des transports et du Logement en France sont remerciés pour leur contribution financière au projet franco-suisse « Truite Omble et Corégone au Léman ».

L'INRA UMR CARTEL à Thonon est remercié pour la mise à contribution d'un ingénieur pour répondre au mandat global du projet franco-suisse.

La Fédération Départementale de la Pêche et de la Protection des Milieux Aquatiques de la Haute-Savoie est remerciée pour sa participation financière et pour l'aide fournie par son ingénieur détaché (2010-12) auprès de l'INRA finançant son salaire.

Sont vivement remerciés pour leur aide précieuse :

Le LBC (UNIL) pour la réalisation de l'étude génétique de la population d'omble lémanique.

Les cantons (Genève : Direction Générale de la Nature et du Paysage, Vaud : Centre de Conservation de la Faune et de la Nature et Valais : Service Cantonal de la Chasse, de la Pêche et de la Faune)

La DDT de Haute-Savoie, L'ONEMA, L'APERA

Les pêcheurs professionnels et amateurs français et suisses au Léman

Les techniciens, gardes et pisciculteurs de la pisciculture domaniale de Rives

Les pêcheurs suisses et français volontaires pour le recueil de données et d'échantillons

SOMMAIRE.....	2
OBJECTIFS.....	3
PREAMBULE.....	3
COREGONE (<i>Coregonus lavaretus</i>) AU LEMAN.....	4
Evaluation du recrutement naturel et du repeuplement.....	4
Analyse prospective de la situation.....	5
Quelques propositions.....	6
Bibliographie.....	7
OMBLE CHEVALIER (<i>Salvelinus alpinus</i>) AU LEMAN.....	8
Evolution des captures et du repeuplement en omble au Léman.....	8
Eléments de diagnose sur l'omble au Léman.....	10
Evaluation du repeuplement de la cohorte d'omble de 2007.....	11
Hypothèse : baisse de l'efficacité du repeuplement	16
Hypothèse : non amélioration de l'efficacité du recrutement naturel.....	22
Hypothèse : effets du réchauffement climatique.....	28
Hypothèse pathologie.....	29
Hypothèse halieutique.....	31
Hypothèse : génétique de l'omble.....	35
Hypothèse : prédatons multiples sur l'omble.....	38
Hypothèse : compétition et prédation entre corégone et omble.....	47
Hypothèse : écotoxicologie générale (lacs et torrents)	48
Scénario explicatif possible de l'évolution des captures d'omble au léman.....	50
Bibliographie.....	51
TRUITE (<i>Salmo trutta</i>) DE LAC DANS LE SYSTEME LEMAN-AFFLUENTS.....	55
Objectifs et enjeux de l'étude	55
Evolution des captures de truite de lac par les pêcheries lémaniques.....	55
Evaluation du repeuplement de la cohorte de truite 2008.....	56
Acquis lémaniques complémentaires et/ou comparatifs.....	65
Hypothèse repeuplement.....	67
Hypothèse halieutique	73
Facteurs limitant en affluents.....	76
Mortalité de femelles TL avant leur reproduction.....	77
Gène à la migration des géniteurs TL.....	77
Evolution de traits de vie au stade de géniteurs.....	78
Mortalités aux stades embryon-larvaires	79
Pathologie des juvéniles en affluents.....	80
Dévalaisons en lac.....	81
Facteurs limitant en lac.....	82
Passage en lac des juvéniles.....	82
Ecotoxicologie générale (Léman et affluents).....	83
Prédation en lac.....	85
Effets génétiques et milieu.....	91
Prise en compte des interactions TL-TS et ATL-MED dans la gestion de la truite.....	94
Scénario truite de lac.....	96
Quelques propositions.....	97
Bibliographie.....	99
Annexe 1. Repeuplement truite : acquis lémaniques anciens.....	102

OBJECTIFS

Le document présente les principaux éléments du projet franco suisse Truite-Omble-Corégone demandés par la Commission Consultative sur la Pêche au Léman.

L' « étude FR-CH » avait pour objectifs :

- + évaluer les contributions respectives du recrutement naturel et du repeuplement dans les captures de truite (*Salmo trutta*) de lac, d'omble chevalier (*Salvelinus umbla_anciennement alpinus*) et de corégone (*Coregonus sp_anciennement lavaretus*) au Léman.
- + évaluer et comparer les efficacités relatives des diverses pratiques de repeuplement pour l'omble et la truite de lac.
- + rechercher et évaluer des hypothèses explicatives de l'évolution à la baisse de la population et des captures par les pêcheries d'omble.
- + rechercher (au Léman et dans ses affluents) des facteurs explicatifs de l'évolution à la baisse et des fortes variations des populations et des captures de truite de lac.
- + rechercher la composante principale (naturelle ou repeuplement) du recrutement en corégones au Léman.
- + présenter des données génétiques sur les populations d'omble et de truite au Léman avec l'idée de rendre compatibles les finalités halieutiques et la conservation des ressources ichthyologiques du système Léman-affluents.
- + proposer à la discussion des orientations de gestion.

PREAMBULE

Outre le présent rapport, le projet inclut également l'archivage de matériels biologiques (écailles, otolithes et fraction de nageoire stockés dans de l'éthanol à 95%) prélevés individuellement sur les captures échantillonnées.

Outre la détermination de l'âge par scalimétrie, l'objectif de ces prélèvements est de rendre possible, dans le présent et le futur, des analyses génétiques (via l'ADN), isotopiques et autres. Par la même occasion, les collections anciennes (écailles et opercules) constituées par l'INRA au Léman depuis le milieu du siècle passé sont, elles aussi, en cours d'archivage au même titre que les échantillons contemporains récoltés. Les espèces concernées au Léman par ces collections sont : corégone, omble chevalier, truite de lac et de rivière, perche, ablette, gardon. Cette importante banque d'échantillons lémaniques actuels et passés (15 000 à 20 000) est associée à des données informatisées regroupant l'ensemble des informations récoltées.

Les campagnes de marquage menées depuis les années 80 permettent désormais de disposer d'écailles et d'otolithes de référence de poissons d'âge et d'histoire de vie connus.

Par ailleurs, l'étude FR-CH ayant nécessité des recherches bibliographiques, elle a permis de constituer des bibliographies spécialisées sur certaines thématiques (ex : biologie et écologie de l'omble, de la truite et du corégone ; évaluation des repeuplements ; marquage ; otolithométrie ; prédation ; perturbations olfactives et auditives ; stratégies de conservation des ressources ichthyologiques lémaniques.....)

Le présent travail s'inscrit dans une démarche de « recherche collaborative » (Caudron, Vigier et Champigneulle, 2012) dans laquelle il y a un aller et retour entre gestionnaires, pêcheurs et scientifiques autour d'objectifs définis en commun .

Le présent rapport n'est pas conçu pour rester figé. L'idée est de le remettre à jour, de même que les fichiers ou autres rapports associés, lorsque de nouveaux acquis seront disponibles.

COREGONE (*Coregonus sp_anciennement lavaretus*) AU LEMAN

Evaluation du recrutement naturel et du repeuplement

Les opérations de repeuplement en alevins de corégone (*Coregonus sp*) nourris, lancées en fin des années 80 et en début des années 90, ont contribué au maintien puis au début de la réhabilitation de la population de corégone au Léman (Gerdeaux, 2004). Cette réhabilitation a ensuite été renforcée grâce à l'évolution thermique du Léman (Anneville *et al.*, 2009) et à la ré-oligotrophisation. Partant de 30-40 tonnes dans les années 80, depuis près de 12 ans les captures annuelles se maintiennent à un niveau élevé de 300-400 tonnes (Fig C1) qui n'avait jamais été atteint auparavant (maximum annuel voisin de 200 t en fin des années 50-début des années 60). L'espèce est devenue majeure pour la pêche professionnelle et une pêcherie amateur de corégone est en train de se développer. Dans ce nouvel état de bon fonctionnement de la population de corégone, il est apparu important de chiffrer ce qui pouvait être attendu des objectifs de repeuplement ou du potentiel maximal de repeuplement pouvant être mis en œuvre pour le corégone au Léman.

L'objectif était donc de situer l'ordre de grandeur des contributions du recrutement naturel et du repeuplement. Les données de la littérature (Viljanen, 1988) mettent en évidence un taux de survie *in situ* voisin de 10 % entre le stade « alevins vésiculés (10-11 mm) » et le stade « alevins démarrés (14-18 mm) ». Par ailleurs, des recherches effectuées au Léman (Champigneulle et Gerdeaux, 2006) et au lac du Bourget (Champigneulle et Cachera 2008) ont permis de chiffrer des taux de recaptures pour des juvéniles déversés au stade d'alevins démarrés et au stade de préestivaux. L'ensemble de ces données ont permis d'aboutir à un chiffrage des équivalences en terme de captures entre trois stades de relacher : alevins vésiculés, alevins démarrés sur aliment sec (14-18 mm) et préestivaux de 3-5cm.

Tableau C1. Equivalence et taux de captures des divers stades de repeuplements en corégone.

Stades	Pré-estivaux (3-5 cm)	Alevins démarrés (14-18 mm)	Alevins vésiculés (10-11 mm)
Equivalence	1	5	50
Taux de recapture	25 Kg / 1000	5 Kg / 1000	0,5 Kg / 1000

Ces données (Tab C1) permettent de chiffrer l'ordre de grandeur des captures pouvant être attendues des relachers de juvéniles de corégone susceptibles d'être pratiqués au Léman. Le relacher de 10 000 000 d'alevins vésiculés prévu comme objectif global (franco-suisse) du plan quinquennal 2011-2015 est susceptible d'engendrer des captures voisines de 5 tonnes, ce qui est faible comparé aux captures actuelles minimales de 400 tonnes. C'est donc le recrutement naturel qui représente actuellement la très grande majorité des captures de corégonnes au Léman. On ne peut que se réjouir de ce retour à une population naturelle fonctionnelle.

Par ailleurs, la production maximale de stades plus avancés potentiellement réalisables à la pisciculture de Rives est de 4 millions d'alevins démarrés dans la rampe de 20 bacs cylindro-coniques et 800 000 préestivaux sur une rampe de 20 bacs de 3m³. Chacune de ces 2 options correspondrait à un maximum de 20 tonnes. Par conséquent, même en mettant en œuvre toute la capacité de production disponible autour du Léman, les captures issues du repeuplement en corégone resteraient toujours très largement minoritaires face au recrutement naturel. Le nombre d'œufs de corégone naturellement pondus au Léman actuellement est considérablement plus élevé que celui récolté en éclosier. En effet son ordre de grandeur minimal peut être évalué à 2 milliards (hypothèse minimale de 50 tonnes de femelles mûres et une fécondité évaluée à 40 000 ovules par kg de femelle mure). On peut donc constater l'importance numérique de la reproduction naturelle potentielle comparativement à ce que peut fournir le repeuplement et sachant par ailleurs que le niveau actuel des captures de corégone au Léman est actuellement régulé par la demande plus que par l'offre.

Analyse prospective de la situation

Éléments favorables

Une étude des captures de corégone dans des lacs franco-suisse (Gerdeaux *et al.*, 2006) a montré que ces lacs ont une production maximale de corégones lorsque le taux de phosphore est voisin de 20-30 $\mu\text{g/l}$, ce qui est le cas du Léman ces dernières années. D'après une étude menée par l'INRA (Anneville *et al.* 2009), le niveau élevé du stock actuel de corégone au Léman serait à relier à la conjonction d'une situation thermique (précocité du réchauffement printanier) et trophique (disponibilité de proie en quantité et qualité) favorisant la survie des larves grâce à une meilleure croissance initiale. Une hypothèse complémentaire est que l'évolution vers une meilleure qualité des fonds (y compris par la présence retrouvée de characées) en zone littorale serait redevenue plus favorable à la survie des œufs de corégone.

Risques potentiels

A l'inverse, on peut évoquer plusieurs risques potentiels, pour l'instant comme hypothèses non vérifiées au Léman et constituant plutôt des sujets de suivis ou d'études complémentaires. Les grandes quantités d'œufs de corégone déposés en zone littorale pourraient constituer une ressource trophique d'attractivité croissante pour plusieurs espèces connues comme prédatrices des œufs de corégone: la lotte (actuellement sous-exploitée), la perche, le nouveau gammare (*Dikerogammarus villosus*).

Dans les lacs scandinaves de nombreux cas de compétition trophique entre le corégone et l'omble chevalier et ceci en faveur du corégone sont signalés. Il existe des situations où l'introduction du corégone dans des lacs à omble a fait régresser les populations d'omble en faveur du corégone. On ne peut totalement exclure ce type d'effet au Léman. Cependant, au moins une partie de la population d'omble lémanique est protégée par son habitat profond en lien avec ses exigences de température froide. Des auteurs scandinaves indiquent par ailleurs une possibilité de répulsion olfactive entre corégone et omble en faveur du corégone.

Dans la situation actuelle d'un très important développement simultané de la population de corégone et de celle de brochet, le corégone peut constituer une ressource trophique intéressante pour le brochet même si le corégone est en partie protégé par sa bonne vitesse de nage et par son comportement de vie en bancs.

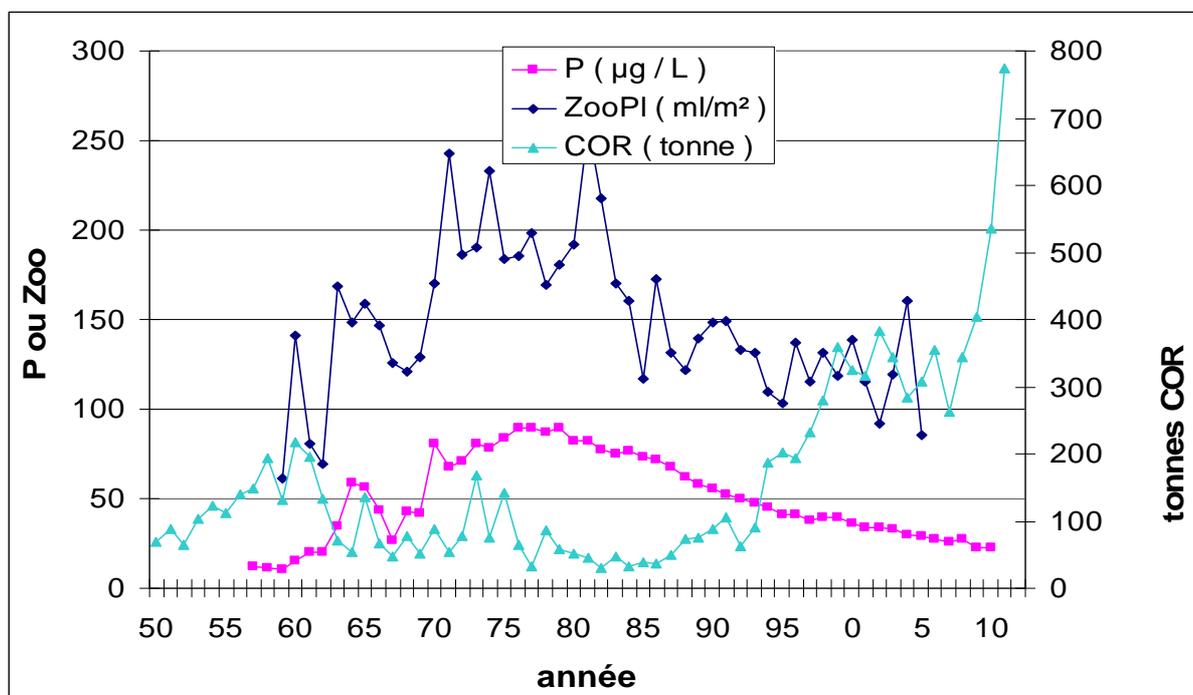


Figure C1. Evolution des captures de corégone au Léman (COR). Evolution conjointe de la concentration en Phosphore (P) et du biovolume de zooplancton (ZooPL).

Quelques propositions

Préambule

Le corégone a pris une place importante dans les pêcheries lacustres lémaniques. Depuis une dizaine d'année, il est devenu une espèce majeure qui diversifie l'offre pour la restauration longtemps surtout basée sur la perche. Par ailleurs, l'abondance actuelle de la « ressource corégone » a permis une diversification de la pêche de loisir en bateau. Enfin, le corégone a pris de l'importance dans le peuplement piscicole et les réseaux trophiques au Léman. Les gestionnaires ont un besoin majeur d'informations sur l'état et l'évolution de « la ressource corégone » en fonction de son niveau d'exploitation. Il y a besoin majeur d'avoir des supports et outils de décision collective pour gérer les pêcheries, notamment celle de corégone, dans un contexte de changements globaux (Lynch *et al.*, 2012).

Pour évaluer l'abondance et la dynamique du stock de corégone exploité aux pics il est nécessaire de connaître, outre les captures journalières, l'effort de pêche développé pour réaliser ces captures journalières, c'est-à-dire le nombre de grands pics posés y compris s'ils sont « bredouilles. Le remplissage d'une colonne "nombre de grands pics" de la fiche de pêche permettrait d'avoir l'effort de pêche développé (nombre de jours-pic) et les CPUE (= Captures par Unité d'Effort = captures de corégonnes par jour-pic). Ce sont ces CPUE, si possible spatialisées, qui permettraient de mieux connaître l'évolution de l'abondance réelle de la population de corégonnes. Vu les enjeux, cet effort minimal pourrait être expliqué et demandé aux pêcheurs professionnels posant des grands pics. En effet, ces dernières années, en fonction de la vente, les pêcheurs ne posent plus la totalité des huit pics auxquels ils ont droit et on ne peut donc plus faire l'hypothèse d'un effort de pêche habituel de huit pics posés.

Si la pêche amateur du corégone se développe fortement, il sera utile de discuter de la mise en place d'un recueil de données sur ces captures et l'effort de pêche développé de manière à avoir des données de CPUE. On ne peut exclure qu'à partir d'un certain niveau bas de phosphore, le retour vers l'oligotrophie conduira à une limitation de la production et/ou de la croissance du corégone au Léman. Il est donc important de suivre l'évolution de la population (indices d'abondance de type CPUE) ainsi que la croissance du corégone au Léman. Dans le contexte CIPEL, il existe un suivi mensuel fait par l'INRA depuis 10 ans et se poursuivant sur une base mensuelle. Il porte sur l'alimentation des corégonnes dans un contexte de baisse du zooplancton (Fig. C1). Des écailles de chaque échantillon de corégonnes utilisé pour le suivi CIPEL sont prélevées afin de recueillir une information minimale sur l'évolution de la croissance et de la structure d'âge des corégonnes pêchés au Léman. On peut recommander la poursuite et l'analyse de ce suivi.

On sait que, pour un stock de corégone, la présence de plusieurs classes d'âge de géniteurs assure une certaine robustesse du recrutement naturel. En complément du suivi mensuel dans la pêche, on peut proposer :

- + un échantillonnage spécifique en fin de saison de pêche afin d'établir les relations taille-âge et maturité sexuelle dans la population actuelle.
- + un échantillonnage lors des quelques pêches de reproducteurs, tout en restant conscient du fait que leur représentativité est devenue limitée par leur faible ampleur actuelle (capture en fin de frai). Néanmoins elles peuvent permettre le recueil de données telles que : croissance des jeunes géniteurs, qualité des pontes, état sanitaire...
- + la mise en place d'un suivi des aspects « pathologie ».

En effet, en relation avec l'abondance simultanée du corégone et du brochet, il importe de suivre l'éventuelle existence et le taux de prévalence de certains parasites (*henneguya zschokkei*, *tryaenophorus crassus*) passant par le brochet et susceptibles de toucher le corégone. *L'henneguya zschokkei* a été détecté par l'INRA au Léman cours de l'étude. Parmi les éléments à suivre et à mieux comprendre, il y a la présence d'un petit pourcentage d'individus bossus ou raccourcis. Un examen montre au niveau des zones concernées, l'existence de vertèbres soudées. On ne connaît cependant pas

encore la cause de cette anomalie ni sa dynamique d'évolution quantitative. L'examen (INRA et ONEMA) d'un échantillon de 830 corégones a permis d'évaluer dans la pêche un taux moyen de 4 – 5 % de corégones touchés. Une hypothèse explicative à évaluer serait qu'en raison de l'extension des aires de reproduction des corégones au Léman, une partie des œufs de la population serait déposée sur des zones non optimales pour la bonne conformation des embryons.

La population de corégone a récemment étendu ses habitats de reproduction :

- * colonisation de l'ensemble de la zone littorale.
- * reproduction dans les parties basses de certains affluents
- * reproduction en surface en pleine zone pélagique avec des œufs déposés sur des fonds défavorables.

Il y a un intérêt scientifique et pratique à connaître, outre l'expansion des aires de reproduction du stock, les causes et conséquences d'un tel changement de trait de vie.

Une autre hypothèse pourrait être liée à la température si une partie de la population pondait à une température défavorable. On peut préconiser une étude visant à préciser l'éventuelle variabilité de la ou des populations de corégones lémaniques dans l'aptitude des œufs à se développer à des températures élevées (10-12 ° C). Une pré-étude déjà ancienne (Champigneulle non publié) suggérait une aptitude à se développer à des températures légèrement supérieures dans le cas du corégone du lac du Bourget comparativement au corégone du Léman. Cette étude comparative spatio-temporelle inter et intra-lac serait utile dans un contexte de réchauffement climatique.

Bibliographie sommaire

- ANNEVILLE O., SOUISSI S., MOLINERO J.C., 2009. Influences of human activity and climate on the stock-recruitment dynamics of whitefish, *Coregonus lavaretus*, in lake Geneva. *Fisheries Management and Ecology*, 16, 492-500.
- CHAMPIGNEULLE A., CACHERA S., 2008a. Evaluation de la stratégie de pacage lacustre (repeuplements en lac) pour le corégone (*Coregonus lavaretus*) au lac du Bourget. INRA-Thonon, *Rapport SHL 284-2008*, 45 p.
- CHAMPIGNEULLE A., GERDEAUX D. 1992. Survey of experimental stockings (1983-1985) of lake Geneva with spring prefed *Coregonus lavaretus* (3-4,5 cm) . *Polish. Arch. Hydrobiol.*; 39, 721-729.
- GERDEAUX D., 2004. The recent restoration of the whitefish in Lake Geneva : the roles of stocking, reoligotrophication, and climate change. *Annales Zoologici Fennici*, 41, 181-189.
- GERDEAUX D., ANNEVILLE O., HEFTI D., 2006. Fishery changes during re-oligotrophication in 11 peri-alpine Swiss and French lakes over the past 30 years. *Acta oecologica*, 30, 161-167
- LYNCH A.J., VARELA-ACEVEDO E., TAYLOR W.W., 2012. The need for decision-support tools for a changing climate: application to inland fisheries management. *Fisheries Management and Ecology*,
- VILJANEN M., 1988. Relation between egg and larval abundance, spawning stock and recruitment in vendace (*Coregonus albula*). *Fin. Fish. Research*, 9, 271-289.

OMBLE CHEVALIER (*Salvelinus umbla_anciennement alpinus*) AU LEMAN

Evolution des captures et des repeuplements en omble au Léman.

L'omble chevalier (*Salvelinus umbla_anciennement alpinus*) est une espèce autochtone au Léman où il est en limite sud de l'aire de répartition naturelle de l'espèce en Europe (Rubin, 1990). Il s'agit d'une espèce ayant besoin d'eau froide et elle est donc potentiellement menacée par le réchauffement climatique (Gerdeaux, 2011). Sa reproduction au Léman a lieu sur des fonds lacustres profonds (35-120 m) et peu sédimentés (omblières) qui sont limitants en qualité et quantité.

Des opérations de repeuplement sont pratiquées depuis près de 100 ans. Elles consistent à déverser des alevins nourris (en particulier des estivaux de 5-9 cm dans la période récente) produits à partir d'œufs essentiellement collectés sur des géniteurs capturés sur les omblières lémaniques (*supportive-breeding*) (Champigneulle *et al.*, 2001).

Une phase de diagnose (Champigneulle *et al.*, 2001) initiale a souligné l'importance de distinguer les 2 composantes du recrutement :

- + composante N : recrutement naturel, c'est-à-dire issu de la reproduction d'ombles au Léman et subissant donc tous les facteurs de mortalité en milieu naturel.
- + composante R : repeuplement, issu d'estivaux produits en pisciculture à partir d'œufs collectés sur des géniteurs capturés sur des omblières du Léman.

Pour l'omble lémanique, une cohorte donnée commence généralement à être exploitée en fin d'année 2+ ; elle est majoritairement exploitée en 3+ et elle arrive en fin d'exploitation en 4+ (Champigneulle et Gerdeaux, 1995). Les figures O1 et O2 présentent, respectivement, l'évolution des captures d'ombles par pêche professionnelle et amateur de 1986 à 2010 (année N) et l'évolution conjointe des déversements d'estivaux d'omble pratiqués trois ans plus tôt (année N-3). Les captures par les deux pêcheries (amateurs et professionnels) montrent toutes deux une forte augmentation de 1986 à 1997. Pour cette période 1986-97, les captures de l'année N évoluent dans le même sens que les relâchers d'estivaux l'année N-3. La capture « record » de 1997 est sous la dépendance du plus fort relâcher (1,7 millions) d'estivaux 3 ans plus tôt.

Il existe une forte corrélation positive ($r=0,97$) entre le niveau des déversements d'estivaux l'année N-3 et les captures par pêche professionnelle l'année N pour la période de captures 1980-1999.

Les captures d'omble par chacune des deux pêcheries se sont effondrées en fin des années 90 et dans les années 2000 malgré un repeuplement important, variant entre 1 et 1,7 millions d'estivaux déversés annuellement (Fig.O1 et O2).

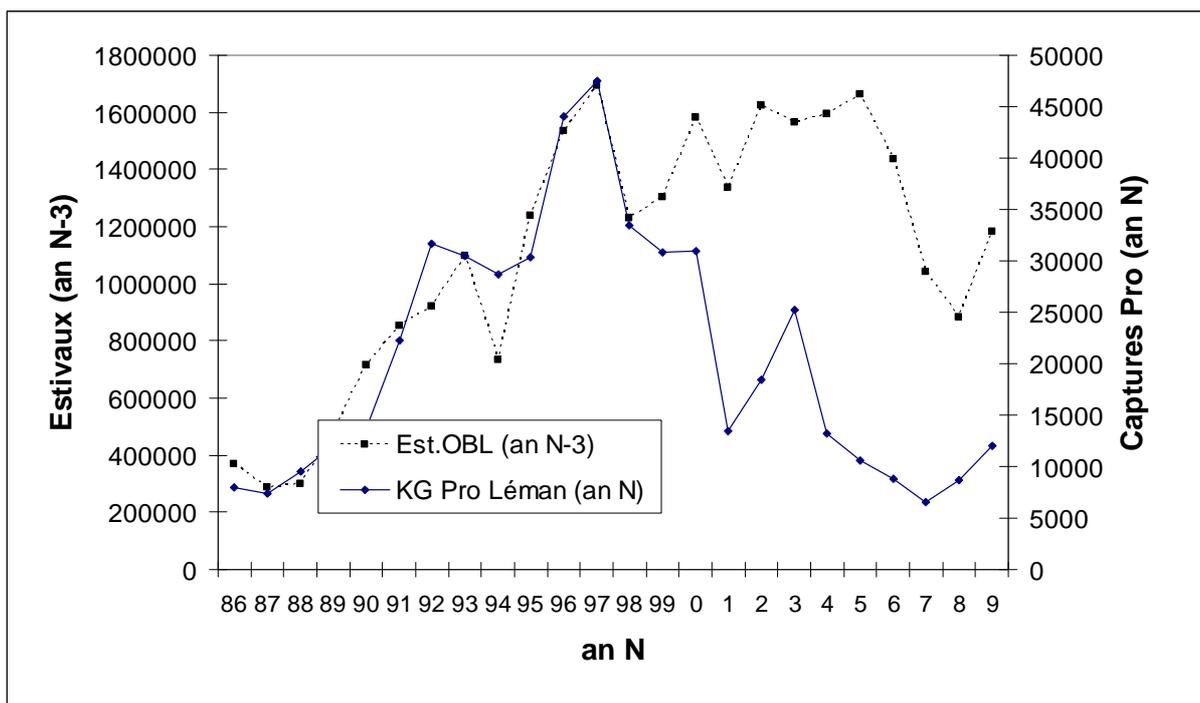


Figure. O1. Evolution des captures d'omble par pêche professionnelle au Léman (année N) et évolution conjointe des déversements d'estivaux l'année N-3.

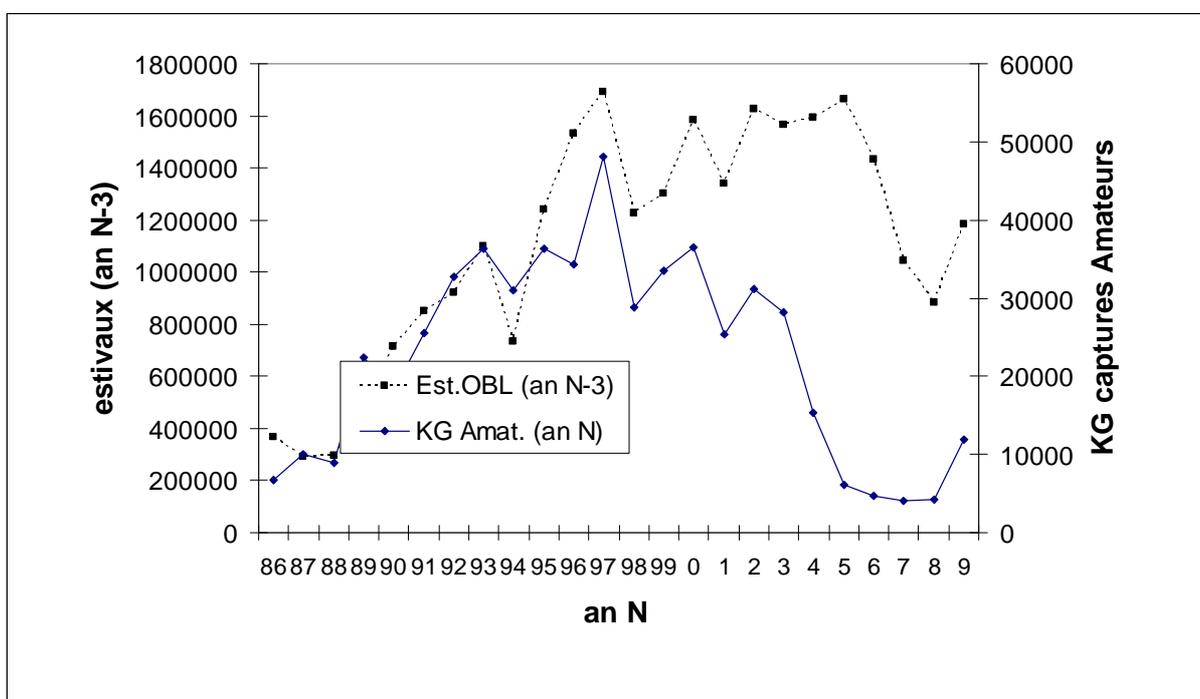


Figure O2. Evolution des captures d'omble par pêche amateur à la traîne au Léman (année N) et évolution conjointe des déversements d'estivaux l'année N-3.

Eléments de diagnose sur l'omble au Léman

Partant des ces premiers constats issus des pêcheries, diverses hypothèses, seules ou combinées, ont été émises comme étant susceptibles d'avoir contribué aux évolutions à la baisse observées. Les principales d'entre elles sont indiquées dans la figure O3 qui résume quelques uns des stress potentiels susceptibles d'être impliqués dans les évolutions à la baisse des captures d'omble au Léman.

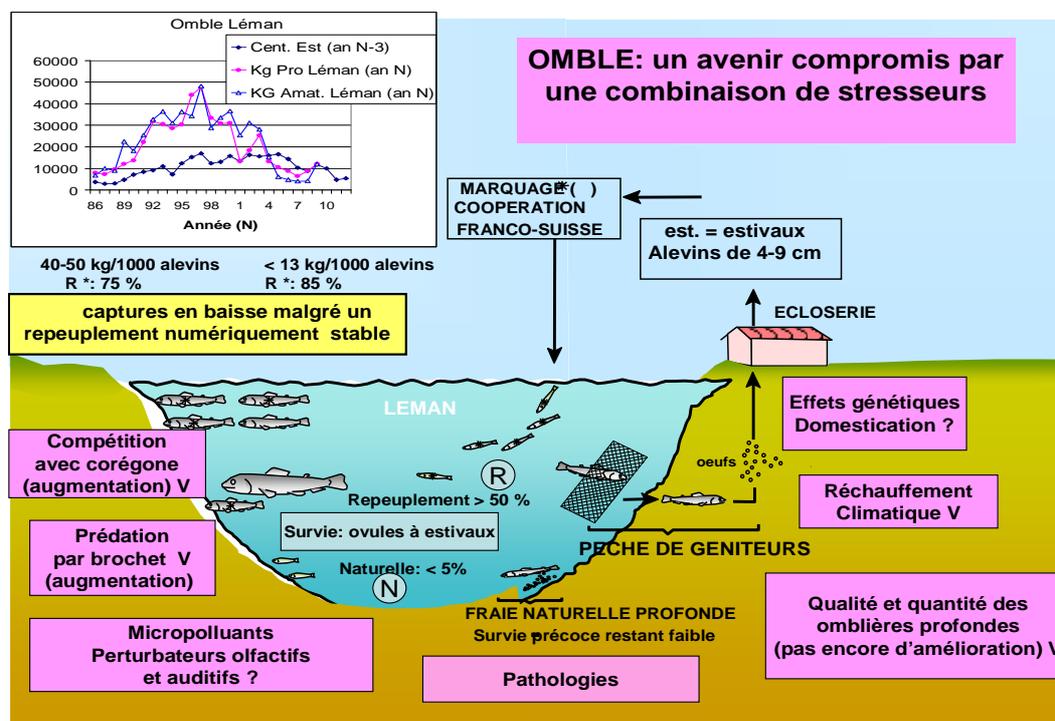


Figure O3. Principales hypothèses sur des facteurs pouvant contribuer à la limitation de la population d'omble lémanique.

Lors de la recherche initiale de divers éléments de diagnose (Fig. O3), un objectif émis a été de tenter de proposer en fin d'étude un premier scénario de l'évolution de la population d'omble en utilisant les données et informations acquises. L'analyse initiale a souligné l'intérêt de ne pas seulement prendre en compte la phase de déclin des captures mais également la phase initiale de montée en puissance du repeuplement et des captures.

Les captures annuelles totales de chacune des deux pêcheries sont restées fortes (> 30 t) pendant 9 années consécutives (1992 à 2000) (Fig. O1 et O3). Ce tonnage d'omble soutenu à 60 t et donc voisin de 1 kg/ha peut être considéré comme très élevé comparé à des lacs de cette gamme de taille (Constance, Neuchatel en Suisse ; Vänern et Vättern en Suède). On pourrait même à l'extrême relativiser la baisse en indiquant qu'elle est accentuée par le fait qu'elle a été précédée par une hausse conjoncturellement et presque anormalement forte.

La suite de l'étude FR-CH pour l'omble a ensuite été menée en réalisant :

+ une campagne de marquage à large échelle visant à évaluer les contributions et les caractéristiques du recrutement naturel et des diverses pratiques de repeuplement dans la cas de la cohorte 2007.

+ une recherche et une évaluation de diverses hypothèses explicatives de la baisse des captures d'omble.

Evaluation du repeuplement de la cohorte d'omble de 2007.

L'ensemble des 993 700 estivaux (5-9cm) d'omble de la cohorte 2007 repeuplée au Léman a été marqué par fluoromarquage des otolithes à l'alizarine redS (Caudron et Champigneulle, 2006) en distinguant les 3 pratiques de repeuplement:

+ FRsauvages : production d'estivaux, directement à partir d'œufs issus de géniteurs capturés sur les omblières françaises du Léman, élevés à la pisciculture de Rives sur eau de lac et déversés au Léman FR et CH.

+ CHsauvages : production d'estivaux directement à partir d'œufs issus de géniteurs capturés sur les omblières suisses, élevés sur eau de nappe et de torrent dans une pisciculture du Valais et déversés au Léman CH.

+ FRcaptifs : production d'estivaux à partir d'œufs issus d'un stock captif de géniteurs constitué depuis 5 générations à partir de géniteurs lémaniques. Les estivaux ont été produits à la pisciculture de Rives sur eau de lac et ils ont été déversés dans les eaux françaises du Léman.

Le terme « pratique de repeuplement » sera employé à la place de termes tels que « origine ». En effet le marquage pratiqué ne distingue pas isolément des souches mais plutôt un effet global de plusieurs facteurs sous-jacents (origine des œufs : taille, date, conditions de transport, contexte de déversement des alevins...).

Grâce au fluoromarquage de la totalité des alevins déversés et de sa pérennité à 100 %, on a l'équivalence : omble non marqué de la cohorte 2007 = omble issu du recrutement naturel et omble marqué = omble issu du repeuplement en estivaux en 2007.

Tableau O1 . Bilan des relâchers d'estivaux d'omble (5-9 cm) de la cohorte 2007 déversés marqués (totalité des déversements) au Léman

Pratique	Lieu de déversement	Nombre (<i>nombre Total et %</i>)	Marque
CHsauvage	Léman genevois	120 000	Grande marque ARS=1Gm
	Léman vaudois	136 700	Grande marque ARS=1Gm
	Léman valaisan	26 000	Grande marque ARS=1Gm
(totalCHsauvages)		(282 700-28.5%)	
FRsauvage	Léman genevois	80 000	Petite marque ARS=1pm
	Léman vaudois	110 000	Petite marque ARS=1pm
	Léman français	392 700	Petite marque ARS=1pm
(totalFRsauvages)		(582 700-58,7%)	
FRcaptif	Léman français	127 900	Marque ARS double=2pm
(totalFRcaptifs)		(127 900-12.8%)	
TOTAL	Léman	993 700	

Terminologie d'évaluation du repeuplement et calculs correspondants

Contribution relative (CR) des pratiques de repeuplement : Pour chaque échantillon d'omble de la cohorte 2007 on a calculé la contribution relative de chacune des sources de recrutement (reproduction naturelle et 3 pratiques de repeuplement en estivaux d'omble) en examinant les otolithes polis de chaque individu en microscopie à épifluorescence. Cet examen a permis d'évaluer l'absence (recrutement naturel) ou le type de marquage alizarine correspondant aux diverses pratiques de repeuplement.

Efficacité Relative (ER) des pratiques de repeuplement : On observe un échantillon d'omble de la cohorte 2007. Dans cet échantillon il y a un total de R_{tot} ombles marqués observés et R_i est le nombre de marqués observé pour chaque pratique de repeuplement. Le total des R_i est égal à R_{tot} .

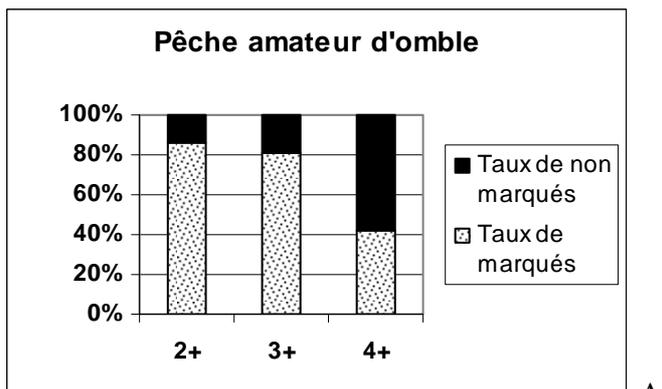
Par ailleurs on calcule pour ce même échantillon de R_{tot} ombles marqués quels seraient les effectifs attendus sous l'hypothèse 1 qu'ils soient proportionnels au nombre initial déversés pour chaque pratique. L'efficacité relative évaluée pour chaque pratique (ER_i) est alors le rapport entre l'effectif réellement observé R_i et l'effectif théorique attendu sous l'hypothèse 1.

Dans la pêche amateur (Fig O4A), alors que la contribution du repeuplement était forte, respectivement de 86,5 % et de 80,9 %, respectivement aux stades 2+ et 3+, elle baisse très significativement au stade 4+ pour lequel elle n'est plus que de 41,9 %.

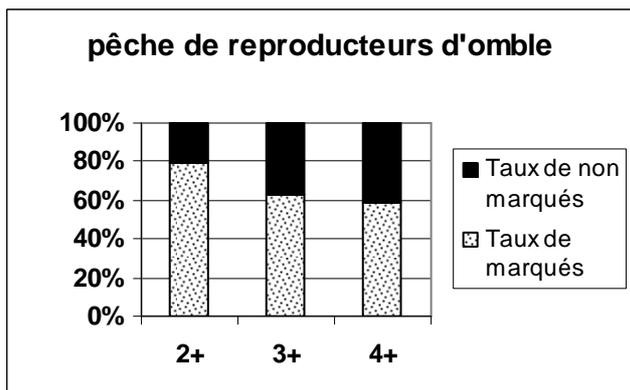
Dans la pêche professionnelle, il y a une contribution très fortement dominante du repeuplement, 91,8 % et 87,5 % respectivement au stade 2+ et 3+ (Fig.O4C).

Sur l'ensemble (CH+FR) de la pêche de géniteurs (Fig O4B), le repeuplement domine (79,5 %) dans les captures de jeunes géniteurs 2+, mais il baisse à 62,6 % au stade de géniteurs 3+, valeur inférieure à celle observée à ce même âge dans la pêche amateur (80,9 %) et professionnelle (87,5%). Dans les captures d'omble 4+ au stade de reproducteurs (Fig O4B), le taux de marqué est de 58,7%, valeur proche de celle (62,6%) observée chez les reproducteurs 3+.

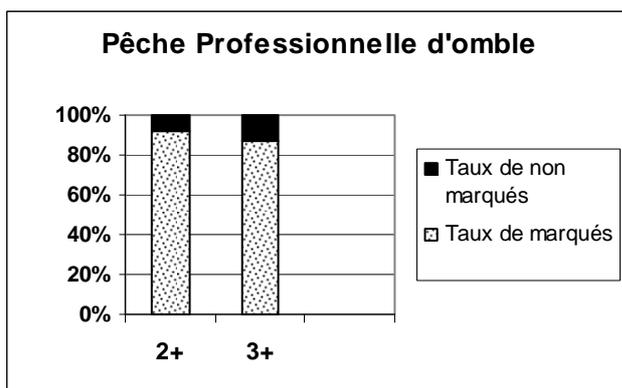
En final, le taux d'ombles non marqués et donc issus du recrutement naturel est plus élevé dans la pêche amateur des 4+ (58,1 %) et dans les captures de géniteurs 3+ (37,4 %) et 4+ (41,3%).



A



B



C

Figure O4. Evolution de la contribution par âge (2+, 3+, 4+) du repeuplement (marqués) et du recrutement naturel (non marqués) dans les captures d'omble (cohorte 2007) par pêche amateur (Fig O4A), pêche de reproducteurs (Fig.O4B) et pêche professionnelle (Fig.O4C).

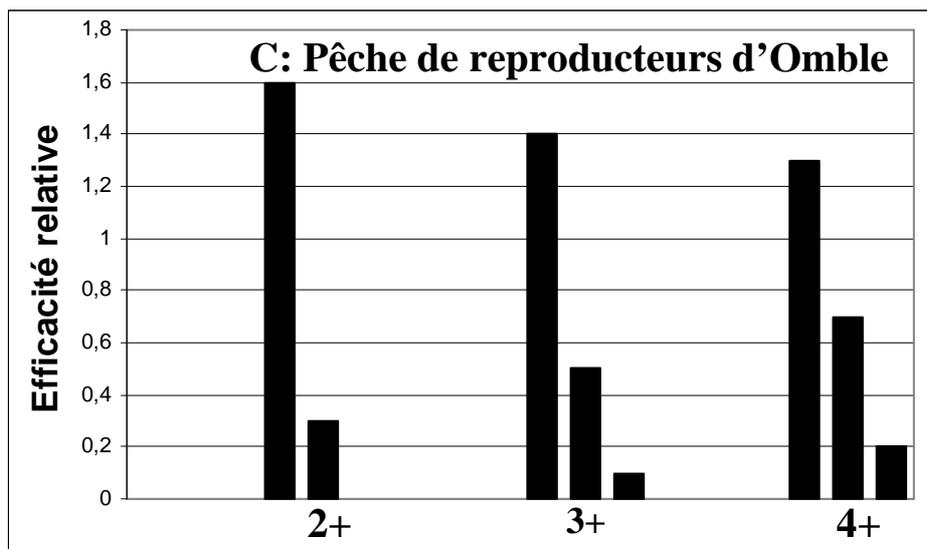
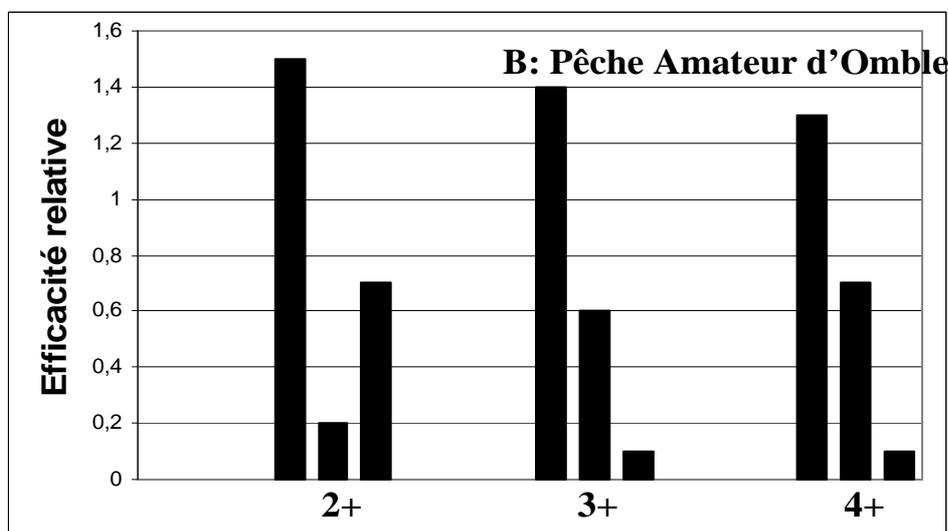
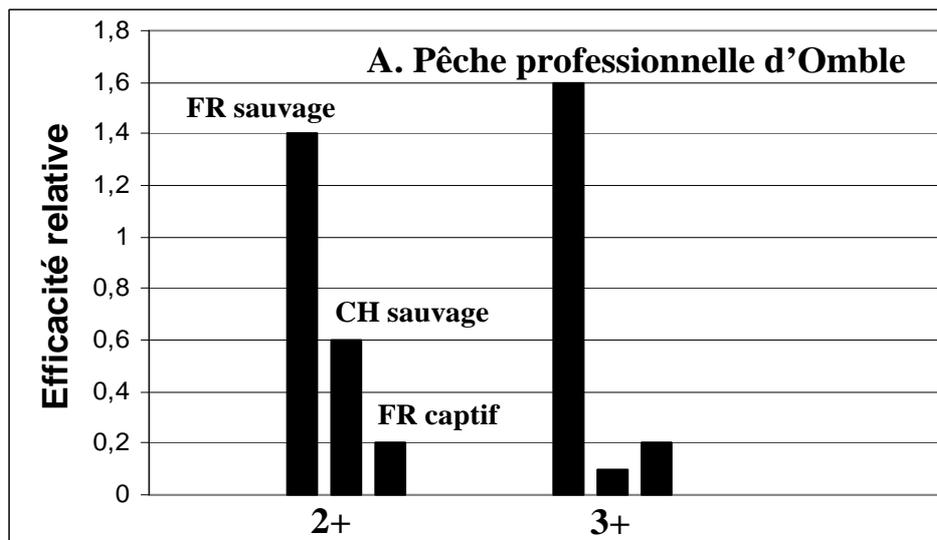


Figure O5. Efficacités relatives comparées des diverses pratiques de repeuplement en juvéniles d'omble au Léman dans les captures de la cohorte 2007, à différents âges, par les trois pêcheries : professionnels (O4A) : amateurs (O5B) ; reproducteurs (O5C).

En ce qui concerne la fraction repeulée, une évaluation d'efficacité relative comparative a été faite pour les trois pratiques de repeuplement au sein des 8 groupes échantillonnés (Fig.O5)

L'étude montre de très fortes différences entre les pratiques. Pour chacun des groupes examinés (2+Amat., 3+Amat, 4+Amat, 2+Pro, 3+Pro, 2+Génit.,3+Génit et 4+Génit), la pratique FRsauvage a eu une efficacité relative nettement supérieure à chacune des deux autres pratiques, au minimum 2 fois (Fig.O5A-O5B-O5C).

La pratique FRcaptif a eu une efficacité relative faible ou nulle pour chacun des groupes, hormis pour celui des jeunes captures (âge 2+) dans la pêche amateur (Fig O5B, 2+). Au stade de géniteur (Fig O5C) et pour chacun des âges, l'efficacité relative de la pratique FRcaptif est significativement plus faible que celle des deux 2 autres pratiques (FRsauvage et CHsauvage).

Au stade de reproducteurs (Fig O5C), l'efficacité relative de la pratique FRsauvage est supérieure à celle de la pratique CHsauvage aux stades 2+, 3+ et 4+. Cependant le rapport « efficacité relative de CHsauvage /efficacité relative de FRsauvage » s'accroît avec l'âge passant de 19 %, à 36 % et 54 %, respectivement à l'âge 2+, 3+ et 4+ (Fig. O5C).

Recherche de géniteurs non marqués dans les captures sur les omblières CH et FR.

Les géniteurs non marqués de la cohorte 2007 sont issus de parents qui se sont naturellement reproduit au Léman et qui ont fourni une progéniture ayant eu la capacité d'atteindre le stade de géniteurs fonctionnels et d'être présents sur une omblière lémanique. Une recherche a été réalisée en vue de repérer l'éventuelle existence de « noyaux » de populations de géniteurs à plus fort taux de non marqués et donc comportant une plus forte proportion d'individus issus du recrutement naturel.

Géniteurs 2+(coh 2007)

Le taux de mâles 2+ non marqués est minoritaire sur les omblières CH et FR. Mais il est néanmoins significativement plus élevé sur les omblières CH (30%) que sur les omblières FR (8%).

Géniteurs 3+(coh2007)

Pour chacune des 2 pêcheries de géniteurs, CH ou FR, au stade 3+ et pour la cohorte 2007, le taux d'individus non marqués était significativement (CH ; Chi², p=0,0002 ; FR, Test de Fisher, p=0,023) plus élevé dans le cas des grands (>39cm) géniteurs (70,0 % pour CH et 60,7% pour FR) que dans le cas des petits géniteurs 3+ (27,3% pour CH et 21,4% pour FR) (Tb O2, Tb O3).

Tableau O2. Taux de marqués et de non marqués en fonction de la taille pour les 3+ (cohorte 2007) capturés comme géniteurs dans la pêcherie CH de géniteurs

	LT ≤ 390 mm % (IC 95 %)	LT > 390 mm % (I.C. 95 %)
Recrutement naturel (non marqués)	27,3 % (19,5-36,8) <i>n=27</i>	70,0 % (48,1-85,5) <i>n=14</i>
Repeuplement (marqués)	72,7 % (63,2-80,5) <i>n=72</i>	30,0 % (14,1-51,9) <i>n = 6</i>

Tableau O3. Taux de marqués et de non marqués en fonction de la taille pour les 3+ (cohorte 2007) capturés comme géniteurs dans la pêcherie FR de géniteurs

	TL ≤ 390 mm % (IC 95%) <i>n</i>	LT > 390 mm % (I.C. 95 %) <i>n</i>
Recrutement naturel (non marqués)	21,4 % (7,6-47,6) <i>n=3</i>	60,7 % (42,4-76,4) <i>n=17</i>
Repeuplement (marqués)	78,6 % (52,4-92,4) <i>n=11</i>	39,3 % (23,6-57,6) <i>n = 11</i>

Hypothèse : Baisse de l'efficacité du repeuplement

Acquis lémaniques :

Bilan des repeuplements passés et situation récente

Données de campagnes antérieures (Tb O4)

Des campagnes de marquage ont été réalisées en phase eutrophe du Léman pour trois cohortes consécutives (1983-84-85). Une première évaluation a été menée par l'INRA (Champigneulle *et al.*, 1988) sur la cohorte 1983. Elle a montré l'existence d'une contribution minimale du repeuplement de 51% avec un niveau de relâcher de 300 000 estivaux. Avec un niveau de relâcher voisin, Rubin et Buttiker (1993) ont évalué à 75-92% et 65-81% la contribution du repeuplement, respectivement pour la cohorte 1984 et pour la cohorte 1985. Reprenant ces dernières évaluations, Champigneulle et Gerdeaux (1995) ont estimé à 39-55 kg /1000 estivaux l'ordre de grandeur du rendement du repeuplement en omble dans la fin des années 80.

Tableau O4. Bilan des campagnes de marquage d'estivaux d'omble pratiquées au Léman en fin des années 80. Remarque * : valeur estimée par Champigneulle à partir des données de % de marqués évalué par Rubin et Buttiker (1993).

Cohorte	N tot relâchés	N marqués	(auteur)	% de marqués dans captures	taux de recaptures pondérales (kg/1000 estiv.) estimé
1983	369 000	26 500 adip. caut.	Champigneulle <i>et al.</i> , 1988	51 % (mini)	20 kg / 1000 est. (minimum)
1984	336 000	38 200 (magné)	Rubin et Buttiker, 1993	75 - 92 %	*39 – 47 kg / 1000 est
1985	298 000	56 200 (magné)	Rubin et Buttiker, 1993	65 – 81 %	*40 - 55 kg / 1000 est.

Dans la période récente (2006-2010) et dans l'hypothèse la plus favorable au repeuplement (total de 5,6 millions d'estivaux pour la période concernée), on peut borner sa contribution maximale en lui attribuant la totalité des captures (amateurs + professionnels), soit 76 t. Dans cette hypothèse, le rendement maximal serait donc de 13 kg / 1000 estivaux dans la période récente. Cette valeur maximale (borne supérieure) du taux de recapture dans la période récente est donc très largement inférieure à la gamme du rendement réel (39-55 kg/1000 estivaux) évalué par des campagnes de marquage antérieures, en fin des années 80 pour des relachers voisins de 300000 estivaux (Champigneulle *et al.*, 1988 ; Rubin et Buttiker, 1993 ; Champigneulle et Gerdeaux, 1995).

La figure O6 met en relation, pour la période 1980-2010, les captures d'omble par pêche professionnelle et les déversements en estivaux d'omble 3 années auparavant. Pour la période 1980-1999, la relation est linéaire croissante. Par contre, tous les points correspondants aux années de la période suivante (2000-2011) se positionnent à une ordonnée moindre. Ces données montrent la validité de l'hypothèse d'une baisse globale du rendement des repeuplements annuels en estivaux d'omble dans les années 2000 et dans un contexte de repeuplement (800 000-1 600 000 ; Fig.O6) atteignant et dépassant l'objectif 800 000 estivaux du plan quinquennal actuel.

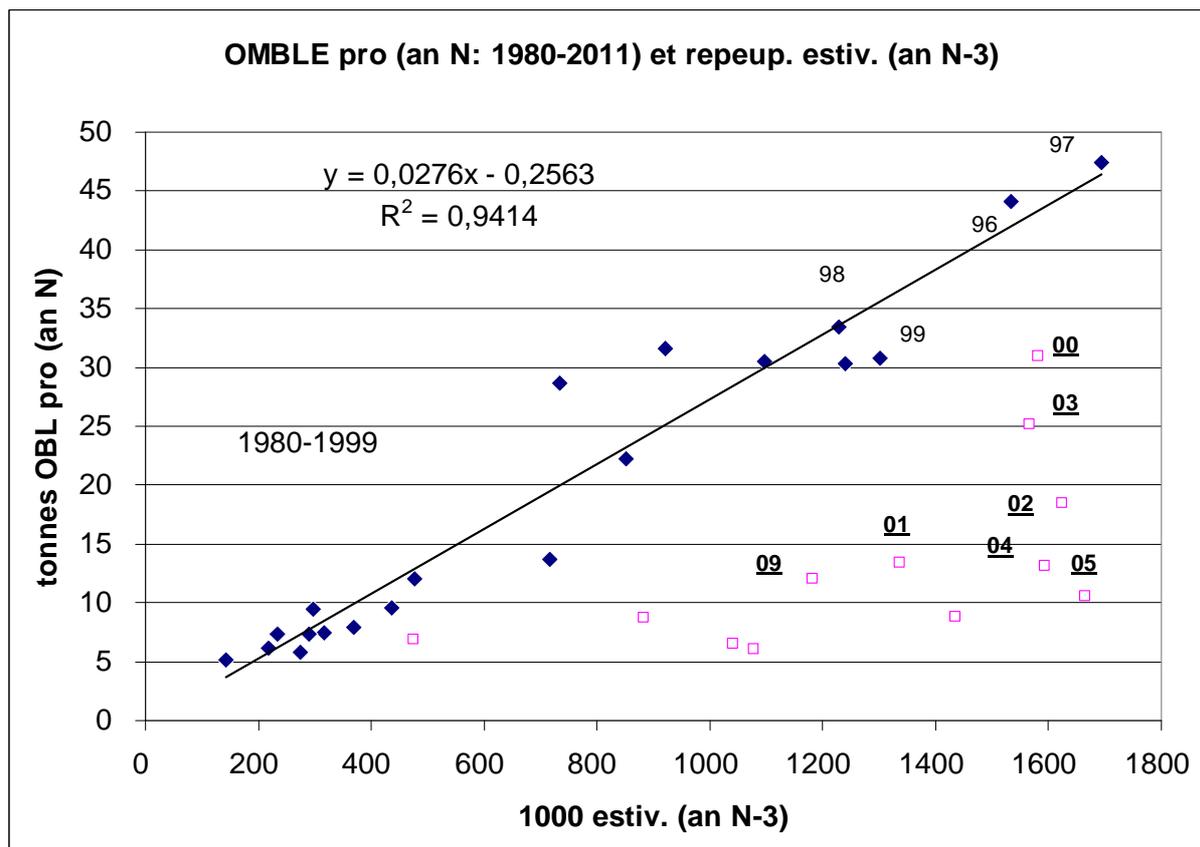


Figure O6 Captures annuelles d'omble par la pêche professionnelle (année N) et nombre d'estivaux déversés l'année N-3.

Conclusions:

+ La « quantité globale d'estivaux déversés » n'est pas un critère unique pertinent caractérisant un repeuplement donné (Fig. O6). Le suivi de la cohorte 2007 marquée va dans ce sens en montrant pour cette cohorte que l'efficacité est très variable en fonction des pratiques de repeuplement, avec la gradation suivante : FRsauvage> CHsauvage>>FRcaptif.

+ Des aspects qualitatifs ou quantitatifs encore en partie à trouver doivent donc être recherchés et pris en compte.

+ une marge de progression des captures issues du repeuplement se situe donc davantage dans l'amélioration des conditions de relâcher et de la « qualité » des juvéniles plutôt que dans une simple augmentation du nombre d'estivaux relâchés.

Recherche et analyse de facteurs influençant la qualité des repeuplements :

Rien n'indique que le processus de baisse du stock et des captures d'omble soit irréversible. Un nouvel enjeu est donc de déterminer l'existence et les modalités d'actions de gestion susceptibles de renverser, au moins en partie, la tendance à la baisse. Pour ce qui est des repeuplements, cela implique la recherche de facteurs de régulation majeurs impliqués dans les mauvais rendements.

Ceci conduit à rechercher s'il y a eu des modifications majeures de tel ou tel facteur entre la période de fort accroissement des captures et la période de chute des captures.

Le fait que les diverses « pratiques du repeuplement 2007 » n'aient pas eu une efficacité relative équivalente suggère que le simple « nombre d'estivaux déversés » n'est pas un descripteur assez précis. On peut donc rechercher ce qui peut différencier les diverses pratiques.

Origine des œufs

De plus en plus d'études montrent des différences de « fitness » des alevins en lien avec l'origine et les caractéristiques des œufs. Cette hypothèse pourrait être analysée par exemple en comparant des performances de juvéniles issus de diverses origines d'œufs.

Phase en pisciculture

+ La phase de production inclue : 1) la capture des géniteurs sauvages et la fécondation sur place pour les femelles ovulées ou bien la fécondation différée pour les non ovulées stabulées en éclosérie, 2) l'incubation des œufs et 3) le nourrissage des alevins jusqu'au déversement.

+ Il existe une marge de progression possible en tentant d'améliorer la survie des alevins en phase d'élevage car cette survie peut être irrégulière en lien avec des problèmes de qualité d'eau (température trop chaude, apports organiques / moules zébrées et sédiments dans les amenées d'eau...) et de pathologies difficiles à maîtriser. Dans le cas de l'élevage de l'omble, une exigence majeure est de disposer d'eau froide sans de trop importants écarts thermiques. L'optimisation de la température et de l'oxygénation de l'eau vis à vis des exigences de l'omble peuvent contribuer à faire baisser l'apparition de certaines pathologies et donc les traitements sanitaires et les mortalités ou états de stress.

+ Si la production d'estivaux d'omble devenait trop limite en termes de taux de survie en élevage en lien avec la thermique et la pathologie, il serait souhaitable d'évaluer les possibilités d'obtention d'eau froide à la bonne température en fonction du stade de vie, depuis la reproduction jusqu'au stade d'estivaux. Si les conditions thermiques étaient trop élevées dans la phase de production des estivaux, il pourrait être souhaitable d'en relâcher plus précocement, au stade de préestivaux plutôt que d'attendre et de déverser des poissons en conditions non optimales et donc susceptibles de transmettre des maladies aux ombles sauvages et donc de contribuer à limiter le recrutement en omble sauvage.

+ Chez les salmonidés, les sens de l'odorat et de l'audition sont déterminants vis-à-vis de l'évitement des prédateurs ainsi que pour la recherche de nourriture et des lieux de pontes pour ce qui est de l'odorat. Or certains produits de traitement utilisés en élevage peuvent provoquer des perturbations olfactives limitant la survie en milieu naturel. Il est donc important, lorsque c'est possible en élevage, d'éviter de sur-utiliser certains traitements lorsqu'ils peuvent affecter l'odorat et/ou l'audition.

+ On peut proposer de développer la notion de qualité des juvéniles de repeuplement et de rechercher des indicateurs de qualité (état sanitaire, test d'évitement de la prédation, comportement au relâcher (bassin test profond ou suivi *in situ* par acoustique juste au moment du relâcher...))

+ Lors de la phase en pisciculture, les juvéniles d'omble ne sont pas en contact avec les prédateurs et ils ne peuvent donc pas faire l'apprentissage de l'évitement des prédateurs. Il existe des méthodes comportementales permettant de réaliser cet apprentissage en pisciculture. Des tests ont été réalisés avec succès en Scandinavie pour protéger l'omble vis-à-vis du brochet (Vihunen, 2006).

+Variabilité d'efficacité inter lots déversés.

L'étude réalisée au Léman sur la cohorte 2007 montre que la faiblesse du rendement d'un repeuplement global n'implique pas forcément que tous les lots déversés aient un faible rendement. L'étude montre qu'un rendement faible peut résulter par exemple d'un mélange de pratiques de très faible et de bonne efficacité.

L'existence de fortes variations entre pratiques de repeuplement d'estivaux d'omble apparemment globalement voisines a également été montré dans une étude récente (Champigneulle et Cachera, 2008). Un lot d'estivaux d'omble de « souche Bourget » a élevé à la pisciculture de Rives puis déversé dans le lac du Bourget. Ce lot a été déversé en plusieurs fois (sous-lots). Un des sous-lots, bien que ne différant pas des autres par la taille des alevins, ni par la période de relâcher (juillet) a été très fortement sur-représenté dans les captures d'adultes. Un « noyau de recrutement efficace » peut

donc être fourni par une fraction réduite/partielle des relâchers sans que l'on sache pour l'instant préciser les caractéristiques différenciant cette fraction efficace des autres pratiques.

Qualité globale des juvéniles déversés

On peut préconiser de « viser la qualité plutôt que la quantité des alevins déversés », par exemple en les élevant dans un milieu permettant de respecter les optima thermiques et d'oxygénation et avec une bonne prévention des problèmes sanitaires.

Lors de certaines des années récentes, certaines pathologies (ex : flavobactéries) ont provoqué des mortalités accrues en élevage. Il apparaît fondé de pratiquer des relâchers un peu plus étalés dans le temps, pouvant commencer plus précocement lors du pic d'abondance du zooplancton en fin de printemps. Des campagnes de marquage (en 1985 et 1990) ont été pratiquées au lac du Bourget (4400 ha). Une expérimentation dans ce lac a consisté à marquer 10 000 préestivaux de 37 mm de taille moyenne déversés en juillet 1985. Le suivi a montré d'existence de très fortes recaptures (voisines de 60 kg/1000 alevins de 4cm). Par ailleurs une expérience menée sur la cohorte 1990 a également montré l'obtention de recaptures avec des relâchers d'alevins d'omble de 4cm seulement. Ces expériences indiquent donc que de bons résultats peuvent être obtenus avec des alevins d'ombles relâchés à des stades un peu plus précoces (préestivaux de 4 cm) que le stade d'estivaux.

Les comparatifs Léman/Bourget sont intéressants car, bien que les œufs soient issus des lacs respectifs, les estivaux sont dans les deux cas produits à la pisciculture de Rives et par conséquent on peut faire l'hypothèse que les aspects qualitatifs liés aux conditions, modes d'élevage et état sanitaire sont globalement comparables. Seuls diffèrent : 1) l'origine parentale des œufs, 2) l'existence d'un transport par la route préalablement au déversement et donc plus pénalisant que les transports au Léman, 3) la période et le mode de déversement: juillet au Bourget et plutôt août/septembre au Léman. En première approche, on peut donc utiliser le devenir des déversements d'estivaux au lac du Bourget comme une sorte de « répliquat / témoin qualité » pour les estivaux produits à la pisciculture de Rives. Or les estivaux d'origine Bourget, produits à la pisciculture de Rives et déversés au lac du Bourget ont, à l'inverse du Léman, continué à donner de bons résultats dans ce lac (Champigneulle et Cachera, 2008 et étude en cours). La poursuite dans la durée d'un rendement correct au lac du Bourget va dans le sens d'une production d'estivaux de bonne qualité issus de la pisciculture de Rives. La forte efficacité relative des relâchers d'estivaux « pratique FR sauvage » de la cohorte 2007 produits à Rives va dans le même sens.

Il y a néanmoins eu, bien qu'en nombre restreint, des cohortes pour lesquelles il y a eu davantage de problèmes de maîtrise de la pathologie comparativement à d'autres. Ces problèmes étant ponctuels et postérieurs à la phase de baisse principale des captures d'omble), ils ne peuvent expliquer à eux seuls l'évolution globale à la baisse des captures d'omble au Léman mais ils peuvent y avoir contribué.

Phase repeuplement

Le contexte global d'une opération de repeuplement inclue un nombre important de paramètres susceptibles d'influencer (seul ou en synergie avec d'autres) son efficacité. Citons par exemple:

- + l'origine des estivaux (ex. : sauvage, élevage, souche/génétique).
- + le mode de production (conditions en pisciculture).
- + la taille des alevins lors du déversement
- + la qualité sanitaire des alevins
- + les conditions de transport.
- + la période du déversement
- + la localisation relative des prédateurs et des ombles déversés. L'étude FR-CH a par ailleurs pointé l'importante évolution du peuplement piscicole et ses conséquences en termes de relations interspécifiques avec l'omble.
- +le type de déversement: période de la journée, lieu, répartition spatiale (densité), profondeur, nature des fonds.

+ les conditions de milieu: température, transparence, ressources trophiques,

Dans les pratiques habituelles des repeuplements FR, il n'y a pas d'ajustement préalable entre la température d'élevage (voisine de 15 °C) et la température de l'eau de surface qui peut être supérieure à 20 °C en été. Cette pratique peut se justifier par le fait qu'elle conduit les estivaux à plonger immédiatement, n'ayant alors qu'un bref séjour passé dans l'épilimnion. Des suivis par échosondeur confirment ce comportement et indiquent même une traversée rapide de la thermocline suivie par une descente à 40-50 m.

Modification de la répartition spatiale globale des déversements à l'échelle du Léman.

Dans la période 1990-94 la part dominante des repeuplements en estivaux d'omble était réalisée dans la zone lacustre française. A partir des relachers de 1995 (captures N+3 en 1998) les niveaux de repeuplement ont été davantage spatialement équilibrés entre les deux pays.

Hypothèse : La nouvelle répartition spatiale globale des déversements d'estivaux d'omble à l'échelle du Léman à partir de la cohorte 1995 (captures en 1998) aurait contribué à abaisser l'efficacité globale du repeuplement dans l'hypothèse où le contexte (milieu, profondeur moindre, densité supérieure de prédateurs...) de repeuplement en estivaux conduirait à une plus faible survie dans les eaux suisses comparativement aux eaux françaises. Il n'est pas possible de savoir si ce changement dans la distribution spatiale globale du repeuplement a réellement joué un rôle dans l'évolution de la population d'omble à partir de 1997. On peut simplement noter la coïncidence des périodes. L'évolution est allée le sens d'une baisse de la densité d'alevinage dans les zones incluant les ombrières françaises. Ces dernières auraient-elles une plus forte capacité d'accueil en juvéniles d'omble? La modification de la répartition spatiale globale conduirait-elle à une moins bonne adéquation entre repeuplement et habitat favorable aux juvéniles. Y aurait-il une augmentation de la prédation générée par cette nouvelle répartition spatiale ? Des études sur le repeuplement en estivaux d'omble dans le lac d'Annecy suggèrent également des effets « sites de déversement » (Zanella, 2003).

L'étude FR-CH menée sur la cohorte 2007 a montré que les repeuplements en Suisse ont eu une efficacité relative moindre que celle des repeuplements pratiqués dans les eaux françaises. Cependant les estivaux déversés dans les eaux suisses et françaises n'ont pas strictement la même origine et ont été élevés dans des conditions différentes (pisciculture, eau, présence ou non de zooplancton...). En fait on ne connaît pas la part liée à l'origine des ombles et celle liée aux conditions de déversement au sens large (milieu, prédation...). Lors des relachers 2007 il a eu quelques lots CH qui ont montré une difficulté à plonger après relacher., traduisant peut-être un état physiologique non optimal. Par ailleurs des études sur la truite ont montré de moins bonnes performances de repeuplement pour des juvéniles élevés à plus forte densité en pisciculture. La densité d'élevage des estivaux CH de la cohorte 2007 était supérieure à celle des estivaux FR.

Modification de la répartition spatiale des déversements à l'échelle du microhabitat

En ce qui concerne la répartition spatiale plus fine, en Suisse comme en France, les déversements sont généralement pratiqués en milieu profond hors zone à perches. Cependant il n'est pas garanti que, à profondeur équivalente, la capacité d'accueil en estivaux d'omble soit uniforme au Léman. En effet on ne connaît pas l'habitat (physique et nourriture) des estivaux d'omble au Léman si bien que l'on ne peut pas bien faire coïncider les sites de relâcher et les habitats à 0+ disponibles au Léman. Dans le cas du cristivomer dans le lac Ontario, Elrod (1987) indique que les courants ont une influence sur la dispersion des cristivomer repeuplés et qu'en général la dispersion se fait dans le sens du courant. Pour le cristivomer dans le lac Ontario, Elrod (1997) préconise un déversement en zone pélagique sachant que l'espèce se distribue entre 20 et 80 m. et que les juvéniles regagnent rapidement la zone profonde.

Thompson et Tufts (1967) ont mis en évidence par une étude de contenus stomacaux une forte mortalité par prédation par des squawfish (*Ptychocheilus oregonensis*) sur des juvéniles de dolly varden (*Salvelinus malma*) et cela en même temps ou rapidement après les relachers. On peut en

conclure l'intérêt d'éviter les zones à prédateurs et par ailleurs de bien disperser les juvéniles de manière à rendre la prédation plus difficile.

+ *Accroissement de la mortalité au déversement et juste « post-déversement »*

De nombreuses études indiquent que le facteur prédation est un facteur majeur de mortalité en lac. Dans un grand lac finlandais repeuplé en truite, Hyvarinen et Huusko (2005) ont montré le rôle majeur joué par la prédation sur la population de truite par l'ensemble de 3 prédateurs (brochet, lotte et sandre). Des travaux récents (Hirvonen *et al.*, 2000; Vihunen, 2006) montrent que les ombles naïfs vis-à-vis des prédateurs se font plus facilement prédatés et qu'il est possible d'améliorer la survie post-déversement d'ombles en pratiquant un apprentissage anti-prédateurs en pisciculture.

Hypothèse d'accroissement de l'efficacité des prédateurs lors du déversement des juvéniles d'omble. Des prédateurs repèreraient mieux les relâchers et exerceraient une prédation plus efficace (phénomène d'apprentissage). La prédation de la lotte sur l'omble est facilitée par le fait qu'elle cohabite avec l'omble. Par ailleurs son impact potentiel s'inscrit dans la durée car elle est notablement sous-exploitée au Léman depuis l'accroissement de l'effort de pêche sur les corégones.

Au Léman des observations récentes (2009) ont mis en évidence de fortes densités d'estivaux d'omble dans des contenus stomacaux de lottes (prises au tramail) en cas de coïncidence de site et de période de déversement. Par ailleurs Champigneulle (données non publiées) a trouvé au cours de l'été 2010 de estivaux d'omble dans des contenus stomacaux de lottes pêchées dans le Haut-lac FR.

+ *Mortalités liées à des aspects trophiques post-relâchers non optimaux*

Les déversements sont actuellement pratiqués de la fin juillet au début septembre à une période où la quantité de zooplancton disponible est dans un creux alors qu'elle est à son maximum en fin de printemps. Ce manque de synchronisation est susceptible d'accroître la mortalité (compétition trophique, prédation). Ce problème risque de devenir d'autant plus crucial que la quantité de zooplancton a baissé avec la réoligotrophisation du Léman (Fig C1). Paragamian et Bowles (1995) ont montré que la survie de juvéniles 0+ de saumon déversés en lac était meilleure lorsqu'il y avait une bonne densité de daphnies proies disponibles au moment du déversement.

Propositions :

Actuellement on ne dispose pas de descripteurs précis de caractéristiques des lots déversés (structure en taille, qualité sanitaire, densité d'élevage...) et de la phase déversement (date, lieu, moment de la journée, positionnement spatio-temporel vis à vis des autres déversements réalisés, comportement au déversement: plongée ou pas, suivi par sondeur...). On peut donc préconiser la réalisation d'une fiche commune franco-suisse réaliste et pratique décrivant les lots déversés et les conditions/modes de déversement. .

Brown et Day (2002) indiquent un éventail de techniques permettant d'améliorer la survie post-relâcher. On ne sait pas si le contact avec le fond est ou non recherché par les juvéniles d'omble juste après relâcher. Des comparatifs utilisant des sondeurs seraient à faire en sites de relâcher plus ou moins profonds en zone sub-littorale.

Rechercher des techniques permettant d'échantillonner les préestivaux d'omble au Léman. Une meilleure connaissance de la prédation en phase de déversement permettrait d'affiner les pratiques. On peut viser des pratiques de déversement qui seraient susceptibles de leurrer les prédateurs potentiels ou de mieux prendre en compte la disponibilité en ressources trophiques (nourriture) et l'habitat aux stades juvéniles. Des recherches de techniques d'échantillonnage (piège, filets) et d'étude (rove ; repérage acoustique de la nature des fonds, nasses, filets à petites mailles...) permettraient de localiser et de caractériser les habitats à juvéniles à partir du stade d'estivaux. Une autre voie serait d'ajuster la date de relâcher à la disponibilité en zooplancton utilisé par le type (taille) de juvénile d'omble déversé.

Hypothèse : non amélioration de l'efficacité du recrutement naturel

Préambule : La phase de montée des captures d'omble au Léman avec un bon rendement du repeuplement en estivaux (captures/1000 estivauxR déversés suggère l'existence (à cette époque) d'un déficit d'estivaux sauvages vis-à-vis de la capacité d'accueil du Léman pour l'omble en croissance. L'évolution à la baisse indique que malgré la réologotrophisation, le recrutement naturel ne connaît pas d'expansion. Ceci conduit donc à analyser certaines phases initiales du recrutement naturel.

Acquis lémaniques :

Omblières :

Les omblières sont les sites sous-lacustres sur lesquels les ombles se reproduisent. Les œufs sont benthiques non enfouis, déposés sur ou dans les interstices de sédiments grossiers. Les omblières sont donc les microhabitats où se déroulent des phases embryo-larvaires: incubation des œufs, éclosion et résorption de la vésicule vitelline des alevins éclos.

Divers travaux et/ou synthèses de travaux sur les omblières profondes (40-120m) habituellement exploitées au Léman ont été présentés dans un N° spécial 58 (3) de la revue Archives des Sciences (2005). L'évaluation de l'état et du fonctionnement des omblières est une question centrale.

La faible part prise par les captures d'ombles non marqués indique que, malgré la réologotrophisation en cours, le recrutement naturel en estivaux (stade de repeuplement) reste un facteur limitant important. Une des hypothèses explicatives est que la quantité limitée et le mauvais état des omblières (sédimentation active persistante, micropolluants...) restent des facteurs limitant majeurs du recrutement naturel des juvéniles d'omble au Léman. Cependant ceci n'exclue par l'existence d'autres facteurs limitant la survie précoce telle que la prédation (lotte), le cannibalisme, les déficits quantitatifs et qualitatifs des habitats à alevins, ces habitats n'étant pas connus.

On a pu constater au niveau des omblières la présence de lottes ayant pour certaines des contenus stomacaux remplis d'œufs d'omble. Selon Knudsen *et al.* (2010) la présence de lottes en sympatrie avec l'omble a pour conséquence une forte prédation de la lotte sur les jeunes ombles et cette piscivorie s'accroît avec la taille de la lotte. On peut donc indiquer que la sous-exploitation de la lotte est un facteur de mortalité en accroissement probable.

Enfin on a pu noter la présence plus abondante d'écrevisses signal (*Pacifastacus leniusculus*) au niveau des omblières du Haut-Lac. Une étude dans le lac Vättern en Suède (Setzer *et al.*, 2011) montre que la part dominante (80%) de la perte en œufs par prédation serait due aux écrevisses signal. Les auteurs évaluent à 3 fois plus le taux de perte d'œufs d'omble en présence qu'en l'absence d'écrevisses.

Un autre résultat important mis en évidence par l'étude FR-CH est que, même s'il est minoritaire quantitativement, le recrutement naturel de l'omble chevalier est toujours possible au Léman. Par conséquent il est encore envisageable de tenter de relancer des actions visant à renforcer le recrutement naturel (composante N) tout en étant néanmoins conscient de la menace à moyen/long terme liée au réchauffement climatique.

Possibilités de diversification et d'expansion de sites d'omblières ?

Les pêches de reproducteurs réalisées pour fournir les œufs aux écloséries sont pratiquées sur les principales omblières traditionnellement connues au Léman. Des pêcheurs signalent cependant également la présence de géniteurs sur des zones non traditionnelles (découvertes fortuites, apport de substrat au Léman suite à des crues...). Par ailleurs certains apports externes de galets lors d'essais de création ou de réhabilitation d'omblières traditionnelles se sont révélés attractifs pour les géniteurs.

Côté français, les prospections réalisées dans la période récente ont permis de relocaliser la présence de géniteurs sur l'omblière d'Yvoire, réputée par le passé notamment par sa grande surface qui en faisait plutôt une zone d'omblières composite.

Une question posée était également de savoir si la phase de montée en puissance du stock d'omble avait ou non conduit à une expansion de ses aires de reproduction. Lors des pêches de reproducteurs de corégones en zone littorale ou sub-littorale, les captures accidentelles de géniteurs d'omble ont été parfois observées. L'effort de pêche pour les corégones est relativement constant. Dans les 2 pays, il y a simultanément eu (période 1992-97) de plus fortes captures de géniteurs d'omble murs dans les filets à géniteurs de corégones (Tb O5..) et donc dans une zone qui ne fait pas partie des omblières traditionnelles au Léman. En France les géniteurs d'omble mûrs capturés dans les filets à géniteurs de corégones ont été utilisés pour la production d'œufs et ces œufs ont été dénombrés. Dans la période 1992-97 la quantité d'œufs récoltés a été significative, en moyenne de 200 000 / an. Ces œufs ont été utilisés pour produire des estivaux. On ne connaît pas les éventuelles conséquences de l'expansion de la reproduction naturelle et des relachers de cette origine de géniteurs d'omble.

Tableau O 5. Captures « accidentelles = by-catch) de géniteurs d'omble lors de pêches de géniteurs de corégones (canton de Vaud et France). Collecte d'œufs d'omble via la capture de géniteurs d'omble dans les pêches de géniteurs de corégones dans le Léman français.

Année	Captures de géniteurs d'omble dans les pêches de géniteurs de corégone (Vaud) Nombre de géniteurs Omble	Collecte d'œufs lors des captures de géniteurs d'omble dans les pêches de géniteurs de corégone (France) Nombre de milliers œufs d'Omble
86	5	0
87	1	0
88	6	0
89	3	0
90	1	0
91	2	0
92	24	314
93	44	163
94	12	28
95	5	115
96	33	460
97	40	101
98	8	?
99	4	?
0	21	214
1	2	0
2		0

Propositions:

L'étude FR-CH ouvre la voie à plusieurs options susceptibles d'accroître le recrutement naturel en juvéniles :

+ favoriser la création d'omblières naturelles en limitant les extractions de galets déplacés ou apportés par certains affluents du Léman.

+ dans le cadre d'un programme pluriannuel progressif, tenter de renaturer des omblières colmatées ou essayer d'en créer sur des sites favorables à un auto-nettoyage naturel. Si de telles opérations avaient lieu, il serait impératif de réaliser un état des lieux avant aménagement et un suivi

post- aménagement. L'avis d'un spécialiste du transport solide et des courants sous lacustres serait fortement souhaitable.

+ à l'inverse, discuter l'option de laisser inexploitées des omblières à taux de non marqués plus élevés afin de renforcer la sélection des « aptitudes sauvages sous jacentes ». Les pêches de reproducteurs, actuelles et passées, ont été pratiquées sur un groupe d'omblières traditionnelles. Or il existe probablement une « boîte noire » des omblières non connues et donc non exploitées. Cette « boîte noire » permet donc d'assurer un minimum d'omblières non « perturbées par des pêches de reproducteurs.

+ optimiser et mieux valoriser l'exploitation de la lotte et de l'écrevisse, toutes deux étant sous-exploitées.

Quantité, qualité, fonctionnalité des omblières

La campagne de marquage de la cohorte 2007 a montré qu'au stade 3+ environ 20 % du recrutement naturel était issu de la reproduction naturelle, ce qui est un niveau de contribution faible et voisin de celui observé en fin des années 80 (Rubin, 1990 ; Rubin et Buttiker, 1993). Cette stagnation à un niveau bas suggère que le facteur fonctionnement des omblières ne peut pas être le facteur explicatif majeur de la dynamique « augmentation-baisse » observée. Néanmoins, comme il est un facteur majeur de la fonctionnalité et donc de la pérennisation à long terme de la population, il est indispensable de faire un point de la situation des omblières et de mener une réflexion sur les possibilités d'accroître le succès de la fraie naturelle.

Quelques questions posées

+ Quelles sont les grandes caractéristiques des omblières connues au Léman ?

+ La quantité (en nombre et en surface) insuffisante et/ou la mauvaise qualité (sédimentation, désoxygénation de l'interface eau sédiment, micropolluants, substances toxiques, manque de régénération par apport de substrat propre) des omblières constituent-elles un/des facteur(s) limitant(s) le bon fonctionnement du cycle naturel de l'omble au Léman en ce qui concerne la phase de reproduction et d'incubation des œufs et alevins en résorption *in situ* ?

+ Peut-t-on concevoir/expérimenter des aménagements des habitats de reproduction permettant d'améliorer de façon opérationnelle (ingénierie de la conservation) le bon déroulement de la reproduction naturelle et des phases embryon-larvaires ?

Éléments d'analyse des omblières profondes habituellement exploitées.

Les omblières profondes habituellement exploitées au Léman ont été décrites de façon approfondie par Rubin (1990 et 2005b). D'après ce que l'on connaît, l'omble chevalier du Léman se reproduit dans des zones lacustres généralement profondes (40 à 120 m), soit sur des substrats naturels (éboulements, crêtes de cônes de déjection; apports des affluents et redistribution par les courants/tempêtes...), soit sur des substrats dont la présence est liée à des activités humaines (ex : rejets de carrières).

Grâce à des campagnes menées en bathyscaphe, Rubin (1990) a mis en évidence en fin des années 80 un taux élevé (80-90 %) d'œufs d'omble morts en cours d'incubation sur des omblières du Léman. Ce taux d'œufs morts était d'autant plus élevé que la concentration en oxygène (mesurée à 10 cm du fond) de l'eau était plus faible. On manque cependant de références sur les taux de mortalité pouvant être considérés comme normaux dans le Léman lorsqu'il était au stade oligotrophe.

Des études menées par Muller (1992) indiquent que ce qui compte pour la survie des œufs ce sont les conditions de milieu (ex.: O₂, H₂S, micropolluants...) à l'interface eau-sédiment. On peut donc avancer que l'amélioration de la qualité de l'eau en zone pélagique suit une dynamique plus rapide que celle de l'amélioration du substrat en profondeur au niveau des omblières et à l'interface eau-sédiment. Les suivis de plusieurs omblières montrent une dynamique temporelle de dégradation

par recouvrement de sédiments au cours de la phase de réoligotrophisation (Rubin, 2005b). Par conséquent il est probable que le retour à des omblières profondes de bonne qualité n'est pas garanti à une échéance proche par le seul effet de la réoligotrophisation. Dans le cas du lac d'Annecy, malgré l'état oligotrophe du lac, la reproduction naturelle ne sature pas son potentiel pour la croissance puisque le repeuplement a une contribution majoritaire (Zanella, 2003 ; Janjua *et al.*, 2010).

Autres types d'omblières, suspectées ou potentielles

Ce sont principalement les sites d'omblières traditionnelles connues de longue date et habituellement exploitées pour les pêches de reproducteurs d'omble qui ont pu être le mieux décrits en particulier par des travaux suisses menés en bathyscaphe (Rubin, 1990 et 2005 b). La situation récente du fonctionnement de l'ancienne et vaste zone d'omblières d'Yvoire reste moins connue. Une prospection en début des années 2000 (Rubin, 2005b) n'avait pas permis de révéler la présence d'omblières actives sur ce site autrefois très fréquenté. Plus récemment, dans le cadre du présent projet FR-CH, les gestionnaires des pêches de reproducteurs (Chataigner com. person.) ont révélé la présence d'omblières actives en décembre 2009 et des échantillons de géniteurs ont été contrôlés. Des échantillons de chair ont été prélevés pour analyse génétique (cf. Savary 2001), Ces géniteurs d'omble diffèrent génétiquement un peu de ceux analysés sur les principales autres omblières traditionnelles. Une étude acoustique (INRA-Guillard_CEMAGREF-Poulain) a révélé l'existence sur la zone d'Yvoire de zones à substrat grossier.

On ne peut exclure l'existence d'éventuels habitats de reproduction non répertoriés à ce jour et dont certains pourraient traduire une dynamique d'adaptation de la population d'omble (ou d'une fraction d'entre elle) aux changements du milieu (sédimentation, réoligotrophisation, réchauffement). Lors des pêches de reproducteurs de corégone, il y a eu certaines années des captures de géniteurs d'omble en zone littorale. On peut donc penser que certains ombles fraient en dehors des sites d'omblières profondes traditionnelles, sur des sites plus diffus (moins profonds ?). De même on ne peut totalement exclure qu'une fraction de la population d'omble puisse pondre sur des herbiers à characées profonds. Ce type de milieu de fraie a en effet été décrit dans le cas du Cristivomer (Beauchamp *et al.*, 1992). On ne peut exclure l'existence d'un rôle négatif de la moule zébrée. En effet, une étude (Marsden et Chotowski, 2001) a mis en évidence que la colonisation par la moule zébrée a dégradé certains habitats de fraie du cristivomer dans les grands lacs nord-américains.

L'aménagement des rives du Léman, en érigeant des murs et digues, a appauvri les grèves en galets alors qu'auparavant, suite à certaines tempêtes et/ou courants, les mouvements vers la zone profonde d'une partie mobile de ces grèves (galets « nomades ») permettaient sur certains sites la création d'omblières. Par ailleurs il est probable qu'avant l'action de l'homme (récupération des matériaux) les transports solides par les affluents contribuaient à fournir davantage de sites de reproduction pour l'omble.

Divers types d'aménagements/création d'omblières

Divers types d'aménagement existent :

+ Omblières traditionnelles (cf Rubin, 2005 b). La création de nouvelles omblières par adjonction de substrat ad hoc se heurte au problème du colmatage assez rapide de ces omblières, ce qui amène à devoir reconduire les apports de substrat après quelques années (Rubin, 2005 b). Rubin (2005 b) présente par exemple un plan d'aménagement «type»: 3 omblières du type de celle testée sur la Veraye, chacune d'entre elles étant régénérée chaque trois ans. Ceci amène également à considérer les possibilités de limiter le vieillissement des omblières aménagées soit par un choix de sites balayés par un courant de fond favorable et/ou une structuration en tas (présence de crêtes traversées par le courant par analogie avec la structure d'omblières fonctionnelles déjà existantes). A l'extrême il peut même y avoir la création d'un courant artificiel au travers du substrat apporté.(Brabant *et al.*, 2006)

Complémentaire à la démarche de suivi et d'aménagement des omblières profondes traditionnelles, il y aurait d'autres voies complémentaires à évaluer :

- + Poursuivre la prospection de l'ancienne zone d'Yvoire qui a été historiquement une des principales zones d'omblières répertoriées au Léman. Si la possibilité de création/maintien d'omblières fonctionnelles sur la zone d'Yvoire était autrefois liée à une conjonction favorable entre un apport de substrat adéquat et une courantologie favorable, la courantologie n'ayant probablement pas changé, il apparaît théoriquement possible qu'un placement ciblé de substrat ad hoc conduise également à une possibilité de création d'omblières.
- + Rechargement de grèves. L'idée de base est de pratiquer des opérations de rechargement des grèves en galets afin de retrouver tout ou partie de leurs multi-fonctions. Dans le cas d'un effet recherché axé vers la constitution de frayères à omble, il importerait de mieux préciser techniquement les sites optimaux.
- + Rétablissement d'apports naturels par le transport solide des rivières mais avec des limites liées dans la pratique à la gestion des risques d'inondation. On peut préconiser la prise en compte des recommandations du REL (Réseau Ecologique Lémanique).
- + Une autre alternative est la réorientation optimisée d'une partie des produits d'extraction (en rivière tel que fosses de sédimentation, accumulations faisant suite à des crues d'orage...) vers des sites bien ciblés en lac.

Avis / Recommandations

Déroulement de la fraie et des stades précoces

+ Mieux définir la répartition spatio-temporelle actuelle du frai de l'omble au Léman. Il importerait de se donner les moyens de poursuivre la localisation et la caractérisation de la diversité potentielle des sites de frai au Léman.

+ Améliorer les connaissances du fonctionnement du recrutement naturel. L'étude FR-CH a révélé certains déficits de connaissances dans la capacité d'accueil du Léman pour l'omble en production naturelle. La phase «incubation des œufs-résorption des alevins vésiculés dans le milieu omblière» n'est que la première phase critique. Pour que la restauration d'omblières fonctionnelles entretienne le cycle naturel à un bon niveau, il faudrait en plus que l'habitat de premier nourrissage (non connu) ne constitue pas un autre facteur limitant majeur. En effet chez les salmonidés, la phase du début de nourrissage exogène est une phase critique majeure reconnue (Elliott, 1994). L'habitat de début de nourrissage exogène n'est pas connu mais il a forcément une surface et un volume nettement plus important que le milieu omblière proprement dit.

Aménagement (direct ou indirect) d'omblières :

Pour le PAP, dans l'état actuel des connaissances sur l'origine et l'importance du recrutement en juvéniles d'omble, il n'y a pas d'antagonisme à mener simultanément des opérations visant à évaluer les opérations de soutien d'effectifs par repeuplement et des aménagements/renaturations d'omblières. Ces évaluations peuvent permettre d'orienter les pratiques en fonction des objectifs de gestion définis pour l'omble au Léman.

Les aménagements peuvent être de plusieurs types :

- + aménagements directement ciblés sur la création ou la réhabilitation d'omblières profondes (40-120 m).
- + la démarche de création/régénération de grèves qui sur certains sites pouvant avoir pour effet indirect, sous l'action des courants, de permettre à plus long terme la création/régénération d'omblières.
- + les démarches de réhabilitation du transport solide par les affluents. L'idée générale de restauration des apports solides apparaît cohérente mais avec des limites liées dans la pratique à la gestion des

risques (inondations...). Une autre approche plus contrôlée est donc la mobilisation d'une part des apports vers la création d'omblières.

Il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance des mouvements des divers types de sédiments pour : 1) localiser des zones stables et ne permettant pas la sédimentation de dépôts fins ; 2) assurer une percolation d'eau au travers des sédiments grossiers apportés. L'idéal serait d'avoir également un avis plus global, d'où l'intérêt d'une programmation/concertation plus générale et coordonnée de l'approche création / aménagement d'omblières au Léman. On peut recommander en particulier de prendre préalablement l'avis de sédimentologues/courantologues (lacustres ou marins).

Dans le cas d'aménagements ou de créations d'omblières, il apparaît important de réaliser sur des sites - tests des évaluations du rapport efficacité /coûts sachant que la bonne fonctionnalité d'une ombrière n'est pas simplement évaluable par sa fréquentation par des géniteurs mais par l'existence d'un bon rendement entre le nombre d'œufs déposés et les alevins produits jusqu'au stade de fin de résorption, c'est à dire juste avant la phase de nourrissage exogène. Des suivis et des expérimentations pourraient être réalisés en utilisant la technologie des roves pour : réaliser des observations directes (période de fraie : microhabitat, comportement) pose d'incubateurs tests et/ou de pièges à œufs pouvant permettre d'évaluer de façon standard la fonctionnalité des omblières aux stades embryolarvaires.

Analyse de la bibliographie

Mardsen *et al.* (1995) ont fait une synthèse sur l'habitat de reproduction comme facteur limitant pour le cycle naturel du cristivomer dans les grands lacs nord-américains. Il existe une expérience importante acquise sur les grands lacs nord-américains en terme de suivi et d'aménagement de la reproduction du cristivomer. Cette dernière espèce se reproduit en grand lac, cependant à moindre profondeur que pour l'omble chevalier au Léman. Les suivis sont donc plus faciles que pour l'omble chevalier au Léman. Néanmoins diverses techniques (sonar, roves, incubateurs test, trappes à œufs, trappes d'émergence...) visant à évaluer les densités en œufs, leurs mortalités et les facteurs impliqués ont été développées (Mardsen *et al.*, 1995 ; Jansen *et al.*, 2006). Jansen *et al.* (2006) ont montré la faisabilité d'une technique associant complémentirement : localisation GPS, échosondage, pêches aux filets, Rove comme outils permettant de suivre la reproduction du cristivomer *in situ* y compris sur des sites moyennement profonds (40 m).

Fitzsimons (1996) considère que la création de zones de fraie artificielles et plus globalement une stratégie visant à agrandir l'habitat de reproduction peut aider à la reconstitution de stocks de cristivomer dans les Grands Lacs nord-américains. L'auteur préconise par ailleurs le suivi de sites expérimentaux pilotes pour mieux préciser les critères techniques et biologiques de ce type d'aménagement.

Conclusion générale :

Dans l'état actuel des connaissances, le groupe GRP considère qu'il n'y a pas d'exclusion entre repeuplement de soutien et aménagement de la reproduction. Ces deux moyens d'action doivent par contre chacun faire l'objet d'évaluations biologiques, techniques et économiques afin de connaître la situation actuelle et savoir comment la faire évoluer dans le contexte lémanique en fonction des évolutions du milieu et des objectifs de gestion de la population et des pêcheries d'omble. Ces objectifs de gestion restent néanmoins encore à être officiellement définis.

Hypothèse : Effets du réchauffement climatique

Préambule : On peut rappeler que l'omble chevalier est au Léman en limite Sud de l'ère de répartition de l'espèce.

Acquis lémaniques : Une étude a été menée par l'INRA (Gerdeaux, 2011) sur l'effet de la température sur la force des cohortes d'omble au Léman. L'étude utilise les données recueillies (DDAF74, CSP et APERA) lors des pêches de reproducteurs d'omble sur les omblières françaises du Léman de 1992 à 2006. Ces pêches ayant été réalisées avec un même type de filet, une CPUE annuelle a été évaluée comme étant la capture moyenne pondérale par pose d'une nuit d'un filet standard. Cette CPUE a été considérée comme un indice reflétant l'abondance de géniteurs présents. Les valeurs de CPUE annuelle ont varié dans la gamme 22,5-86,6 kg par filet et par nuit. Ces valeurs de CPUE moyenne annuelle et les proportions de chaque génération présente dans les captures ont été utilisées pour calculer la force relative des cohortes nées dans la période 1993-2002. Ces forces relatives de cohortes varient de 9,9 à 90. Il y a une corrélation négative significative ($r^2=0,545$; $P=0,0015$) entre la température moyenne annuelle à 100 m de profondeur et l'indice de force des cohortes d'omble dans la période 1992-2002.

Les données suggèrent que le réchauffement climatique commence à menacer une partie de la population d'omble chevalier au Léman, mais les mécanismes précis en cause restent à connaître. On peut déjà indiquer que, certains automnes et pour les géniteurs les plus précoces, la température commence à être trop chaude pour l'incubation des œufs *in situ* sachant qu'à partir de 8°C il commence à y avoir des mortalités significatives des œufs d'omble.

Proposition :

Le cas de l'omble chevalier du Léman est un modèle pour l'étude de certains effets du réchauffement climatique pour cette espèce. L'étude du devenir et de l'évolution de la fraction naturelle N a un grand intérêt scientifique. Va-t-il survivre, va-t-il baisser ? va-t-il évoluer au niveau de certains traits de vie (ex : décalage de la période de reproduction ou sur le plan génétique ? La grande profondeur du Léman va-t-elle permettre des refuges thermiques ?

On peut donc encourager des études scientifiques en particulier dans le domaine de l'effet du réchauffement sur l'écophysiologie de la reproduction de l'omble. Cette thématique a commencé à être développée à l'INRA Thonon par C. Gillet. Un nouveau chercheur (Emilien Lasne) a été recruté à l'INRA Thonon sur la thématique de la reproduction (étendue aux stades embryo-larvaires) des poissons lacustres.

Conclusions / propositions

Si le réchauffement climatique va croissant, il sera nécessaire de réévaluer pour le Léman : 1) la niche écologique de l'omble, 2) sa nouvelle capacité d'accueil pour l'omble, avec diverses hypothèses de soutien d'effectifs et 3) la capacité du Léman à soutenir ou non une population d'omble naturellement fonctionnelle et la taille de cette dernière.

En termes de gestion durable, il reste à mieux connaître (ex. : pontes séparées croisées par un même mâle, génétique) et protéger le potentiel adaptatif au réchauffement climatique dans le cas des populations d'omble lémanique. Par exemple, on manque de données sur la variabilité intra-spécifique de la durée d'incubation et de résorption, de la survie à différentes températures ou variations thermiques pour divers stades embryo-larvaires. De telles données permettraient de préciser des scénarii pour diverses hypothèses d'évolutions thermiques au Léman.

Il serait utile de faire un bilan complet des aspects thermiques dans les éclosiers impliqués dans le repeuplement. Cette approche permettrait de savoir si, avec le potentiel de pisciculture autour du Léman, l'on peut minimiser certaines mortalités liées directement ou indirectement à des aspects thermiques.

Hypothèse pathologie

Préambule :

La question posée est de savoir qu'elles sont les principales menaces pour l'omble chevalier au Léman en ce qui concerne les pathologies.

Acquis lémaniques.

Deux bactérioses principales ont été mises en évidence sur des ombles au Léman : 1) la BKD (Bacterial Kidney Disease) 2) la furunculose (*Aeromonas Salmonicida*) favorisée par les augmentations thermiques. Selon Gillet, la BKD, contrairement à la furunculose semble pouvoir se développer à plus basse température. On trouve la BKD en effet sur des ombles dans l'arctique canadien. La BKD frappe surtout les adultes alors que la furunculose peut frapper des stades de vie plus variés, y compris de jeunes ombles ou truites.

D'après une étude de Rubin et Wahli 2005 et Wahli (Congrès Nyon, 2005), l'analyse d'échantillons de 2004-2005 montre la présence de la maladie mais à un taux très faible. Les auteurs concluent que la BKD ne peut à elle seule expliquer la raréfaction de l'omble au Léman.

Cependant les observations de terrain antérieures indiquent qu'il y a eu en fin des années 90-tout début des années 2000, une période où plusieurs dizaines de % des ombles capturés étaient porteurs de symptômes externes de la BKD. On ne peut donc totalement exclure l'existence d'une phase aigüe aujourd'hui passée. Néanmoins on peut faire le constat d'épisodes de retour de symptômes à un taux plus réduit. Cela a été par exemple le cas pour la reproduction 2011.

Le phénomène de baisse des captures d'omble s'étale sur plusieurs années et l'hypothèse d'une crise pathologique à BKD aigüe et passagère peut donc difficilement expliquer cette tendance à long terme. Par ailleurs, la BKD n'est pas réputée comme étant une maladie décimant un taux élevé d'une population, même en pisciculture. Par ailleurs comme ce sont les géniteurs qui sont le plus touchés par la BKD, une part importante des ombles contribuant aux captures et qui sont plus jeunes (2+ et 3+) n'aurait pas été concernée. On ne peut pas exclure qu'un épisode de furunculose aigüe chez les juvéniles puissent lui aussi contribuer à une baisse d'efficacité de l'alevinage pour une cohorte donnée.

La BKD pourrait ne pas être le facteur premier mais la maladie pourrait se déclarer lorsque d'autres facteurs mettent tout ou partie de la population d'omble en état de stress. Les facteurs potentiels pouvant contribuer à un état de stress peuvent être multiples: conditions limites de milieu (température et oxygène), pression de prédation et effets chimio-sensoriels liés, paramètres comportementaux (dérangement en phase de frai), blessures non mortelles favorisant des problèmes pathologiques, surpopulation....On ne peut exclure que la « surpopulation » d'omble dans les années 1996-97 ait pu conduire à une extension du volume de répartition de la population d'omble au Léman, une fraction d'entre elle colonisant la zone pélagique plus en surface qu'habituellement. Cette redistribution en habitat sub-optimal (eau plus chaude, davantage de prédateurs.) peut avoir constitué un facteur supplémentaire de stress aggravant les problèmes de pathologie.

Une troisième bactériose (flavobactéries) touche les juvéniles de truite mais aussi d'omble en pisciculture.

Une parasitose, la MRP (Maladie Rénale Proliférative) ou PKD (Proliférative Kidney Disease) est une autre pathologie touchant principalement les alevins 0+ de truite en rivière. Le cycle de vie du parasite passe par des bryozoaires et, dans le cas de la truite, il est favorisé par des températures supérieures à 15 °C pendant 3 semaines. L'eutrophisation des milieux est un facteur aggravant. La PKD a été mise en évidence dans des affluents français et suisses du Léman. Cette pathologie est un danger potentiel pour l'omble. En effet, une étude récente en Islande a montré qu'elle pouvait toucher l'omble et ce à des températures plus basses que celle de 15°C, température limite pour la truite. Le chiffre de 9°C a été avancé dans le cas de l'omble..

Recommandations / conclusions

+ faire appel à l'avis de spécialistes en pathologie des poissons pour faire le bilan de la situation pathologique dans la population d'omble *in situ* et en pisciculture et définir l'intérêt, le protocole, le contenu et le coût d'une étude pathologique si elle est jugée nécessaire. On ne peut exclure de l'étude des pathologies autres que la BKD, par exemple la furonculose (*Aeromonas salmonicida*) qui peut frapper des stades de vie plus variés y compris les juvéniles.

+ Avec l'aide d'un pathologiste des poissons, évaluer l'intérêt de réaliser une fiche de recueil d'observations de symptômes pathologiques intégrés ou non dans des fiches de contrôle plus larges utilisées lors des pêches de géniteurs ou de suivis dans la pêche. L'idée serait de concevoir un suivi minimal standard de surveillance de symptômes pathologiques, BKD en particulier, mais également furonculose et PKD (Proliferative Kidney Disease) à partir d'un examen externe et interne standardisé. A partir d'un certain seuil (défini par le pathologiste) seraient alors déclenchées de nouvelles analyses en laboratoire.

+ On peut penser que plusieurs évolutions agissant en synergie (réchauffement climatique, réoligotrophisation, changement de peuplement avec des pressions de prédation et de compétition, phases de restriction trophiques) ont mis la population d'omble dans un état de stress ayant favorisé l'expression de problèmes pathologiques dont la BKD. Si c'est le cas, il apparaît souhaitable de lutter contre les causes de cet état de stress, du moins sur celles sur lesquelles on peut agir. Selon Jonsdottir *et al.* (1998) l'état de stress favorise l'expression de la BKD.

+ Enfin, sur le plan pratique, on ne peut qu'encourager les pêcheurs et plongeurs de signaler les accumulations de poissons morts particulièrement anormales qu'ils seraient amenés à constater.

De nouvelles menaces

Une publication récente (Krismundsson *et al.*, 2010) a mis en évidence la présence de PKD (Proliferative Kidney Disease) =MRP (Maladie Renale Proliférative) sur des ombles lacustres en Islande. Selon ces auteurs, la PKD serait est un des facteurs explicatif de la baisse de l'omble observée dans ces 20 dernières années en Islande. Selon les auteurs le seuil thermique pourrait être plus bas (9°C) dans le cas de l'omble que dans celui de la truite. Compte tenu de ce seuil, est-ce que les estivaux /préestivaux d'omble pourraient être touchés par la PKD dans telle ou telle pisciculture les produisant pour le repeuplement du Léman ?

Liens entre thermiques et aspects pathologiques.

L'évolution vers une baisse de la « qualité thermique » du Léman vis à vis de l'omble pourrait conduire sa population ou une partie d'entre elle à un état de stress chronique favorisant l'expression de certaines pathologies.

Un aspect important de la température en zone sub-littorale est l'existence de fortes et brusques variations thermiques, jusqu'à 4-5°C. Ce type de variations peut avoir un effet sur l'état général, l'alimentation et le déclenchement de certaines pathologies, le résultat final possible pouvant être l'accroissement des mortalités.

Le couplage « thermique/pathologies » pourrait être un de ces facteurs explicatif de la baisse du stock d'omble lémanique. On doit non seulement prendre en compte la température mais également les écarts thermiques et leur rapidité.

Lors du pic de captures d'omble, l'état de sur-population aurait conduit une partie de cette population à étendre son aire de répartition en habitat sub-optimal la rendant plus sensible aux pathologies, à la prédation et à la compétition inter et intra-spécifique. En effet, lors du pic de captures, une partie des prises d'omble a été alors été réalisée en été à une faible distance de la surface, au dessus de la thermocline, ce qui n'est pas un habitat habituel pour l'omble au léman.

Hypothèses halieutiques

Préambule : Sachant que c'est un facteur sur lequel les gestionnaires peuvent intervenir, les mesures de gestion halieutique telles que taille minimale de capture, maille des filets, effort de pêche ont été globalement examinées lors d'une réunion conjointe des groupes PAP et GRP au Léman.

Acquis lémaniques :

En raison des incertitudes actuelles sur sa réelle capacité à redresser efficacement la situation, il n'y a pour l'instant pas eu de démarche de modification des paramètres de la gestion halieutique de l'omble. Cette position est par ailleurs renforcée par les éléments suivants :

- + les paramètres actuels de la gestion ont donné satisfaction sur une longue période débutant en milieu des années 80 avec une phase de fort accroissement des captures puis leur soutien à un niveau élevé (>60 t) pendant 10 années successives : 1991-2000.

- + une revue bibliographique réalisée lors de l'étude FR-CH indique que l'omble est connu comme une espèce faisant du nanisme en réponse aux trop fortes densités de peuplement (Langeland, 1995).

- + les relations âge-taille-maturité ont été évaluées par Rubin (1990). A partir de l'âge 3+, 95 % des mâles et des femelles sont matures. Par ailleurs, à partir de 34 cm 100% des mâles et des femelles sont matures. Cependant, l'augmentation de la taille minimale (27 cm actuellement) n'a pas fait l'unanimité compte tenu d'un accroissement potentiel prévisible de la mortalité pour les ombles relâchés ne faisant pas la taille minimale légale. Lors de l'étude FR-CH, le suivi des ombles capturés intégrait l'examen de la présence ou non de blessures anciennes (maxillaire principalement) impliquant une capture-relâcher. Un faible pourcentage de blessures a été observé dans les captures actuelles ce qui suggère que le relâcher d'omble ne faisant pas la taille minimale de 27 cm ne semblait pas constituer un problème majeur.

Effort de pêche et CPUE omble dans les pêcheries amateur et professionnelle.

Une enquête auprès des pêcheurs indique une tendance globale à l'augmentation de l'effort de pêche entre le début des années 80 et le milieu des années 90. Cependant, on ne dispose malheureusement pas de données d'effort de pêche (professionnel et/ou amateurs) comparables lors des 30 dernières années. De ce fait, même si l'on connaît les captures, on ne peut qu'émettre des hypothèses sur un éventuel impact de l'exploitation sur la baisse de la population et des captures d'omble depuis la fin des années 90.

Bibliographie :

Des données bibliographiques sur des stocks de salmonidés soumis à la pêche et au repeuplement (Evans et Willox, 1991) montrent dans certains cas la possibilité de l'engrenage suivant :

- + faible stock naturel résiduel (N)
- + repeuplement efficace et intensifié (R)
- + accroissement de l'effort de pêche
- + surpêche de la composante N provoquée par l'effort de pêche accru sur les 2 composantes R+N.

D'après les données bibliographiques transposées au cas du stock d'omble du Léman, une trop forte exploitation du stock d'omble R+N (à dominante R) pourrait avoir eu un effet indirect de surexploitation négatif sur la composante naturelle N. Dans une telle situation le bilan peut très bien être resté favorable sur le plan halieutique dans la phase de forte croissance des captures mais tout en étant non optimum vis-à-vis de l'évolution de la composante N. En pareil cas d'affaiblissement de la composante N il pourrait donc y avoir eu des effets génétiques de baisse des aptitudes « sauvages » de la population.

La présente analyse bibliographique a conduit à prendre en compte cet aspect de composante N ou R dans l'étude génétique et dans le suivi de la cohorte 2007 par les suivis de la contribution de la composante N non marquée.

Une étude récente (Wright et Trippel (2009) montre que des changements démographiques induits par la pêche peuvent agir sur le succès reproducteur. De tels effets pourraient contrecarrer des évolutions à long terme utiles à la survie et à la durabilité de la population.

Acquis lémaniques : CPUE de géniteurs et mortalité

Préambule

Les données halieutiques (amateurs et professionnels) disponibles s'avèrent insuffisantes pour analyser l'évolution de la population et la contribution de l'exploitation à l'évolution de la population d'omble du Léman. On s'est donc orienté vers une évaluation des informations pouvant être apportées par les pêches de reproducteurs qui sont réalisées par des pêcheurs professionnels sous contrôle de l'administration.

Les pêches de reproducteurs permettent d'accéder à une grande quantité de géniteurs sexables et mesurables avec une connaissance du lieu, de la date de capture et de l'effort de pêche développé. Par ailleurs, des écailles peuvent être prélevées (structure d'âge, croissance), de même que des portions de nageoires utilisables pour des analyses génétiques et isotopiques. Des pontes séparées peuvent être collectées. L'INRA a collecté depuis les années 50 des données et échantillons rendant possibles des analyses temporelles (croissance, génétique ...). A l'inverse des pêcheries amateurs et professionnelles, les pêcheries de reproducteurs d'omble ont donné lieu à des calculs de cpue (dans le cas présent, nombre de géniteurs/pose de filet standard). Ces données ont été mises à profit par exemple pour l'étude de l'influence du réchauffement climatique (Gerdeaux, 2011 cf p 28 de l'étude FR-CH).

Le couplage des cpue de géniteurs avec les données d'âge (scalimétrie) permet des calculs de mortalités. De telles données ont permis par exemple d'évaluer des mortalités pour chacun des sexes entre le début et le milieu de la phase d'expansion des captures d'omble au Léman.

Pour les cohortes 1982-83 et 1987 à 90, les CPUE (captures de géniteurs Mâles/filet/nuit et captures de géniteurs Femelles/filet/nuit) ont été calculées pour les géniteurs 3+ et 4+ capturés sur les omblières de Meillerie/Locum.

Le taux instantané de disparition des individus entre 3+ et 4+ a été calculé séparément pour une même cohorte chez les mâles et chez les femelles. Ce taux est défini par $Z_t = -\ln N(t+1)/N(t)$ (Ricker, 1969) où $N(t)$ est un indice d'abondance l'année t . En faisant l'approximation $N(t) \approx CPUE(t)$, on obtient finalement pour Z , $Z(t) = -\ln CPUE(t+1)/CPUE(t)$. On en déduit le taux annuel de disparition A : $A = 1 - e^{-Z}$

Le taux de mortalité totale annuelle des mâles entre 3+ et 4+ est identique entre le début (Coh 1982-83 : 0,87) et le milieu (Coh 1987-90 : 0,75-0,80) de la phase du début d'accroissement des captures (Tb O6). La mortalité entre 3+ et 4+ est, supérieure pour les mâles (0,75-0,80) comparativement aux femelles (0,25-0,40). Le taux de mortalité totale annuelle des femelles entre 3+ et 4+ a baissé entre le début (Coh 1982-83 : 0,56-0,65) et le milieu (Coh 1987-90 : 0,25-0,40) de la phase d'accroissement des captures. On peut en conclure que la situation du stock de géniteurs a plutôt évolué favorablement en début d'accroissement des captures. On sait par ailleurs que la qualité des pontes de femelles 4+ est meilleure que celle des femelles 3+ de première ponte.

Il existe une corrélation significative entre les CPUE d'ombles d'âge 3+ une année et d'ombles d'âge 4+, issus de la même cohorte, capturés l'année suivante sur les omblières de Meillerie, lors des pêches exceptionnelles (filets de maille 48-50 mm), chez les mâles ($r = 0.82$; $p < 0.005$) et les femelles ($r = 0.82$; $p < 0.005$), pour ces mêmes cohortes (1982-83-84-86-87-88-89-90-91).

Tableau 06: taux de disparition des géniteurs mâles et des femelles entre le stade 3+ et le stade 4+ capturés sur les omblières de Meillerie au Léman.

Cohorte	Mâles		Femelles	
	$Z = \ln(cpue_{3+}/cpue_{4+})$	$a = 1 - \exp(-z)$	$Z = \ln(cpue_{3+}/cpue_{4+})$	$a = 1 - \exp(-z)$
1982	2,07	0,87	1,05	0,65
1983	2,06	0,87	0,82	0,56
1984				
1985				
1986				
1987	1,52	0,78	0,30	0,26
1988	1,60	0,80	0,28	0,25
1989	1,39	0,75	0,50	0,39
1990	1,63	0,80	0,50	0,40

Dans la phase d'augmentation des captures par pêche, la cpue moyenne (nombre de géniteurs mâles par pose de filet) variait entre 80 et 180 (période 1989-2000). Par contre, dans la période récente (2001-2010, hormis 2008) elle était plus faible, variant entre 42 et 52 géniteurs mâles /pose. Une remarque doit cependant être faite. Les omblières étant profondes, de faible surface et soumises à des courants, la précision de la pose des filets peut jouer un rôle non négligeable dans les captures des filets. On ne peut exclure que ceci, ajouté à l'expérience individuelle, puisse jouer un rôle dans le résultat de certaines poses. Il est donc important de bien préciser les conditions de pose.

Gestion halieutique / écogénétique

Plusieurs questions se posent :

+ Est-t-il possible définir une optimisation spatio-temporelle de la reproduction dans ses deux composantes N ; et R ainsi que du potentiel d'œufs. ?

+ En fait, dans la situation actuelle, la pêcherie de géniteurs pour collecter les œufs destinés au repeuplement s'exerce relativement en aveugle sans questionnement sur son éventuel impact génétique et/ou dérangement du frai naturel (composante N). Pour ce qui est du dérangement du frai, les omblières non perturbées sont celles (connues ou inconnues) qui ne font pas l'objet de pêches de reproducteurs aux filets. Pour ce qui est de l'aspect génétique, le projet FR-CH fait, pour la première fois, entrer des éléments génétiques dans la réflexion sur la gestion halieutique des populations d'omble lémaniques. Ces aspects sont traités dans un rapport spécifique sur la génétique (Savary, 2011).

+ Parmi les questions des gestionnaires, il a celle de savoir si l'exploitation laisse suffisamment de géniteurs pour saturer la capacité d'accueil des omblières.

Face à ces questions complexes encore sans réponse, dans un premier temps, une première démarche est de savoir si, de nouvelles pratiques permettent ou permettraient d'épargner des géniteurs et/ou des œufs potentiels. Par épargne de géniteurs, on peut évoquer plusieurs éléments :

+ des dispositifs allant dans le sens d'une amélioration du rendement en œufs récoltés à partir des géniteurs capturés lors des pêches de reproducteurs. Des pêches d'essai sont pratiquées pour permettre le meilleur cadrage possible entre la pose des filets et l'état de maturité des femelles capturées. Les mailles des filets des pêches de reproducteurs ont été augmentées (passage de 44-45 mm à 48-50 mm) afin de diminuer le pourcentage de mâles capturés en excès. La relève des filets est pratiquée après seulement une nuit de pose (au lieu de 2-3 nuits autrefois). Enfin, pour les omblières françaises, plus nombreuses, afin de récolter un supplément d'œufs, les femelles matures capturées

non ovulées et encore vivantes sont stabulées à la pisciculture de Rives jusqu'à la récolte des ovules puis relâchées.

+ La suppression de la commercialisation d'ombles de taille supérieure à 39 cm en lien avec les normes PCB introduit de fait une protection des grands géniteurs.

+ Pour la composante R, un bilan des pêches de reproducteurs a été réalisé côté français (Champigneulle *et al.*, 1995) en début des années 90. Le taux de survie minimal entre l'ovule potentiel et le stade d'estivaux repeuplé (composante R) a alors été évalué à 50 % dans le cas de l'organisation et du fonctionnement de la pisciculture de Rives. Pour ce qui est de la composante N, le taux de survie entre l'ovule et le stade d'estivaux est le produit des taux de survie aux étapes successives suivantes: S1% (incubation hors prédation) x S2% (prédation œufs) x S3% (résorption y compris prédation) x S4% (phase de première alimentation/remplissage vessie natatoire) x S5% (entre l'alevin « démarré » et le stade d'estivaux). La seule composante évaluée est S1 dont le maximum a été estimé à environ 10-20 % sur les omblières traditionnelles du Léman (Rubin, 1990). Les données de la littérature sur les salmonidés à gros œufs permettent d'évaluer un taux survie maximum de 10-20 % pour l'ensemble des autres étapes (S2-3-4-5). Le taux de survie théorique entre l'ovule potentiel et le stade estivaux a alors été estimé au maximum à 1-4% pour la composante N et au minimum à 50 % pour la composante R. Ces évaluations par « bornage » suggéraient alors l'existence d'un important facteur multiplicateur théorique induit par le repeuplement.

Propositions :

+ minimiser les pertes lors de la collecte des géniteurs et les manipulations lors des fécondations et du transport des oeufs.

+ optimiser les pratiques en faisant appel à l'expertise de généticiens. Ces derniers préconisent de:

* ne pas croiser en eux les géniteurs issus d'omblières différentes.

* ne pas féconder une grande quantité d'ovules avec le mélange de laitance d'un petit nombre de mâles.

* autant que possible, fractionner les pontes de chaque femelle et croiser séparément chaque fraction par la laitance d'un mâle différent..

+ d'autres dispositifs seraient à évaluer en collaboration avec des généticiens, par exemple :

* laisser certaines omblières sans exploitation par les pêches de géniteurs ou,

* à l'inverse, récolter des œufs (en plus petite quantité) sur l'ensemble des omblières et en couvrant l'ensemble de la période de reproduction .

+ Au cours de deux années consécutives (1986-1987) il a été constaté un pourcentage de femelles plus faible dans les captures faites sur les omblières de Meillerie-Locum pêchées avec des filets hauts (6-8 m) de maille 50 mm comparativement à celles réalisée sur les omblières de Chillon (Rubin com. Person.) avec des mailles de 50 mm mais haut de seulement 2m (Tb O7). Ces résultats suggèrent que le sexe ratio des captures pourrait varier selon les omblières et/ou selon la hauteur des filets. Il serait intéressant de comparer pour une même omblière le sexe-ratio des captures en fonction de la hauteur des filets. En effet on ne peut exclure un effet lié à des aspects comportementaux ou de répartition spatio-temporelle dans la distribution des géniteurs sur ou à proximité des omblières. Il y aurait alors un moyen assez simple d'économiser la capture de mâles tout en augmentant celle de femelles.

Tableau O7. Captures de géniteurs sur 2 omblières en fonction de la hauteur des filets.

	Chillon	Meillerie	Chillon	Meillerie
Maille filet	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm
Hauteur filet	2 m	6-8 m	2m	6-8 m
N géniteurs	1345	486	606	1552
% de femelles	43,2 %	25,5 %	38,3 %	27,7 %

Hypothèse Génétique omble

Préambule

La diversité génétique est une composante essentielle de la biodiversité. Pour cette raison sa préservation est devenue une priorité en biologie de la conservation. Par exemple, la diversité intra-spécifique permet aux poissons de s'adapter aux changements du milieu (réchauffement climatique, impacts anthropiques).

Acquis lémaniques :

Préambule

Le projet franco-suisse a permis de réaliser une étude originale sur la diversité génétique intra-spécifique et spatio-temporelle des populations d'ombles lémaniques soumises à repeuplement. Ce travail a été mené au travers d'un master (Romain Savary) dirigé par Dr Luca Fumagalli (Laboratoire LBC, département d'Ecologie et d'Evolution de l'UNIL) et co-encadré par l'INRA-thonon_UMR CARTELE. Remarque: les données génétiques présentées ci-dessus font l'objet d'études complémentaires en cours non encore publiées. Leur utilisation demande l'accord du LBC, L. Fumagalli à l'UNIL.

Méthodes

Les populations analysées sont les suivantes :

- 1) les 8 stocks de géniteurs échantillonnés sur les 8 principales omblières profondes FR et CH connues au Léman, y compris celle d'Yvoire. La population de Meillerie a été échantillonnée en début et en fin de frai
- 2) un échantillon d'ombles pêchés en provenance de différentes parties du Léman et issu de la reproduction naturelle de la cohorte 2007,
- 3) les 2 principales piscicultures produisant les estivaux à partir d'œufs collectés sur les omblières lémaniques,
- 4) 1 stock expérimental captif de géniteurs domestiqués (5 générations) à partir d'ombles lémaniques,
- 5) 5 populations historiques du Léman (1960-1994) analysés à partir de collections d'écaillés de l'INRA-Thonon.

L'ADN pour les analyses génétiques a été isolé à partir d'un morceau de nageoire adipeuse ou à partir des écaillés historiques sèches. Neuf marqueurs génétiques microsatellites de l'ADN ont été utilisés.

Quelques résultats

Il n'a pas été détecté de différenciation génétique significative entre les populations actuelles du Léman (géniteurs capturés sur les différentes omblières traditionnellement pêchées au Léman). Ces géniteurs peuvent donc être considérés comme issus d'une même population. Cette absence de différenciation génétique pourrait être imputée à une absence historique de structure dans les populations naturelles et/ou à un effet d'homogénéisation génétique engendrée par la pratique de *supportive breeding*.

Il n'y a pas de différenciation génétique significative entre les géniteurs capturés sur les omblières actuelles et les estivaux de 6 mois directement produits par les piscicultures de repeuplement à partir d'œufs issus des géniteurs capturés sur les omblières lémaniques.

Par ailleurs il n'y a pas de différence significative des valeurs de diversité génétique entre les géniteurs sur les omblières et les estivaux issus des piscicultures de repeuplement.

Il n'y a pas de différenciation génétique entre les géniteurs du début et ceux de la fin de la période de reproduction dans le cas de l'ombrière de Meillerie.

Les populations historiques sont en général significativement différenciées d'un point de vue génétique des autres populations (valeurs faibles à modérées).

Les populations historiques d'avant les pratiques de réempoissonnement (avant 1977) sont génétiquement plus distinctes des populations actuelles que les autres populations historiques.

L'analyse ADN a montré une perte temporaire significative de la diversité génétique chez les premières générations ayant subi un repeuplement intensif (1986-1994). Par contre, pour la période actuelle (2009-2010), on observe une restauration de la diversité génétique, cette dernière étant similaire à celle des populations antérieures aux pratiques intensives de repeuplement (1960-1977).

Quand on compare la distance génétique entre deux populations, celle-ci est d'autant plus grande que la paire de populations est distante dans le temps.

La population "domestique" (stock de géniteurs lémaniques captifs) est significativement mais faiblement différenciée d'un point de vue génétique des populations naturelles et des estivaux produits dans les piscicultures de repeuplement.

L'échantillon d'omble du lac du Bourget est très faiblement différencié des populations du Léman.

L'échantillon d'omble du lac de Neuchâtel n'est pas différencié des populations du Léman.

Conclusion : L'étude FR-CH génétique (Savary, 2011) permet de mettre pour la première fois à la disposition des gestionnaires de la pêche de l'omble lémanique des connaissances issues d'analyses génétiques. Ces informations, jointes aux données sur la dynamique des populations, peuvent contribuer à la gestion et la conservation de la biodiversité intra-spécifique de la population d'omble lémanique en contexte de repeuplement et de réchauffement climatique.

Propositions :

Il est recommandé:

- 1) de ne pas croiser des géniteurs issus d'omblières différentes.
- 2) de ne pas utiliser pour le repeuplement des juvéniles produits à partir d'un stock captif ancien domestiqué, même si l'origine est lémanique..

Eléments d'analyse

La pratique de repeuplement principalement utilisée dans le Léman est le soutien d'effectifs (supportive breeding à partir de juvéniles produits en F1 à partir d'un grand nombre de géniteurs capturés *in situ* sur les principales omblières connues. Cette pratique est connue sous la dénomination de « supportive breeding ». Elle permet, pour les œufs collectés, d'accroître le nombre de juvéniles produits comparativement à ce que ces œufs auraient produits en milieu naturel. Le milieu de l'écloserie permet en effet d'accroître la survie à deux niveaux :1) lors de l'incubation, 2) lors des premiers stades de vie car les juvéniles sont protégés de la prédation et leur alimentation est facilitée. Par contre les pressions de sélection précoces existant en milieu naturel ne s'exercent pas et d'autres pressions de sélection propres au milieu d'élevage s'exercent. Une étude bibliographique (Champigneulle et Gillet, 2007) indique en particulier que les stocks soutenus par repeuplement même avec des juvéniles produits avec des géniteurs sauvages peuvent perdre certaines aptitudes comme l'évitement des prédateurs. Par exemple Fritts *et al.* (2007) ont montré que la domestication peut affecter la vulnérabilité aux prédateurs après une seule génération d'élevage bien que l'effet reste cependant faible.

Depuis le développement relativement récent de la biologie moléculaire, la gestion des populations peut désormais s'appuyer sur les éléments fournis par les démarches et analyses en matière de génétique des populations. Les principaux principes de la génétique de la conservation sont par exemple présentés dans des ouvrages récents (Largiader et Hefti, 2002 ; Hallerman, 2003). En lac, des travaux portent en particulier sur l'omble chevalier (Brunner *et al.*, 1998 ; Adams *et al.*, 2006) et le cristivomer (Burnham *et al.*, 1995 ; Krueger et Ihssen, 1995).

Dans la démarche adoptée pour la gestion de l'omble au Léman dans le début des années 80, dans le cas des opérations de repeuplement, l'orientation avait été prise d'utiliser des œufs issus de la souche lémanique autochtone. Une autre idée était alors de déverser les ombles au stade relativement précoce d'estivaux pour limiter, au moins en partie, les effets de domestication tout en court-circuitant en écloserie l'étape des fortes mortalités initiales existant aux stades incubation, résorption, début du nourrissage. Cependant, même limitées à ces stades précoces, les conditions de vie en pisciculture sont très différentes de celles du milieu naturel (par exemple la hauteur d'eau, densité, alimentation, éclairage, absence de prédateurs en bassin d'élevage...) et l'on ne peut donc exclure des processus précoces de sélection différentielle en milieu d'élevage. Par exemple, selon Hirvonen et Laakonen (2004), l'élevage des salmonidés en pisciculture est susceptible d'altérer l'efficacité de leur réponse anti-prédateur ; il n'y a pas d'apprentissage. Par ailleurs l'intervention humaine est encore plus précoce puisque au départ c'est l'homme qui réalise et organise les appariements reproducteurs empêchant ainsi les processus d'appariements naturels.

L'omble chevalier est caractérisé dans certains lacs par sa diversité intraspécifique (Jonsson et Jonsson, 2001). Une hypothèse est qu'il existerait encore au sein même du Léman une diversité génotypique et phénotypique qu'il serait souhaitable de mieux connaître et préserver. On peut prendre l'exemple de la diversité spatio-temporelle de la reproduction. Au niveau temporel on peut retenir par exemple le large étalement de la période de reproduction alors que la collecte des œufs pour le repeuplement ne couvre généralement pas la totalité de la période de reproduction. Le début de la période est généralement sous représentée car l'eau en écloserie est parfois encore trop élevée. Par ailleurs la récolte d'œufs s'arrête lorsque les quotas d'œufs sont atteints et les géniteurs tardifs sont généralement sous-représentés. L'étude génétique (Savary 2011) n'a cependant pas détecté de différence entre les femelles se reproduisant entre le début et la fin de la période de reproduction.

Au niveau spatial, le repeuplement s'appuie surtout sur les ombles fréquentant les omblières profondes traditionnellement connues, ceci peut conduire, pour ce trait d'histoire de vie, à un forçage sélectif d'une partie de la population s'il s'avérait que la reproduction se déroulait également sur d'autres types d'omblières non encore repérées au Léman.

Ihssen et Tait 1974 ont montré un lien entre la rétention de gaz par la vessie nataoire et l'aptitude à vivre en milieu plus ou moins profond pour le cristivomer et ce avec une base génétique.

Selon Chilcote *et al* (2011), les mesures qui minimisent les interactions entre les salmonidés sauvages et les salmonidés produits en pisciculture constituent la meilleure stratégie de conservation à long terme pour les populations sauvages.

Les pêches de reproducteurs pour le repeuplement ont été organisées autour des omblières traditionnelles. Par conséquent, vis-à-vis d'une éventuelle perturbation de la reproduction naturelle on a deux grands types d'omblières : 1) les omblières traditionnelles exploitées et donc dérangées ; 2) les omblières non connues ou non pêchées qui elles fonctionnent naturellement.

On ne sait pas si l'exploitation systématique annuelle des omblières traditionnelles a ou non des effets néfastes ou plus néfastes que de les exploiter partiellement et/ou par alternance. ? Un argument serait que la collecte d'œufs sur la majorité des omblières connues permet de collecter le maximum possible de variabilité génétique.

Enfin une autre question est de savoir s'il serait préférable ou pas de déverser les estivaux ou préestivaux au niveau de leur omblière parentale. Nordeng (2008) a montré que des juvéniles d'omble chevalier issus d'œufs non fécondés dans l'eau native ni ensuite produits dans l'eau native retournaient dans la rivière parentale après avoir été relâchés dans le milieu marin ou se jette la rivière parentale (omble chevalier se reproduisant en rivière affluente de la mer).

Hypothèse : prédatons multiples sur l'omble

Prédation du brochet sur l'omble

Evolution générale des captures d'espèces en relation inter-spécifique avec l'omble.

La phase de montée en puissance puis de fortes captures d'omble s'est déroulée dans la période (Fig O7) de faibles captures de brochet (prédateur potentiel de l'omble), de fortes captures de lotte (prédatrice des œufs et juvéniles d'omble) et de faibles captures de corégone (compétiteur trophique dominant sur l'omble, Svärdsön, 1976).

A l'inverse, la phase de baisse et de faibles captures d'omble s'est opérée en phase de montée puis de fortes captures de brochet (prédateur potentiel de l'omble ;Langeland, 1995.), de sous exploitation de la lotte (prédatrice des œufs et juvéniles d'omble) et également de très fortes captures de corégone (compétiteur trophique dominant sur l'omble ; Svärdsön, 1976). Par ailleurs des effets significatifs de la prédation des stades précoces par l'écrevisse ont été montrés dans un grand lac suédois (Setzer *et al*, 2011) et l'existence de cannibalisme n'est pas exclus.

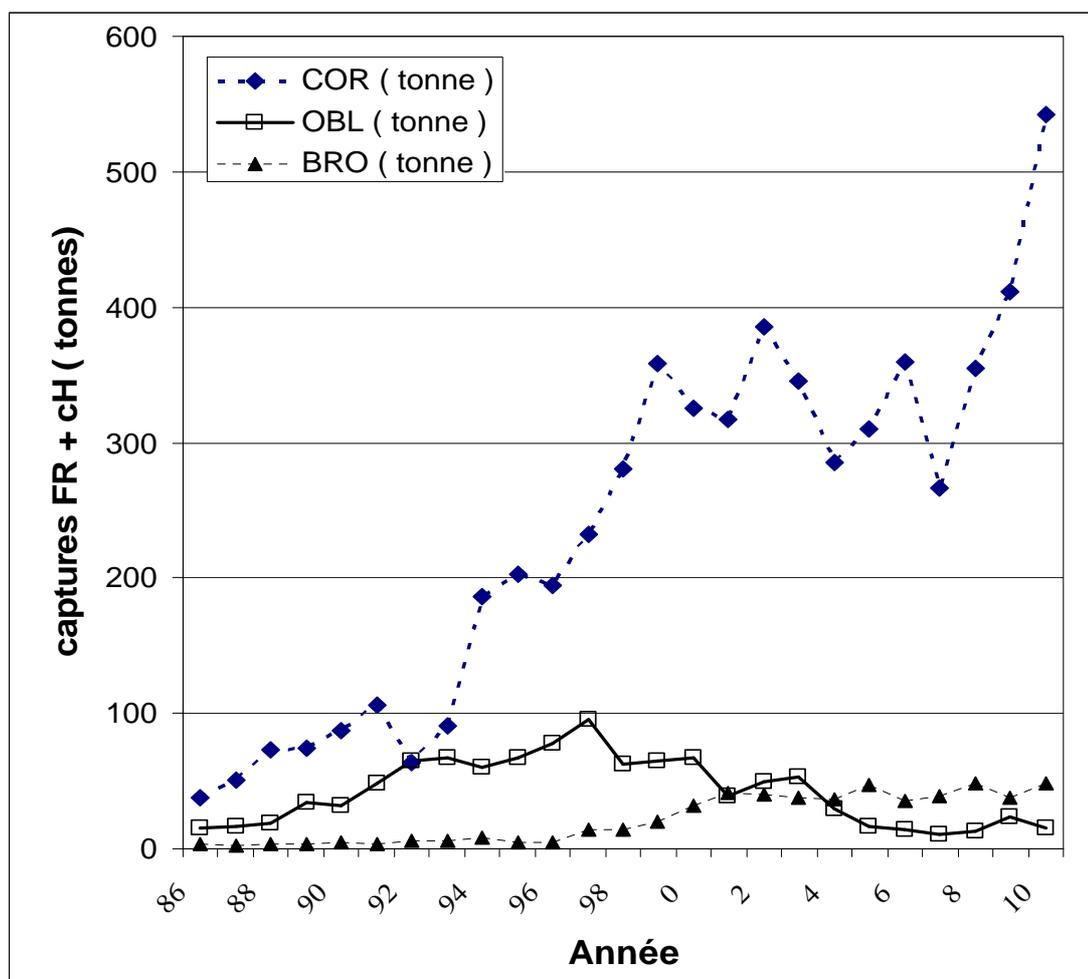


Figure O7. Evolution des captures totales (CH + FR ; Amat. + Pro) d'omble, de brochet et de corégones au Léman dans la période (1986-2010)

L'impact de la prédation du brochet sur l'omble est donc suspecté en raison sa très forte expansion (Fig O7) qui s'accompagne d'une recrudescence de la présence de morsures (fraîches ou cicatrisées) de brochet sur des adultes ou sub-adultes d'omble. Par ailleurs la présence d'omble à été détectée dans des contenus stomacaux de brochet.

Morsures par le brochet sur des géniteurs d'omble pris dans les filets lors des pêches de reproducteurs.

Lors des pêches de reproducteurs d'omble, les géniteurs d'omble ont été examinés pour rechercher la présence de morsures de prédateurs. N'ont été prises en compte que les morsures attribuables au brochet. Dans ce cas, deux types de morsures ont été distingués: des morsures cicatrisées et des morsures fraîches. Les morsures cicatrisées sont anciennes sans que l'on puisse déterminer le stade de vie de l'omble au moment de l'attaque du brochet.

Les morsures fraîches peuvent correspondre à des attaques sur les ombles lorsqu'ils viennent d'être pris dans les filets. Elles traduisent un comportement d'agressivité. Pour les morsures fraîches constatées pendant la saison de pêche à la traîne il peut aussi y avoir des attaques de brochet sur des ombles pris sur les traînes, notamment lors de leur remontée.

Avant les années 2000, aux pêches de reproducteurs, lors du démaillage, lors des fécondations artificielles, lors du comptage des géniteurs et lors de la mise en vente des poissons, lors des suivis scientifiques, il y a eu de très nombreux ombles manipulés un à un (y compris par un des co-auteurs). Or, lors de ces diverses manipulations la présence d'ombles blessés n'a pas attiré l'attention. A l'inverse, à partir du début des années 2000, le phénomène est devenu beaucoup plus apparent justifiant un suivi plus précis (Tb O8).

Pour les géniteurs capturés sur les omblières suisses du Haut-Lac, le taux annuel de morsures de brochet cicatrisées a été évalué annuellement sur plus de 1000 géniteurs. Le taux d'omble avec morsures cicatrisées varie entre 0,4 et 0,9 % au cours de la période 2006-2010. Il est cependant nettement plus faible, environ d'un facteur 10, que le taux de blessures cicatrisées chez la truite de lac. Par ailleurs, pour chacune des années suivies, il y a un taux de morsures fraîches sur les ombles variant de 1,3 à 2,5 % soit systématiquement plus élevé que celui des morsures cicatrisées. La présence notable de morsure fraîches suggère que des brochets sont effectivement présents et agressifs au niveau des omblières.

Pour les géniteurs capturés sur les omblières françaises du Haut-Lac (Meillerie-Locum), le taux de présence de morsures de brochet cicatrisées, hormis en 2008, varient entre 1,5 et 2,8 %, soient des valeurs légèrement supérieures à celles observées sur les omblières CH du Haut-Lac. Par ailleurs il y a également un taux d'ombles avec une morsure fraîche de brochet variant entre 0,4 et 1% soit des valeurs inférieures à celles notées pour le taux de morsures de brochet cicatrisées .

Pour les omblières FR du Bas-Lac et pour chacune des années d'observation, le taux de géniteurs d'omble avec une morsure de brochet cicatrisée est notablement plus élevé que sur les omblières FR et CH du Haut-Lac, avec (hormis 3 % en 2008) des valeurs comprise entre 10 et 16 % (Tb. O8). Les zones où se trouvent les omblières du Bas-Lac (Ripaille, Dranse et Yvoire) sont davantage fréquentées par le brochet que celles du haut-Lac.

Tableau O8. Indices d'attaques (morsures cicatrisées) de brochet sur l'omble au Léman

Année / Période (observateur)	Lac / Lieu	% avec morsure BRO cicatrisée	% avec morsure BRO fraîche
2005 repro? (Dr Wahli)	Léman CH Omblières suisses	Non évalué séparément	Fraîches + + cicatrisées 4% (6/142)
2006 repro. gardes	Léman CH Chillon/Dezaley/ Mtx/Vev/Cl	0,4% (4/1117)	2,2% (25/1117)
2007 repro. gardes			
2008 reproO gardes	Léman CH Chillon/Clarens/ Villette	0,9% (16/1758)	1,3% (23/1758)
2009 repro. gardes	Léman CH Chillon, Veraye, Baie de montreux	0,4 % (8/1979)	2,0 % (40/1979)
2010 repro. gardes	Léman CH Chillon, Veraye	0,7% (8/1106)	2,5% (28/1106)
2007 repro (INRA)	Léman FR Meillerie	1,5% (7/485)	1%
2007 repro (INRA)	Léman FR Meillerie	2,5% (5/197)	0,5%
2008 repro (INRA)	Léman FR Meillerie/Locum	0% (0/253)	0,4% (1/253)
2009 repro (INRA)	Léman FR Meillerie-Locum	2,8 % (5/181)	Non évalué
2006 repro (INRA)	Léman FR Ripaille	> 10 % (6/50 ?)	Non évalué
2007 repro (INRA)	Léman FR Ripaille	15% (8/52)	0%
2008 repro (INRA)	Léman FR Ripaille	3,3 % (2/62)	0% (0/62)
2009 repro (INRA)	Léman FR Ripaille, Dranses,	13,3 % (12/90)	Non évalué
2009 repro (INRA)	Léman FR Yvoire	16,3 % (15/92)	Non évalué

Contrôle expérimental de la population de brochet

Préambule : Le pourquoi d'une maîtrise de la population de brochet

+ la population de brochet a connu une expansion telle qu'elle menace l'équilibre du peuplement piscicole. D'après le taux de conversion voisin de 4 évalué par Kipling et Frost (1970) la production de 50 t de brochet aura demandé un minimum de 200 t de poisson consommé. Il y a des indices de son impact sur l'omble, soit directement par prédation, soit indirectement (stress et/ou blessures favorisant la pathologie).

+ outre l'omble, d'autres salmonidés (truite et corégone) apparaissent concernés par la prédation par le brochet. Certains corégones subissent des attaques de brochet dans les filets, ce qui les déprécie. On ne peut exclure un effet de prédation du brochet sur les corégones bien que le corégone soit plus véloce que l'omble et donc probablement moins capturable. Néanmoins, dans de nombreux lacs scandinaves, ce sont les corégones qui fournissent des juvéniles (ou adultes si *Coregonus albula*) proies pour les piscivores. La prédation et/ou le dérangement des corégones en période de rassemblement pour le frai en zone littorale serait à évaluer. Il pourrait être utile de faire baisser la pression de prédation du brochet sur les juvéniles et sub-adultes voir même les adultes de truite de lac (cf chapitre truite de lac).

+ il y a des effets indirects possibles tels que la gêne des comportements de frai de l'omble et du corégone du fait de la présence de prédateurs.

+ il y a l'aspect de dépréciation de la valeur des poissons pêchés (omble, corégone) lorsqu'ils sont attaqués dans les filets.

+ certaines parasitoses passent par le brochet : *trianophorus nodulosus* (existant au Léman) touchant la perche et *trianophorus crassus* (heureusement non encore observé au Léman *) touchant le corégone . Le contrôle de la population de brochet pourrait donc également contribuer à la diminution des risques liés à ces parasitoses pouvant toucher deux composantes majeures (perche et corégone) des pêcheries lémaniques.

* remarque : il serait important de vérifier que le *trianophorus crassus* touchant le corégone est toujours absent au Léman. Des pêcheurs ont déjà signalé la présence occasionnelle de kystes dans des filets tirés de corégones. Cependant il s'agissait d'un autre parasite (*Henneguya zschokkei*) que nous avons identifié en 2010 lors de la période d'étude.

Les limites des mesures et recommandations vis à vis des aspects prédation/compétition.

Le facteur « prédation par le brochet » n'est probablement pas le seul facteur en cause dans la baisse des captures d'omble. Par ailleurs l'implication d'autres espèces (prédatrices ou compétitrices) est également à évaluer et le cas échéant à réguler.

L'expansion du brochet apparaît cependant comme un des facteurs majeurs en cause d'après les observations convergentes indiquées ci-dessus. Il est possible de faire appel à la contribution volontaire des pêcheurs pour optimiser sur le moyen/long terme l'exploitation et la valorisation de la ressource brochet. Parmi les pistes susceptibles de contribuer à la valorisation de gros brochets, on peut par exemple citer: 1) la technique de taillage de filets sans arrêtes qui pourrait être davantage diffusée dans la mesure où ce produit serait plus facilement valorisable (goujonnettes, steak de brochet...). Il y a cependant toujours le problème de fiabiliser les marchés lorsque la ressource et/ou son exploitation sont fluctuantes; 2) la promotion d'opérations de « tourisme pêche » spécifiquement orientées vers le brochet.

Il est cependant encore difficile de dire si les mesures déjà prises pourront permettre à elles seules de rééquilibrer le peuplement. Le brochet étant cannibale, on ne peut exclure que la capture de gros brochets limite la prédation de ces derniers sur les plus petits brochets qui seraient alors davantage épargnés. Il faut probablement descendre au dessous d'un certain seuil pour équilibrer la place du brochet dans le peuplement piscicole lémanique.

Selon des pêcheurs de loisir, les captures de juvéniles et sub-adultes (ombles ne faisant pas la taille de 27 cm et relâchés) par la pêche à la traîne ont baissé dans les années récentes alors que l'abondance de ces captures d'omble de petite taille était un indice prévisionnel du futur recrutement dans la pêche. Cette évolution apparente suggère qu'il existerait un premier goulot d'étranglement/facteur limitant agissant peut être en phase d'hivernage pendant laquelle juvéniles d'omble et divers prédateurs potentiels peuvent spatialement cohabiter parmi lesquels : brochet, grosses perches (en expansion avec la réoligotrophisation), la lotte (sous-exploitée) et les ombles adultes.

Acquis sur d'autres lacs

Dans le lac de Paladru (Isère, France), des pêcheurs signalent la présence de juvéniles d'omble (jusqu'à 5-6/ brochet) dans les contenus stomacaux de brochet dans la semaine suivant le déversement. Or, dans ce même lac, depuis que des gros ombles sont déversés, il y a une meilleure réponse aux déversements (Gillet, données non publiées). Dans ce cas du lac de Paladru, compte tenu de la grande taille des ombles relâchés, ceci suggère que le brochet y serait le principal prédateur en cause.

Des expérimentations (Champigneulle *et al.*, 1995 et 2001) menées sur d'autres lacs (Aiguebelette et Bourget, France) suggèrent une amélioration de rendement (x 2,5 dans le cas du lac d'Aiguebelette entre des ombles de 9 et 12 cm) du repeuplement en ombles en augmentant la taille des juvéniles relâchés. Cependant, contrairement au cas du lac de Paladru, du fait d'une gamme de taille plus faible des ombles déversés, brochet et la perche pourrait être en cause.

Analyse bibliographique de la prédation du brochet sur les salmonidés

Plusieurs études rapportent l'impact négatif du brochet sur les salmonidés (Mills, 1964 ; Larson, 1985 ; Vollestad *et al.*, 1986 ; Millis et Hurley, 1990 ; Degerman et Sers, 1992 et 1993 ; Roche, 1993 ; Macmahon et Bennet, 1996 ; Jepsen *et al.*, 2000 ; Hyvarinen et Vehanen, 2004). Plusieurs études (Colby *et al.*, 1985 ; He et Kitchell, 1990 ; Amundsen *et al.*, 2003) montrent que le brochet peut fortement influencer la composition des peuplements piscicoles lacustres. Mills et Hurley (1990) rapportent la restauration d'une population d'omble suite à la régulation du brochet (> 55 cm) dans le lac de Windermere en Angleterre. Certains auteurs (Patterson *et al.*, 2009) avancent l'idée que dans les grands lacs nord américains il pourrait y avoir un excès de prédateurs.

Propositions :

Pour suivre l'évolution à moyen terme de la population de brochet, il faudrait pouvoir pérenniser des données sur l'effort de pêche et des données de type CPUE (captures par unité d'effort), idéalement en séparant 2-3 groupes de taille/poids. Compte tenu des enjeux d'une meilleure connaissance de la population de brochet, ce point serait à discuter dans le cadre d'une réunion du GRP (Groupe Recherches Piscicoles au Léman).

Il est recommandé de pratiquer une limitation des prédateurs potentiels majeurs pour l'omble : brochet, lotte, écrevisse en favorisant une bonne exploitation et valorisation de ces espèces.

Une action a été menée depuis 5ans visant à limiter la trop forte expansion du brochet en élargissant les possibilités de sa pêche (période hivernale et période de frai). L'objectif de cette mesure sur le brochet était double :

1) faire baisser la prédation du brochet sur l'omble et la truite de lac. Une étude anglaise (Kipling et Frost, 1970) montre une réhabilitation de la population d'omble du lac de Windermere suite à l'exploitation du stock de brochets > 55 cm.

2) limiter le développement de parasites sur la perche et le corégone pour lesquels le brochet est un hôte intermédiaire.

+ suivre l'évolution de la population de brochet en réalisant des évaluations de CPUE (sur 2-3 grandes classes de taille pour le brochet).

Discussion /conclusion

L'étude FR-CH a permis de révéler l'existence d'un phénomène notable de prédation (et/ou d'attaques) du brochet sur l'omble.

Par ailleurs, outre l'impact direct de la prédation, la présence de brochets sur les omblières peut avoir un effet négatif supplémentaire en perturbant le déroulement de frai naturel. Par ailleurs, l'étude a révélé, malgré la profondeur, la présence de brochets sur les omblières traditionnelles du Léman suggérant un impact direct par prédation et un dérangement du frai.

Des recherches menées au lac de Windermere (en Angleterre, Kipling et Frost, 1970) suggèrent que les phases et sites de concentrations de géniteurs d'omble pour la fraie sont attractives pour les brochets prédateurs. Par ailleurs dans ce lac, la restauration de la population d'omble a été

obtenue suite à une démarche de réduction de la population de grands brochets (>55 cm), ce qui indique bien que la prédation par le brochet peut être un facteur limitant majeur de certaines populations d'omble.

L'université d'Umea en Suède développe une étude (Bystrom P. *et al.*, 2007) sur les effets du changement climatique sur les interactions brochet-salmonidés. Les modèles récents développés prévoient qu'un climat plus chaud conduira à l'invasion par le brochet et une extinction des salmonidés (omble chevalier, truite, ombre) dans des milliers de lacs scandinaves dans les 100 ans à venir.

Prédation de la lotte sur l'omble

Hypothèse : La prédation de la lotte sur les œufs d'omble déposés sur les ombrières a été observée lors des pêches de reproducteurs sur les ombrières. Par ailleurs des estivaux d'ombles ont été trouvés dans des estomacs de lottes capturées sur et en dehors des zones d'ombrières (Champigneulle, données non publiées). L'impact de la lotte est renforcé par le fait que le stock de lotte est probablement en expansion suite à la forte baisse de son exploitation. La population de lotte serait actuellement sous-exploitée et cette sous-exploitation contribuerait à une pression de prédation par la lotte globalement forte sur la fraction benthique de la population d'omble et/ou y compris sur des juvéniles déversés et/ou sur les œufs déposés sur les ombrières.

Eléments d'analyse

La lotte cohabite spatialement avec l'omble en profondeur et son rôle de prédateur sur l'omble et en particulier ses œufs est connu (Lucey, 1972) y compris au Léman (observations lors des plongées en bathyscaphe, Rubin, com. Person.).

La lotte est une espèce connue pour être partiellement ichthyophage (Bailey, 1972 ; Lucey, 1972 ; Guthruf *et al.* 1990 ; Savino et Henry, 1991 ; Degerman et Sers, 1993 ; Rudsam *et al.*, 1995 ; Amunsen *et al.*, 2003), y compris sur les œufs de salmonidés lacustres (Bailey, 1972). Rudsam *et al.* (1995) montrent que la consommation de poissons par la lotte est importante (16 kg/ha) dans la baie Green dans le lac Michigan. Par ailleurs, la lotte est l'espèce lacustre qui cohabite le plus avec l'omble en zone profonde. Elle est reconnue comme prédatrice de l'omble dans les lacs norvégiens (Langeland, 1995).

Une expérience au cours de l'été 2009 a montré que la lotte était capable d'exercer une forte prédation sur des déversements de juvéniles d'omble trop spatialement concentrés.

Dans le cas de lotte, il s'agit actuellement d'une espèce secondaire pour le revenu des pêcheurs au Léman. On peut cependant faire le constat que les captures de lotte sont restées élevées sur une longue période, de 1979 à 2001 alors qu'elles sont nettement plus faibles lors des 10 dernières années (2002 à 2011, période de chute de l'omble). Une telle évolution pourrait suggérer une sous-exploitation de la lotte, hypothèse restant encore à valider car elle pourrait être alors un des facteurs de mortalité accrue de l'omble.

Conclusion

Il y aurait un travail d'enquête à faire auprès des quelques pêcheurs qui ont régulièrement exploité la lotte et l'exploitent encore, ce afin d'évaluer s'il y a eu ou non une tendance à la hausse de la population de lotte (accroissement de CPUE ?). Cette approche permettrait d'évaluer si le stock de lotte est ou non actuellement sous-exploité. Dans l'affirmative, l'accroissement de l'effort de pêche sur la lotte et sa valorisation seraient à préconiser. La lotte est une espèce qui ne se conserve pas facilement. Pour valoriser cette espèce et la commercialiser plus régulièrement, il faudrait avoir un mode de pêche spécifique efficace (ex. : nasse avec un appât spécifique pour la lotte).

Propositions :

- + accroître l'effort de pêche sur la lotte tout en la valorisant bien.
- + pour des pêcheurs pratiquant cette pêche, évaluer l'existence d'éventuelles données de type CPUE pour savoir si le stock est en expansion ou non.
- + introduction d'un engin spécifique (nasses à lottes, plus facile d'emploi que le trmail).
- + faire des contenus stomacaux de lotte sur des sites de relacher et ce juste avant et après des déversements d'estivaux d'omble.
- + de même profiter des pêches de reproducteurs d'omble pour faire des contenus stomacaux de lotte mais aussi d'omble (cannibalisme des œufs).
- + accroître les connaissances sur les phases embryo-larvaires et alevins. Dans le cas de l'omble, sa reproduction profonde rend difficile des suivis *in situ* sur les omblières et encore plus de son habitat après la phase d'émergence. Il serait néanmoins concevable de réaliser des études utilisant des roves (robots exploratoires utilisés en couplage avec : plongée, sonar et divers filets et trappes spécifiques..

Prédation des grosses perches sur l'omble.

Hypothèse

La prédation par la perche sur les juvéniles de salmonidés (omble, truite, corégone) aurait augmenté en relation avec: 1) un accroissement de l'abondance des grosses perches dans le Léman en phase de réoligotrophisation 2) la raréfaction des juvéniles de gardon (espèce proie).

Eléments d'analyse

Au Léman, la présence d'estivaux d'omble a récemment été décrite dans des contenus stomacaux de grosses perches capturées en zone sublittorale peu après des déversements d'estivaux plus au large (Champier, comm. person.). L'ampleur du phénomène reste à montrer et par ailleurs on ne dispose malheureusement pas de références antérieures susceptibles de démontrer une dynamique d'aggravation.

Une étude réalisée au Léman par Gillet et Dubois (Comm. Person.) de l'INRA Thonon a mis en évidence au Léman une tendance depuis quelques années à une plus forte abondance de larges rubans d'œufs attribuables à de grandes perches femelles. On peut donc suspecter un accroissement potentiel de prédation de l'omble par les grosses perches. Il semble cependant important de mieux connaître l'habitat de ces grosses perches comparativement à celui de l'omble.

Eckmann *et al.* (2006) ont également observé au lac de Constance un accroissement des grosses perches au cours de la phase de réoligotrophisation. Cette augmentation des grosses perches dans ce grand lac y serait liée à un regain du cannibalisme faisant suite à la baisse du zooplancton et de l'abondance de certains types de macrophytes (*Potamogeton pectinatus*) servant d'abris à la perche, deux évolutions accompagnant la réoligotrophisation.

Enfin, des pêcheurs du Haut-Lac ont observé en début novembre 2010 la présence d'œufs d'omble (à ponte précoce) dans des estomacs de perche.

Conséquences pour la gestion

Vu le rôle important des grosses perches pour le bon recrutement de cette espèce très prisée pour la pêche et la restauration, il semble exclu d'intensifier outre mesure leur exploitation. Si l'impact de la prédation par la perche était déterminant on pourrait espérer un effet en réalisant les déversements d'estivaux dans le sens d'une diminution des probabilités de rencontres perche/estivaux d'omble). Une autre possibilité de limiter la prédation des juvéniles serait de réaliser en pisciculture avant déversement, un conditionnement anti-prédateur (Brown et Day, 2002) ciblé sur la lotte, la perche et le brochet.

On ne peut exclure que la présence abondante de plusieurs juvéniles proies (juvéniles de perche, gardon, ablette) puisse naturellement contribuer à relâcher la pression de prédation (par le brochet et la grosse perche) sur les juvéniles d'omble et de truite.

Etudes à réaliser

Des contenus stomacaux de grosses perches seraient à réaliser au Léman lors de deux périodes : 1) la phase de relâchement des estivaux d'ombles (et de truite). 2) la phase d'hivernage où les 2 espèces (omble et perche) cohabitent spatialement (entre 30-50 m de profondeur).

Prédation des écrevisses sur l'omble

Hypothèse : il y aurait un effet de la prédation des écrevisses signal (*Pacifastacus leniusculus*) sur les œufs d'omble chevalier.

Acquis bibliographique : Une étude sur la prédation des œufs d'omble par l'écrevisse signal a été réalisée en Suède sur le lac Vättern (Setzer *et al.*, 2011). La contribution à la mortalité totale des œufs d'omble est due à 80% à la prédation par l'écrevisse, à 14 % à la prédation par des poissons et à 6 % pour d'autres causes. Les auteurs indiquent que la survie serait de 25 % en présence de l'écrevisse et de 75 % sans l'écrevisse.

Acquis lémaniques: Ces dernières années l'écrevisse signal est présente sur les omblières du Haut-Lac.

Proposition : favoriser une bonne exploitation et valorisation de l'écrevisse signal au Léman.

Accroissement de la pression de prédation en lien avec les cormorants

Hypothèse (Staub, comm. Person.) : la prédation du cormoran aurait concurrencé la prédation du brochet sur les gardons et les brochets auraient basculé leur prédation vers les salmonidés (omble, corégones, truites).

Cannibalisme chez l'omble.

Hypothèse : Les stocks d'ombles sub-adultes et les adultes eux-mêmes auraient eu une action de régulation par prédation des juvéniles d'omble.

Analyse

On ne peut exclure que la période de forte densité de la population d'omble (1996-97) a pu favoriser des phénomènes de mortalité densité – dépendants parmi lesquels il y avait le cannibalisme.

Par ailleurs en lien avec la nouvelle réglementation d'interdiction de la commercialisation des ombles de plus de 39cm, on peut prévoir une augmentation de grands ombles qui pourrait contribuer à une augmentation de la mortalité par cannibalisme.

Plus généralement, une analyse de la bibliographie (Amundsen, 1994, Swennig et Borgstrom, 2004) a montré l'existence de phénomènes de cannibalisme chez l'omble y compris sur les œufs déposés sur les omblières.

Conclusion

Une étude de la prédation sur les juvéniles d'omble doit inclure l'omble lui-même comme prédateur potentiel, ce d'autant plus qu'il est prévisible qu'il existe au moins un recouvrement partiel d'habitat entre les diverses classes d'âge d'omble.

Prédation en phase de déversement des estivaux

En 2007 lors de la phase de déversement des estivaux d'omble, des contenus stomacaux des principaux prédateurs potentiels (perche, brochet, lotte, omble adultes, truite, corégone) ont été examinés pour évaluer si cette phase était ou non une phase critique de mortalité par prédation.

Le suivi a montré (Tb O9) que lorsqu'ils sont présents, les juvéniles de perche ont été la principale espèce proie pour la plupart des prédateurs. Viennent ensuite les gardons, puis les ablettes.

Dans le cas de l'alevinage 2007 et avec la technique des contenus stomacaux, il n'y a pas eu de mise en évidence d'une mortalité majeure au moment des déversements d'estivaux d'omble. Par ailleurs, l'échantillonnage réalisé n'a pas permis de détecter d'adultes ou de sub-adultes d'omble dans les contenus stomacaux de brochets. Cependant ceci n'exclue pas leur existence à d'autres périodes de l'année. Par ailleurs il y a des indices d'attaques de brochet sur l'omble. En effet, sur un échantillon de 106 ombles examinés dans la pêche 2007, 7 d'entre eux (7%) présentaient une morsure de brochet cicatrisée.

Tableau O9 Bilan des données de contenus stomacaux de prédateurs potentiels échantillonnés en milieu et fin de saison de pêche 2007 (Données France + Suisse)

Prédateur	Total N	Sans poisson N1	Avec poisson N2 (% du tot N)	PER N (% d'avec poisson)	GAR	ABL	COR	TRF	OBL	CHA	LOT	IND
PER	533	385	148 (28%)	64 (43%)	32 (22%)	11 (7%)				3		38 (26%)
BRO	51	27	24 (48%)	10 (42%)	2 (8%)	1	2	1			2	6 (25%)
TRF	100	53	47 (47%)	30 (64%)	0 (0%)	3	1					13 (28%)
OBL	237	157	80 (34%)	56 (70%)	11 (14%)	5 (6%)						8 (10%)
COR	219	219	0 (0%)	0	0	0						0 (0%)
LOT	37	24	13 (54%)	5 (38%)	0	0	0	0	0	1	0	7 (54%)

Remarque : le retour de l'ablette constatés actuellement au Léman pourraient contribuer à relâcher certaines pressions de prédation sur les salmonidés.

La présente étude suggère que la phase de déversement dans les conditions 2007 n'a pas été une phase de prédation critique sur l'omble. Une hypothèse est que lorsque les déversements sont pratiqués directement (pas d'acclimatation thermique) en zone pélagique, les estivaux plongent rapidement dès le déversement en relation avec leur comportement lucifuge et leur sténothermie d'eau froide qui les conduisent à rechercher de l'eau plus froide en profondeur. Ils sont donc peu en contact avec les prédateurs en surface. Par contre au contact du fond ce sont la lotte et l'omble lui-même qui sont des prédateurs potentiels.

Hypothèse : compétition et prédation entre corégone et omble.

Hypothèse : le développement important du stock de corégone aurait conduit à une pression de dominance trophique en défaveur de l'omble.

Compétition corégone-omble

Une forte augmentation des captures de corégones s'est développée dans la période 1986-début des années 90 (Fig O 7). Dans la période récente 1997-2010, les captures annuelles de corégones varient entre 300 et 400 tonnes (Maxi voisin de 800 t en 2011) soient des tonnages plus élevés que le maximum historique voisin de 220 t en 1960 répertorié au cours de la période (1950-1996). Ce type d'évolution (expansion du corégone) se retrouve dans les pêcheries de corégones sur plusieurs lacs péri-alpins français et suisses en cours de réoligotrophisation (Gerdeaux *et al.*, 2006) mais, à l'inverse, il y a une baisse en phase finale de réoligotrophisation dans d'autres lacs..

L'hypothèse d'un effet de la compétition trophique corégone/omble pourrait être avérée surtout dans le cas de périodes et/ou stades de vie spécifiques où il y aurait un recoupement trophique sur une ressource alimentaire limitée vis-à-vis de la demande. Par exemple on ne peut exclure une compétition omble/corégone pour certaines ressources trophiques particulières (éventuellement à des périodes particulières) comme les nymphes de chironomes. Selon Navaro *et al.* (2006) la présence de ces nymphes dans l'alimentation du corégone du Léman traduirait une baisse de la ressource zooplanctonique accompagnant la réoligotrophisation.

Une analyse de la littérature (Svardson, 1976; Langeland, 1995) suggère une dominance du corégone sur l'omble chevalier dans le cas de nombreux lacs scandinaves et l'hypothèse d'une compétition trophique est avancée par ces auteurs. D'autres auteurs indiquent que les corégones émettraient par ailleurs une substance répulsive sur l'omble.

Prédations ponctuelles du corégone sur l'omble ?

Chez l'omble on connaît mal la phase de remplissage de la vessie natatoire. Dans l'hypothèse d'un remplissage en surface, cela entraînerait une migration à risques entre le fond et la surface suivi d'un retour en profondeur. La prédation des corégones sur des alevins de cristivomer lors de leur migration en surface a été signalée dans des grands lacs américains.

On ne peut donc totalement exclure l'existence d'une prédation très ponctuelle (nocturne, diurne ?) des corégones adultes sur des petits alevins d'omble chevalier. Des observations en captivité (Champigneulle, non publié), ont montré que le corégone du Léman était capable de manger des juvéniles de gardons de 4-6cm. Un rôle très ponctuel de la prédation du corégone sur les préestivaux et les petits estivaux d'omble serait donc également à prospecter.

Hypothèse écotoxicologie générale (lacs et/ou affluents)

Préambule :

Les systèmes lacs-affluents et les torrents ont connu et connaissent de fortes évolutions liées à leur dégradation et/ou restauration. L'analyse et le suivi de ces évolutions ont conduit ou conduisent à un fort développement des analyses d'eau avec une évolution vers un plus grand nombre de molécules et composés analysés.

Les gestionnaires piscicoles font souvent le constat, soit de fortes fluctuations, soit parfois d'effondrement de certaines populations de poissons sans pouvoir trouver d'explications.

Analyse bibliographique confrontée aux données lémaniques

Dans le cadre de l'étude FR-CH, une recherche bibliographique a permis de rassembler l'essentiel de ce qui était connu et/ou suspecté des effets indirects de certains micropolluants sur les poissons. Ceci nous a conduit à revenir aux caractéristiques et au fonctionnement des organes des sens (autre que la vue) chez les poissons avec l'olfaction : via les fossettes olfactives et l'audition via les otolithes et la ligne latérale).

Perturbations olfactives

L'analyse bibliographique a montré qu'il pouvait y avoir une signification écologique concrète associable à telle ou telle valeur ou gamme de valeur de tel ou tel micropolluant ou association de micropolluants. Plusieurs articles de synthèse ont été récemment publiés parmi lesquels Scott et Slowman, 2004 ; Thierney *et al.*, 2010. L'aptitude à éviter les prédateurs grâce à l'olfaction peut être altérée par certains micropolluants dans des conditions (doses, durée d'exposition) pouvant être trouvées en milieu naturel (Baldwin *et al.*, 2003 ; Sandahl *et al.*, 2007).

Acquis bibliographique :

Chez de nombreuses espèces de poissons le sens de l'odorat est très développé et il a une importance majeure pour de nombreux aspects de leur biologie et de leurs comportements. Or les lobes olfactifs sont directement exposés à l'eau ambiante. Ils sont donc potentiellement très fragiles vis à vis de certains micropolluants ou cocktail de micropolluants. Une synthèse bibliographique récente (Thierney *et al.*, 2010) montre que divers micropolluants (pesticides, métaux...) seuls ou en mélange peuvent altérer très significativement l'odorat de certains poissons et cela parfois rapidement et à des doses qui peuvent être rencontrées *in situ*.

Les conséquences néfastes peuvent se manifester à de nombreux niveaux pour lesquels l'odorat est impliqué, parmi lesquels:

- + l'aptitude à échapper aux prédateurs (substances d'alarme)
- + le comportement de banc (quand il existe)
- + la recherche /sélection de sites de frai en lac ou en affluent (mémoire olfactive du site de frai ou reconnaissance de phéromones).
- + appariements reproducteurs et donc impact génétique
- + recherche /sélection/prise de nourriture.
- + modification des équilibres inter et intra-populationnels.

Propositions : L'existence de ce type de perturbations olfactives devrait être recherchée au Léman dans le cas de l'omble et de la truite. Une approche possible pourrait passer par des tests comportementaux.

Acquis lémaniques:

Au Léman ombles et truites de lac sont pour certains porteurs de morsures de brochet à un taux plus élevé qu'auparavant. Le stock de brochet est en accroissement récent. Par ailleurs les grosses perches sont en accroissement.

Hypothèses :

Les perturbations olfactives pourraient être un facteur affectant la mortalité des poissons en système lac –affluents.

Les perturbations olfactives pourraient aggraver le niveau de prédation sur divers stades de vie.

Dans un autre domaine, celui du repeuplement, plusieurs auteurs ont montré que les souches domestiquées avaient une plus faible survie en milieu naturel, le facteur « effets néfastes de la domestication » étant souvent évoqué. On ne peut pas exclure qu'une partie de la mortalité soit, dans certains cas, la conséquence de perturbations olfactives. En effet, en élevage on utilise de nombreux produits de traitements à des fins préventives ou thérapeutiques, parfois de façon répétée et à fortes doses. Il n'est donc pas exclu que certains d'entre eux aient un impact sur l'intégrité olfactive.

Le domaine de l'olfaction et des diverses atteintes à l'intégrité olfactive restent encore à explorer en ce qui concerne son impact sur la dynamique et la fonctionnalité des populations et des peuplements piscicoles. Jusqu'à présent l'impact des micropolluants a encore peu été abordé sous l'angle de l'olfaction et de l'audition des poissons *in situ*, probablement parce que l'on dispose encore que de peu de moyens simples de mesure de la capacité olfactive.

Proposition initiale:

Confronter les données et/ou valeurs-seuil chiffrées trouvées dans la littérature aux valeurs effectivement trouvées dans les analyses d'eau pour tel ou tel micropolluant sur tel ou tel site du système lémanique. Ceci est devenu possible grâce à plusieurs synthèses récentes présentant des tableaux sur l'impact de micropolluants sur des perturbations (olfactives, auditives, comportementales, immunodépressives, physiologiques...) qui ont été identifiées au cours de l'étude.

Perturbations auditives

Acquis bibliographiques :

Chez les salmonidés, le sens de l'audition est assuré par les otolithes et la ligne latérale. Les otolithes sont par ailleurs impliqués dans le maintien de l'équilibre. De l'analyse bibliographique, il ressort que l'audition contribue à la détection et à l'évitement des prédateurs. Il peut y avoir des modifications des otolithes et/ou de la ligne latérale conduisant à des perturbations auditives.

Le carbonate de calcium imprégnant la trame organique de l'otolithe est de l'aragonite (apparence blanc crémeux, non transparente, pour les otolithes normaux. Il peut exister des otolithes dits anormaux (ou cristallins) présentant une zone périphérique plus fine où l'aragonite est remplacée (plus ou moins précocement) par de la vaterite, plus transparente et moins dense que l'aragonite. Des auteurs (Oxman *et al*, 2007) ont récemment indiqué que les conséquences peuvent être une perte d'audition avec pour effet indirect une plus grande susceptibilité à la prédation. Quant aux causes avancées, la plus communément citée est un effet de stress.

Les bruits sous aquatiques (moteur de bateaux, battage de pales planches...). Des recherches (Wisoki *et al*, 2006) ont montré une réponse de type stress (cortisol) et l'on sait qu'un excès de cortisol peut perturber la croissance, la maturation sexuelle, la reproduction, l'immunologie et la survie.

Propositions vis-à-vis des perturbations olfactives et auditives :

Parmi les hypothèses à explorer il y a l'éventuelle existence de perturbations olfactives et auditives en lien avec certains micropolluants, voir même en lien avec certains traitements sanitaires sur les juvéniles de piscicultures. Elles pourraient agir défavorablement en facilitant et en aggravant la prédation.

Scenario explicatif possible de l'évolution des captures d'omble au Léman.

L'étude FR-CH menée sur la baisse des captures d'omble est complexe en lien avec la grande taille du Léman, la multiplicité des facteurs en cause et la biologie de l'omble, en particulier la difficulté d'accès à ses habitats de reproduction et de premiers stades de vie. Néanmoins des éléments convergeant ont été recueillis permettant d'avancer un scénario possible.

Comme indiqué en début de rapport il nous a semblé utile d'analyser la phase de déclin des captures d'omble au Léman en n'oubliant pas qu'elle fait suite à une phase inverse de très forte expansion des captures d'omble.

Dans les années 90 le grand succès du repeuplement obtenu avec des estivaux d'omble indiquait que la production naturelle de juvéniles de ce stade d'« estivaux » était à cette époque un facteur limitant. C'est à dire que la production naturelle d'estivaux ne permettait pas alors à elle seule de saturer la capacité d'accueil du Léman pour l'omble en croissance. La richesse trophique du Léman était élevée en relation avec son état méso-eutrophe. Outre l'habitat benthique classique, une partie de la population colonisait le milieu pélagique, certains ombles passant à la piscivorie. Par ailleurs le peuplement piscicole était favorable avec peu de brochets prédateurs (Fig O7), une population de lotte (prédatrice des œufs et juvéniles) fortement exploitée et par ailleurs un faible stock de corégone (Fig.O7), compétiteur trophique dominant sur l'omble. Dans cette phase favorable à l'omble, la population et les captures d'omble ont augmenté fortement, proportionnellement aux relâchers.

Ensuite, pour la phase de décroissance, le scénario privilégié est celui d'une évolution du milieu (réoligotrophisation, réchauffement climatique) ayant entraîné des modifications du peuplement piscicole dans un sens défavorable à l'omble (prédation par le brochet et la lotte, compétition trophique avec le corégone, dominant sur l'omble, baisse de la capacité d'accueil en omble du Léman, baisse d'efficacité du repeuplement). A partir de la fin des années 90, il y aurait donc eu une baisse de la capacité d'accueil du Léman pour l'omble en croissance (à partir du stade d'estivaux) et/ou une baisse d'efficacité des pratiques de repeuplement en estivaux, ce concept de « pratique de repeuplement » englobant en fait plusieurs aspects au-delà de la simple origine parentale ou génétique : les caractéristiques et aptitudes des estivaux, les conditions d'élevage, le contexte des déversements (global, lieu, période, transparence, prédateurs...), en fait, l'insertion de la composante repeuplée dans le milieu et dans le peuplement piscicole en place.

La baisse des captures malgré le maintien du repeuplement à un niveau quantitatif élevé suggère qu'il a eu un ou plusieurs nouveaux facteurs limitant actifs sur plusieurs années (nouveaux ou anciens renforcés) à partir du stade d'estivaux en fin des années 90 et ce jusqu'à présent. Il ne s'agit pas d'un effet ponctuel sur un nombre limité de cohortes. Ceci conduit à suspecter en premier l'action d'un ou de plusieurs facteurs s'inscrivant dans la durée après une phase de rupture marquée en fin des années 90. Cette dynamique conduit à ne pas positionner le réchauffement climatique (phénomène lent) comme facteur explicatif direct et unique mais plutôt comme un facteur aggravant ou indirect. Comme effet indirect, on peut citer l'accroissement de température qui peut accroître les pathologies sur les estivaux élevés et faire ainsi baisser le rendement des relâchers (et vice versa).

L'évolution du milieu (réoligotrophisation et réchauffement climatique) ont fait évoluer le peuplement piscicole dans un sens très défavorable à l'omble, globalement ou pour sa fraction pélagique. On peut citer une forte pression de prédation sous l'action d'un complexe de prédateurs : brochet (forte abondance ; Fig. O7), grosse perche (en croissance), omble lui-même (cannibalisme), lotte prédatrice des œufs et juvéniles d'omble mais sous exploitée. Par ailleurs le fort accroissement de la population de corégone (Fig.O7) a rajouté une pression supplémentaire (compétition trophique favorable au corégone) en défaveur de l'omble. L'hypothèse d'un rôle majeur joué par une évolution du peuplement en défaveur de l'omble est en cohérence avec le timing de la baisse des captures d'omble et son maintien dans le temps. Enfin il a probablement d'autres facteurs agissant en synergie et renforçant la dynamique d'évolution à la baisse de la population d'omble. Parmi les exemples, on peut suspecter une baisse de qualité des conditions d'élevage des alevins (eau trop chaude en début d'incubation, écarts thermiques élevés et moules dans les canalisations pour la pisciculture de Rives, pathologies bactériennes (ex : flavobacterioses, furunculose) et parasitaires plus difficiles à maîtriser.

Enfin l'étude génétique, même si elle est rassurante (pas de perte d'allèles) indique néanmoins, par rapport aux années 60 et 70 une uniformisation génétique des reproducteurs présents sur les omblières. Le repeuplement pourrait avoir facilité cette uniformisation.

Bibliographie

- ADAMS C.E., BEAN C.W., FRASER D., MAITLAND P.S., 2006. Conservation and management of Arctic charr: a forward view. *Ecology of Freshwater Fish*
- AMUNDSEN P.-A., BOHN T., POPOVA O.A., STALDVIK F.J., RESHETNIKOV Y.S., KASHULIN N.A., LUKIN A.A., 2003. Ontogenic niche shifts and resource partitioning in a subarctic piscivore fish guild. *Hydrobiologia*, 497, 109-119.
- BALDWIN D.H., SANDAHL J.S., LABENIA J.S., SCHOLZ N.L., 2003. Sublethal effects of copper on coho salmon : impacts of non-overlapping receptors pathway in the peripheral olfactory nervous system . *Environ. Toxicol. and Chemistry*, 22,2266-2274.
- BEAUCHAMP D.A., ALLEN B.C., RICHARDS R.C., WURTSBAUGH W.A., GOLDMAN C.R., 1992. Lake trout spawning in Lake Tahoe: egg incubation in deepwater macrophyte beds. *North Amer J. Fish. Management* 12, 442-449.
- BRABANT A., HANSEN B.R., KOESLER A.G., 2006. Creation of artificial upwelling areas for brown trout, *Salmo trutta*, spawning in still water bodies. *Fisheries Management and Ecology*, 13, 293-298.
- BRODIN T., FICK J., JONSSON M., KLAMINDER, 2013. Dilute concentrations of a psychiatric drug alter behavior of fish from natural populations. *Science*, 339, 814-815.
- BRONTE *et al.* 2003. Possible impediments to Lake Trout restoration in Lake Michigan. Report september ,15, 2003.
- BROWN C., DAY R.L., 2002. The future of stock enhancements : lessons for hatchery practice from conservation biology. *Fish and Fisheries*, 3, 79-94.
- BRUNNER P.C., DOUGLAS M.R., BERNATCHEZ L., 1998. Microsatellite and mitochondrial DNA assessment of population structure and stocking effects in Arctic charr *Salvelinus alpinus* from central Alpine lakes. *Molecular ecology*, 7, 209-223
- BURNHAM-CURTIS M.K., KRUEGER C.C., SCHREINER D.R., JOHNSON J.E., STEWARD T.J., HORRALL R.M., MACCALLUM W.R., KENYON R. , LANGE R.E., 1995. Genetic strategies for lake trout rehabilitation: a synthesis. *J Great Lakes Res.*, 21 (sup 1), 477-486.
- CAUDRON A., CHAMPIGNEULLE A., 2006. Technique de fluoromarquage en masse à grande échelle des otolithes d'alevins vésiculés de truite commune (*Salmo trutta*) à l'aide de l'alizarine redS. *Cybium*, 30, 65-72.
- CHAMPIGNEULLE A., CACHERA S., 2008. Evaluation de la stratégie de pacage lacustre (repeuplement en lac) pour l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) au lac du Bourget. Rapport-SHL 285,2008, 52 p.
- CHAMPIGNEULLE A., MICHOU D., GERDEAUX D., GILLET C., GUILLARD J., ROJAS BELTRAN R., 1988. Suivi des pêches de géniteurs d'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) sur la partie française du lac Léman de 1982 à 1987. Premières données sur le pacage lacustre de l'Omble. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 310, 85-100.
- CHAMPIGNEULLE A., GERDEAUX D., 1995. Survey, management and recent rehabilitation of the Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) fishery in the French-Swiss Lake Lemman. *Nordic J. Freshw. Res.*, 71, 173-182.
- CHAMPIGNEULLE A., GERDEAUX D., GILLET C., GUILLARD J., ROJAS BELTRAN R., 1995. Programme pilote et recherches appliquées au pacage lacustre de Salmonidés. II Rapport final des travaux sur l'omble chevalier. *Rapport Institut de Limnologie, IL*, 87-95, 61 p.
- CHAMPIGNEULLE A., MICHOU D., BRUN J.C., 2001. Pacage lacustre de salmonidés (omble chevalier, corégone et truite) dans le lac Léman et le lac du Bourget. Pp 349-421 in Gerdeaux (ed). Gestion piscicole des grands plans d'eau. INRA éditions, Paris.
- CHAMPIGNEULLE A., GILLET C., 2007. Premiers éléments d'expertise sur l'évolution de la population et des pêcheries d'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) au Léman. *Rapport Station Hydrobiologie Lacustre*. Document de travail , 12 avril 2007, 112p.
- CHILCOTE M.W., GOODSON K.W., FALCY M.R., 2011. Reduced recruitment performance in natural populations of anadromous salmonids associated with hatchery-reared fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 68, 511-522.

- COLBY P.J., RYAN P.A., SHUPP D.H., SERNS S.L., 1987. Interactions in North-temperate lake fish communities. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44, (supp2), 104-128.
- DEGERMAN E., SERS B., 1993. A study of interactions between fish species in streams using survey data and the PCA-Hyperspace technique.
- DEGERMAN E., SERS B., 1992. Fish assemblages in Swedish streams. *Nordic J. Freshw. Res.*, 67, 61-71.
- ECKMANN R., GERSTER S., KRAEMER A., 2006. Yields of European perch from Upper Lake Constance from 1910 to present. *Fish. Management and Ecology*, 13, 381-390.
- ELLIOTT J.M., 1994. Quantitative ecology and the brown trout. Oxford University Press, 286 pp.
- FITZSIMONS J.D., 1995. A critical review of the effects of contaminants on early life stage (ELS) mortality of lake trout in the Great Lakes. *J. Great Lakes Res.* 21 (Sup 1), 267-276.
- ELROD J.H., 1987. Dispersal of three strains of hatchery-reared lake trout in Lake Ontario. *J. Great Lakes Res.*, 13, 157-167.
- ELROD J.H., 1997. Survival of hatchery-reared Lake Trout stocked near shore and off-shore in Lake Ontario. *North Amer. J. Fish. Managmt*, 17, 779-783.
- EVANS D.O., WILLOX C.C., 1991. Loss of exploited, indigenous populations of lake trout (*Salvelinus namaycush*) by stocking of non native stocks. *Can. J. Fish. Aquat.Sci.*, 48 (sup 1,) 134-147.
- FITZSIMONS J.D., 1996. The significance of man-made structures for lake trout spawning in the Great Lakes ; are they a viable alternative to natural reefs ? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 53 (Sup 1), 142-151.
- FRITTS A.L., SCOTT J.L., PEARSONS T.N., 2007. The effects of domestication on the relative vulnerability of hatchery and wild origin sping Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) to predation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 64, 813-818.
- GERDEAUX D., 2011. Does global warming threaten the dynamics of Arctic charr in Lake Geneva? *Hydrobiologia*, 660, 69-78.
- GERDEAUX D., ANNEVILLE O., HEFTI D., 2006. Fishery changes during re-oligotrophication in 11 peri-alpine Swiss and French lakes over the past 30 years. *Acta Oecologica*, 30, 161-167
- HALLERMAN E.M. (ed), 2003. Population genetics. Principles and applications for fisheries scientists. *American Fisheries Society*, Bethesda , Maryland, 458 p.
- HE X., KITCHELL F., 1990. Direct and indirect effects of predation on fish community: a whole-lake experiment. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 119, 825-835.
- HIRVONEN H., LAAKKONEN M.V.M., 2004. Why do salmonid antipredator responses weaken in hatchery rearing ? *J. Fish Biol.*, 65, 318.
- HIRVONEN H., RANTA E., PIIRONEN J., LAURILA A., PEUHKURI N. 2000. Behavioural response of naive Arctic charr youngs to chemical cues from salmonid and non-salmonid fish. *Oikos* 88, 191-199.
- HYVARINEN P., VEHANEN T., 2004. Effect of brown trout body size on poststocking survival and pike predation. *Ecology of Freshwater Fish*, 13, 77-84.
- HYVARINEN P., HUUSKO A., 2005. Long-term variations in brown trout (*Salmo trutta*) stocking success in a large lake: interplay between availability of suitable prey and size at release . *Ecology of freshwaterfish*, 14, 303-310.
- IHSSEN P., TAIT J.S., 1974. Genetic differences in retention of swimbladder gas between two populations of lake trout (*Salvelinus namaycush*) *J; Fish. Res. Board Can.*, 31, 1351-1354.
- JANJUA M.Y., ZANELLA D., GERDEAUX D., 2010. Comparative effectiveness, growth and dispersal of stocked Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) from different origins in lake Annecy. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 397,
- JANSSEN J., JUDE D.J., EDSALL A., PADDOCK R.W., WATTRUS N., TONEY M., MCKEE P., 2006. Evidence of lake trout reproduction at Lake Michigan's mid-lake reef complex. *J. Great Lakes Res.*, 32, 749-763.
- JEPSEN N., PEDERSEN S., THORSTAD E., 2000. Short communication. Behavioural interactions between prey (trout smolts) and predators (pike and pikeperch) in impounded river. *Regulated Rivers: Research and Management*. 16, 189-198.
- JONNISON B., JONSSON N., 2001. Review paper. Polymorphism and speciation in Arctic charr. *J. Fish Biol.*, 58, 605-638.

- KIPLING C., FROST W., 1970. A study of the mortality, population numbers, year class strengths, production and food consumption of pike, *Esox lucius*, in Windermere from 1944 to 1962. *J. Anim. Ecol.*, 39, 115-157.
- KNUDSEN R., AMUNDSEN P.-A., KLEMETSEN A., 2010. Arctic charr in sympatry with burbot : ecological and evolutionary consequences. *Hydrobiologia*, 650, 43-54.
- KRISTMUNDSSON A., ANTONSSON T., ARNASON F. 2011. First record of Proliferative Kidney disease in Iceland. *Bull. Eur. Ass. Fish Pathol*, 30, 35-40.
- KRUEGER C.C., IHSEN P.E., 1995. Review of genetics of lake trout in the Great Lakes : history, molecular genetics, physiology, strain comparisons, and restoration management. *J. Great Lakes Res.*, 21 (sup1), 348-363.
- LANGELAND A., 1995. Management of Charr lakes. *Nordic Journal of Freshwater Research*. 71, 68-80.
- LARGIADER C.R., HEFTI D., 2002. Principes génétiques de conservation et de gestions piscicoles. *Informations concernant la pêche*, Berne, 73, 1-116.
- LARSSON P.- O., 1985. Predation on migrating smolt as a regulating factor in Baltic Salmon (*Salmo salar*) populations. *J. Fish Biol.*, 26, 391-397.
- MACKENZIE-GRIEVE J.L., POST J.R., 2006. Projected impacts of climate warming on production of lake trout (*Salvelinus namaycush*) in Southern Yukon lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 63, 788-797.
- MACMAHON T., BENNETT D., H., 1996. Walleye and Northern pike: boost or bane to Northwest fisheries ?, *Fisheries*, 21, 6-13.
- MARSDEN J.E. et 9 co-auteurs, 1995. Lake trout spawning habitat in the Great Lakes. A review of current knowledge. *J. Great Lakes Res.*, 21 (Sup. 1), 487-497.
- MARSDEN J.E., CHOTOWSKI M.A., 2001. Lake trout spawning on artificial reefs and the effect of zebra mussels: fatal attraction? *J. of Great Lakes Research*, 27, 33-43.
- MILLS D.H., 1964. The ecology of the young stages of the Atlantic Salmon in the River Bran, Ross-shire. Department of Agriculture and Fisheries for Scotland. *Freshwater and Salmon Fisheries Research*, 32, 58 pp.
- MILLS D.H., HURLEY M.A., 1990. Long term studies on Windermere populations of perch (*Perca fluviatilis*), pike (*Esox lucius*) and Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) *Freshwater Biology*, 23, 119-136.
- MULLER R., 1992. Trophic state and its applications for natural reproduction of salmonid fish. *Hydrobiologia*, 243/244.
- NAVARRO L., RICHARD A., GERDEAUX D., 2006. Régime alimentaire des corégones du Léman en milieu pélagique. *Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut.*, Campagne 2005, 2006, 133-139.
- NORDENG H., 2008. Char ecology. Natal homing in sympatric populations of anadromous Arctic char (*Salvelinus alpinus*): roles of pheromone recognition. *Ecology of Freshwater Fish*,
- OXMAN D.S., BARNETT-JOHNSON R., SMITH M.E., COFFIN A., MILLER D.L., JOHNSON R., POPPER A.N., 2007. The effect of vaterite deposition on sound reception, otolith morphology and inner ear sensory epithelia in hatchery-reared Chinook salmon (*O. tshawytscha*). *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 64, 1464-1478.
- PARAGAMIAN V.L., BOWLES E.C., 1995. Factors affecting survival of kokanees stocked in Lake Pend Oreille, Idaho. *North Amer. J. Fish. Management*, 15, 208-219.
- PATERSON G., WHITTLE D.M., DROUILLARD K.G., HAFFNER G.D., 2009. Declining lake trout (*Salvelinus namaycush*) energy density : are there too many salmonid predators in the Great Lakes ? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 66, 919-932.
- ROCHE V., 1993. Interaction between biological research and management of freshwater fisheries in Ireland, *Hydroécol. Appl.*, 5, 1-6.
- RUBIN J.F., 1990. Biologie de l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) dans le Léman (Suisse). *Thèse de Docteur es Science en Biologie. Univ. de Lausanne*, 1 vol., 169 p.
- RUBIN J.-F., BUTTIKER B., 1993. Quelle est la proportion d'ombles chevaliers (*Salvelinus alpinus*) issus de la reproduction naturelle ou du repeuplement dans le Léman? *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 329, 221-229.

- RUBIN J.F., 2005a. Les sites de reproduction de l'omble chevalier du Léman ont-ils évolué de 1981 à 2005? *Archives des Sciences*, 58, 201-230.
- RUBIN J.F., 2005b. Pourquoi la population d'ombles chevalier diminue-t-elle dans le Léman? *Archives des Sciences*, 58, 247-256.
- RUBIN J.F., WAHLI T., 2005. Les ombles chevaliers du Léman sont-ils menacés par la maladie rénale bactérienne (MRB) ? *Archives des Sciences*, 58, 231-236.
- SANDAHL J.A., BALDWIN D.H., JENKINS J., SCHOLZ, N.L., 2007. A sensory system at the interface between stormwater runoff and salmon survival. *Environ. Sci., Technol.*, 41, 2998-3004.
- SAVARY R., 2011. Genetic diversity in time and space: the case of a stocked Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) population in lake Geneva: implications for management. *Master Thesis of science in behaviour, Evolution and Conservation*. Direction L. Fumagalli, LBC, department genetic and evolution, UNIL, 42 p.
- SETZER M., NORRGARD J.R., JONSSON T., 2011. An invasive crayfish affects egg survival and the potential recovery of an endangered population of Arctic charr. *Freshwater Biology*, 56,
- SCOTT G.R., SLOWMAN K.A., 2004. The effects of environmental pollutants on complex fish behaviour : integrating behavioural and physiological indicators of toxicity. *Aquatic toxicology*, 68, 369-392.
- SVARDSON G., 1976. Interspecific population dominance in fish communities of Scandinavian lakes. *Inst. Freshwat. Res. Drottningholm*, 55, 144-171.
- THOMPSON R.B. TUFTS D.F., 1967. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 96, 424-427.
- TIERNEY K.B., BALDWIN D.H., HARA T.J., ROSS P.S., SCHOLZ N.L., KENNEDY C.J., 2010. Olfactory toxicity in fishes. *Aquatic toxicology*; 96, 2-26.
- VIHUNEN S., 2006. Repeated antipredator conditioning : a pathway to habituation or to better avoidance. *J Fish Biology*, 68, 25-43.
- VOLLESTAD L.A., SKURDAL J., QVENILD T.? 1986. Habitat use, growth, and feedong of pike (*Esox lucius*) in four Norvegian lakes. *Arch. Hydrobiol.*, 108, 107-117.
- WRIGHT P.J., TRIPPEL E.A., 2009. Fishery-induced demographic changes in the timing of spawning: consequences for reproductive success. *Fish and Fisheries*, 10, 283-304.
- WYSOCKI L.E., DITTAMI J.P., LADICH F., 2006. Ship noise and cortisol secretion in European freshwater fishes. *Biological Conservation*, 128, 501-508.
- ZANELLA D., 2003. Bilan de la situation actuelle de l'omble chevalier sur le lac d'Annecy et de sa gestion halieutique . *Mémoire.DESS Restauration des Milieux Aquatiques continentaux*. Univ. Blaise Pascal, Clermont 2, 42 p.

TRUITE DE LAC (TL) DANS LE SYSTEME LEMAN-AFFLUENTS

Objectifs et enjeux de l'étude

Les populations de truites du système Léman-affluents sont soumises à des repeuplements en lac et en affluents. Face à la baisse des captures de TL en lac (Fig T1), la Commission Consultative franco-suisse de la Pêche au Léman a souhaité avoir, pour une cohorte test, une évaluation des contributions respectives de la fraie naturelle et du repeuplement pratiqué directement en lac qui est de son ressort. Une analyse en début de l'étude FR-CH a montré que les repeuplements ont été et sont toujours réalisés selon des pratiques variées, à la fois directement en lac mais aussi en affluents. Les objectifs de l'étude FR-CH ont donc été élargis à l'évaluation de la contribution du recrutement naturel et des repeuplements avec, pour ces derniers, une évaluation de la contribution et de l'efficacité relative des diverses pratiques pour une cohorte test, celle de 2008.

Un autre objectif important fixé a été de rechercher et d'évaluer des facteurs limitant pouvant contribuer à expliquer la baisse ou certaines fortes fluctuations des captures de truite de lac. Pour cela le choix a été fait de pratiquer une analyse de facteurs de régulation susceptibles d'intervenir aux diverses phases du cycle de vie complexe de la truite de lac. La truite (*Salmo trutta*) est en effet une espèce connue pour sa grande diversité et plasticité intra-spécifique (Guyomard, 1991). Cette diversité se traduit à plusieurs niveaux : génétique, biologique et écologique. Celle-ci s'exprime en particulier dans le système Léman et les affluents associés. En effet, deux stratégies de vie peuvent être adoptées: 1) boucler la totalité du cycle de vie en rivière pour les truites sédentaires (TS) ou 2) alterner le cycle de vie entre l'affluent pour la reproduction et la production des juvéniles et le Léman pour la croissance dans le cas des truites de lac (TL). Ryman *et al.* 1995) et Laikre *et al.* (2000) présentent de nombreux arguments en faveur d'une protection de la biodiversité intra-spécifique des populations de poissons y compris celles exploitées. Cet enjeu patrimonial a donc également été intégré dans l'étude.

Evolution des captures de truite de lac par les pêcheries lémaniques.

Le Léman (58 240 ha) est un des grands lacs européens ayant historiquement généré de fortes captures (0,4 kg/ha) de truite de lac. Néanmoins les captures annuelles totales (pêcheries professionnelle et amateur regroupées, FR + CH) ont baissé, passant d'un niveau minimal de 25 t dans la période 1986-1993 à un niveau voisin de 10 t dans la période récente, 2004-2010 (Fig.T1).

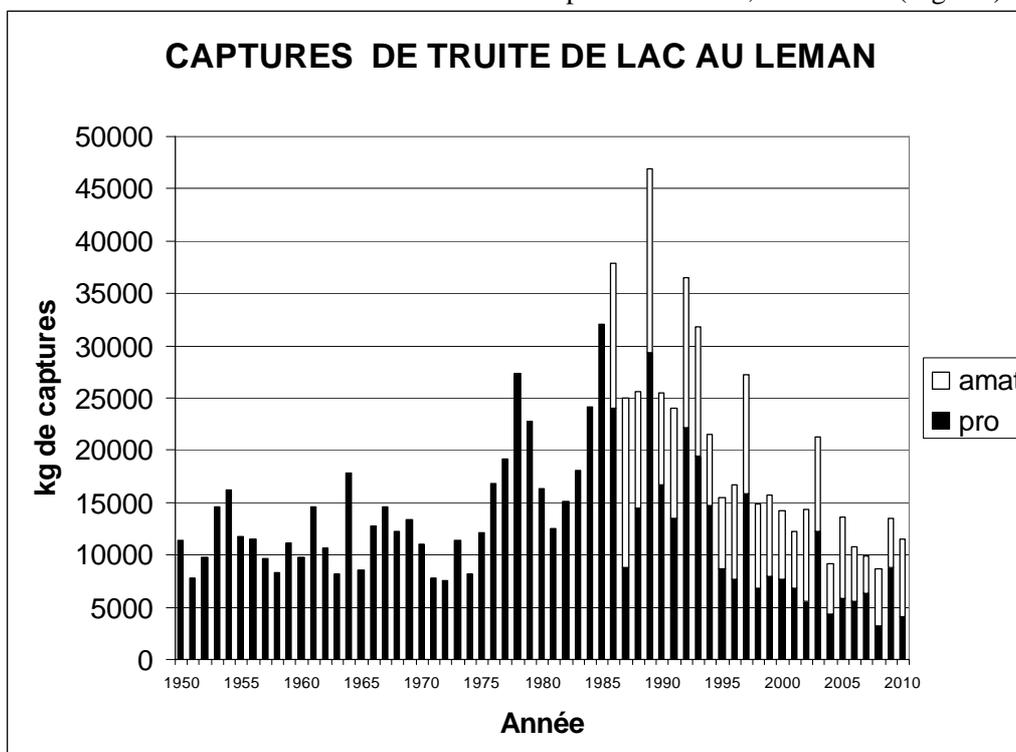


Figure T1. Captures de truite de lac au Léman (période 1950-2010) pour la pêche professionnelle et période 1986-2008 pour la pêche amateur.

Evaluation du repeuplement de la cohorte de truite de 2008

Pratiques de repeuplement et marquages (cohorte 2008)

Les pratiques de repeuplement en truite du système Léman-affluents sont les suivantes pour la cohorte 2008 :

TL 1an Lem : truitelles lacustres de 1an (production en Valais) d'origine «TL Aubonne » déversées au Léman en début mai 2009.

TL estiv Lem: estivaux (5-9cm) de truite de lac d'origine Aubonne produits dans les piscicultures de Rives et de St-Sulpice puis déversés directement au Léman en été 2008.

TL dem Aff CH : alevins démarrés (2,5cm) d'origine lacustre (Aubonne) ayant reçu un début de nourrissage à la pisciculture de St-Sulpice. Dans la période de mi-avril à début juin 2008, ils ont été répartis en zone moyenne et amont d'affluents vaudois (90 sites) et en aval d'affluents valaisans.

TP estiv ATL aff CH : estivaux (principalement) et préestivaux de truite fario domestiquée de souche ATL déversés dans des affluents suisses surtout vaudois (printemps-été 2008).

TP préestiv MED aff FR : truites fario d'origine autochtone (MED = méditerranéenne) produites à partir d'un stock captif de géniteurs autochtones sédentaires MED de la Dranse d'Abondance. Les juvéniles (préestivaux_stade dominant ou alevins démarrés ou estivaux) ont été répartis au printemps 2008 dans les affluents français du Léman, principalement en zones moyennes et amont non naturellement fréquentées par la truite de lac.

Pour l'ensemble des pratiques de repeuplement, les quantités déversées et les marquages distinctifs sont indiqués dans le Tableau T1 et sont schématisés dans la Figure T2. Cette campagne de marquage de grande ampleur, unique en Europe, a été réalisée par une balnéation de 3 heures dans une solution d'ARS (Alizarine Red S) de 100 mg ARS / L (cf.Caudron et Champigneulle, 2006). Le marquage (952 000 au total) a porté sur la totalité des repeuplements pratiqués directement dans le Léman mais également dans les affluents français et suisses listés dans le paragraphe précédent. Les diverses pratiques sont distinguées essentiellement par divers types de balnéation ARS (Tableau T1 et Figure T2). L'origine des 2 lots de truites de lac porteuses d'une marque «ARS petite » a été déterminée par analyse génétique (ATL pour les relâchers en affluents suisses et MED pour les relâchers en affluents français). D'après des éléments convergeant (forte capturabilité post relâcher en affluents et génétique Launey *et al.*, 2003) , on peut considérer que les truites de repeuplement déversées dans le Haut-Rhône ne contribuent pas ou peu aux captures de truites de lac dans le Léman. Par ailleurs l'examen des nageoires des truites de lac n'a pas révélé la présence de traces de nageoires érodées typiques des truites domestiques déversées en rivière au stade d'adulte ou de sub-adulte, pratique ayant cours dans le Valais.

En final, on a donc les équivalences suivantes :

1) marqués = issus du repeuplement et 2) non marqués =issus du recrutement naturel.

Sur le plan qualitatif, les repeuplements réalisés pour la cohorte 2008 sont représentatifs des pratiques de repeuplement des années récentes dans le Léman et ses affluents. Mais sur le plan quantitatif il y a eu dans les années récentes de fortes variations inter-annuelles au niveau des quantités déversées. En particulier, le déversement direct au Léman d'estivaux TL (126 300) réalisé pour la cohorte 2008, est un des plus faibles des années récentes. Des calculs complémentaires ont donc été effectués pour évaluer la contribution du déversement d'estivaux directement en lac sous 2 hypothèses : hypothèse 1 : 500 000 estivaux TL directement au Léman ce qui est l'objectif du plan quinquennal actuel ; hypothèse 2 : 1 000 000, niveau de repeuplement maximal pratiqués au Léman. Par ailleurs les efficacités relatives des diverses pratiques de repeuplement ont été évaluées et comparées pour les principales composantes de la pêche et au stade de géniteurs.

Terminologie d'évaluation des pratiques de repeuplement et calculs correspondants.

Contribution relative (CR) des pratiques de repeuplement : Pour chaque échantillon de truite de la cohorte 2008 on a calculé la contribution relative de chacune des sources de recrutement (reproduction naturelle et diverses pratiques de repeuplement) en examinant pour chaque individu et par épifluorescence l'absence ou le type de marquage alizarine.

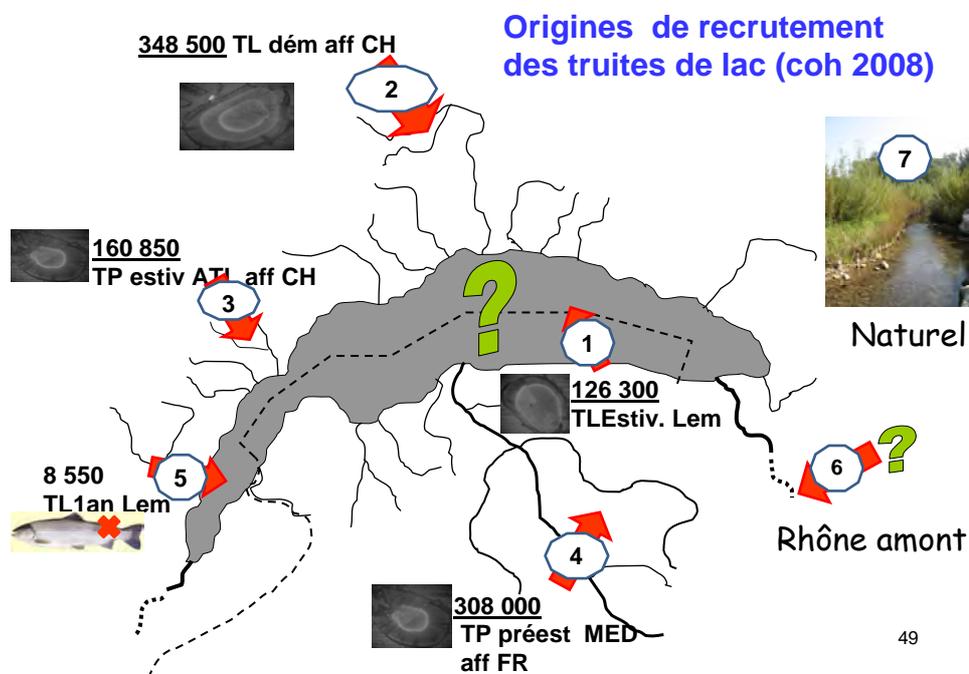
Efficacité Relative (ER) des pratiques de repeuplement calculée comme suit : On observe un échantillon de truites de la cohorte 2008. Dans cet échantillon il y a un total de R_{tot} truites marquées observées et R_i est le nombre de marquées observées pour chaque pratique de repeuplement. Le total des R_i est égal à R_{tot} .

Par ailleurs on calcule pour ce même échantillon de R_{tot} truites marquées quels seraient les effectifs attendus sous l'hypothèse qu'ils soient proportionnels au nombre initial déversés pour chaque pratique. L'efficacité relative évaluée pour chaque pratique (ER_i) est alors le rapport entre l'effectif réellement observé R_i et l'effectif théorique attendu.

Pour deux pratiques (3 et 4 ; Tab T1) avec une dispersion en rivière, les relâchers étaient composés de 2 stades de développement successifs. Dans ces deux cas, le nombre pris en compte pour la pratique a été le nombre total des 2 stades d'alevins nourris concernés par la pratique.

Tableau T1. Marquages et déversements de truites (cohorte 2008) dans le système Léman-affluents associés.

N° de la pratique	origine	lieu	Stade (date)	Nombre (% des marqués)	Marque
5	TL 1an Lem	Léman Genève	un an coh 08 (fin avril 09)	8 550 (0,9)	adipeuse coupée
1	TL estiv Lem	Léman FR et Vaud	estivaux	126 300 (13,3)	ARS grande
2	TL dem Aff CH	Affluents CH Vaud, Valais	Alevins démarrés	348 500 (36,6)	ARS double
3	TP estiv ATL aff CH	Affluents CH Vaud	préest+estiv	160 850 (16,9)	ARS petite*
4	TP preest MED aff FR	Affluents FR	alevins démarrés + préestivaux	308 000 (32,3)	ARS petite*
	TOTAL			952 200 (100)	



49

Figure T2. Pratiques de repeuplement en truite dans le système Léman-affluents Cf Tab T1 pour une description plus précise des différentes pratique.

Contribution des différentes sources de recrutement

Stade 1+ en 2009 : captures occasionnelles

Un échantillon de 48 truitelles 1+ a été collecté au Léman au cours de l'été 2009. Il s'agissait de captures occasionnelles de truitelles ne faisant pas la taille légale ($LT < 35$ cm) trouvées mortes dans des filets (*grands pics et/ou filets à perche*). Sur ces 48 truites de lac 1+, la majorité (79,2 %) n'étaient pas marquées et elles étaient donc issues du recrutement naturel. Parmi les 10 marquées issues du repeuplement, la plupart (80,0%) provenaient de l'origine « alevins TL démarrés déversés dans des affluents CH » (TLdemAffCH) (Tb T1) et les autres étaient issues des déversements de fario domestiques en affluents CH et FR. Par conséquent aucune truite de la cohorte 2008 directement déversée au Léman au stade d'estivaux ou de 1+ ne contribuait à ce petit échantillon de jeunes truites de lac 1+ examiné.

Stade 2+ dans la pêche de loisir de la TL au Léman en 2010 (Fig T3-T4).

Au total, 152 truites de lac 2+ de la cohorte 2008 ont été examinées. La plupart d'entre elles (73,7 %) étaient issues du recrutement naturel (Fig T3).

Parmi les 26,3 % de truites 2+ issues du repeuplement, c'est la pratique « TL dém aff CH» qui a eu la plus forte contribution (19,1 %) au total des captures de 2+, suivie par la pratique TLestivLem (6,1%) (Fig.T3).

Pour les captures à la traîne de jeunes truites 2+, les 2 pratiques (« TL.dem.Aff.CH» et « TL.estiv.Lém ») ont eu la même efficacité relative (Fig.T4).

Les pratiques de repeuplement en affluents avec des alevins fario non lacustres produits par les stocks captifs ont eu une contribution faible (0,6%) aux captures de 2+ et une efficacité relative très faible ou nulle comparée aux autres pratiques (Fig T4).

Stade 3+ dans la pêche de loisir de la TL au Léman en 2011 (Fig T3-T4).

Un échantillon de 316 TL 3+ de la cohorte 2008 capturées par la pêche de loisir à la traîne a été examiné. La contribution majoritaire (77,8 %) est issue du recrutement naturel (Fig T3) et ce taux ne diffère pas significativement de celui (73,7 %) évalué au stade 2+.

Parmi les 22,2% de truites 3+ issues du repeuplement, comme au stade 2+, c'est la pratique « TL dem.Aff.CH » qui a eu la plus forte contribution (18,0%) au total des captures (Fig T3). Les autres pratiques ont eu une contribution nulle à faible (0-2,9 %).

Dans la pêche de loisir de TL 3+ issues du repeuplement, la pratique « TL.dem.Aff.CH » a eu la plus forte efficacité relative (Fig T4). Celle-ci est 5,5 fois supérieure à celle de la pratique « TL.estiv.Lem » déversés directement au Léman.

Pour la pêche de loisir des 3+, l'efficacité relative de la pratique « TpestivATLaff CH » est 2 fois supérieure à la pratique « TLestivLem » (Fig T4).

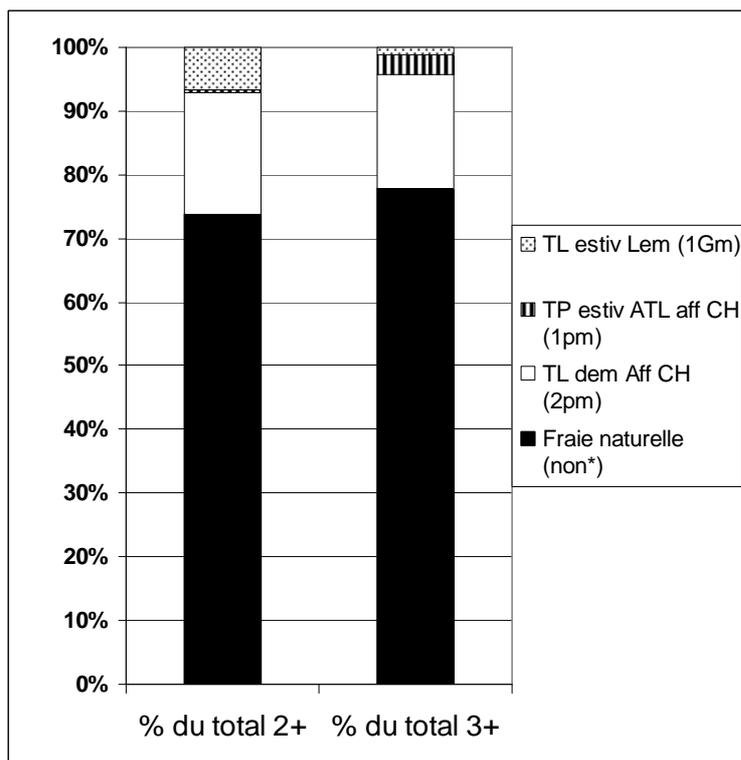


Figure T3 Contribution du fraie naturel et des diverses pratiques de repeuplement en lac et en affluents dans les captures de truite (cohorte 2008) au stade 2+ et au stade 3+ dans la pêche amateur à la traîne au Léman.

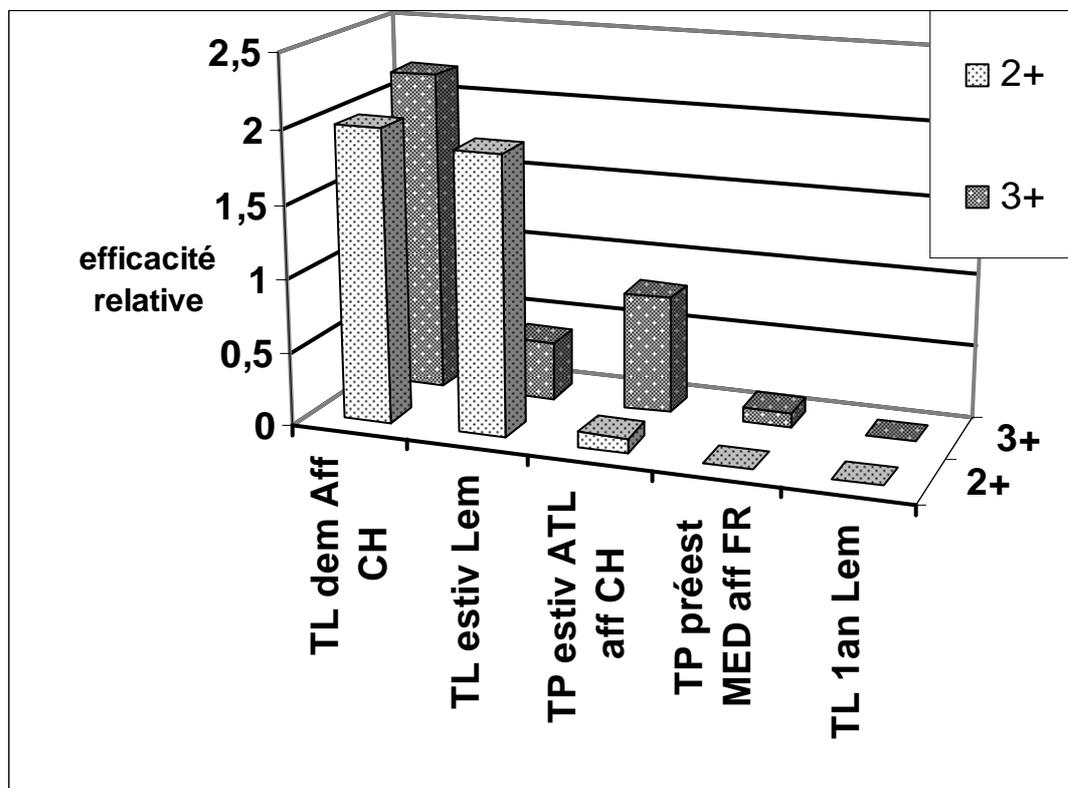


Figure T4 Evaluation (cohorte 2008) de l'efficacité relative des pratiques de repeuplement en truite dans le système Léman-affluents vis-à-vis des captures de truite de lac au Léman aux stades 2+ et 3+ dans la pêche de loisir.

Contributions dans l'hypothèse 1 de l'objectif du Plan-Quinquennal (500 000 estivLem)

Préambule : les calculs ont été réalisés avec l'hypothèse de l'absence d'une mortalité densité dépendante entre le déversement réalisé (126 300 ; Fig T5A) et le niveau de déversement de 500 000 estivaux directement en lac. (Fig T5B). L'annexe 1 indique le mode de calcul de cette hypothèse 500000 sachant que le principe du mode de calcul reste le même.

Stade 2+ (Fig T5A ; Fig T5B)

Toutes choses étant égales par ailleurs, avec l'hypothèse 1 d'un repeuplement de 500 000 estivaux TL directement au Léman (objectif du plan de gestion franco-suisse 2011-15), la contribution dans la pêche totale de 2+ de cette pratique de repeuplement « TLestiv.Lem » serait passée de 6,6% à 21,7 % des 2+ (Fig T5 A et Fig.T5.B).

Le taux de non marqués issus du recrutement naturel serait passé de 73,7 % à 58,6 % des 2+, restant donc légèrement majoritaire. La contribution du repeuplement global (dans Léman + affluents) serait alors passée à 41,4% des captures de 2+ (Fig.T5 A et B).

Le taux de contribution des affluents (recrutement naturel et repeuplements en affluents) est très élevé (93,4%) pour les 2+ de la cohorte 2008. Avec l'hypothèse 1 de 500 000 estivaux déversés au Léman il aurait baissé à 78,3% mais restant néanmoins nettement majoritaire.

Stade 3+(Fig T5A ; Fig T5B)

Dans l'hypothèse d'un repeuplement de 500 000 estivaux TL directement au Léman (objectif du plan de gestion franco-suisse 2011-2015) et sans changement quantitatif des autres pratiques/déversements, la contribution de la pratique de repeuplement TL.estiv.Lem dans la pêche globale des 3+ par les amateurs serait passée de 1,3 à 4,7 % des 3+.

Au stade 3+, le taux de non marqués issus du recrutement naturel serait passé de 77,8 % à 74,4%, restant donc nettement majoritaire. La contribution du repeuplement global a été estimée à 25,6% des captures de 3+.

Le taux de contribution des affluents (recrutement naturel et repeuplements en affluents) est très élevé (98,7%) pour le réalisé de la cohorte 2008. Avec l'hypothèse de 500 000 estivaux déversés directement au Léman il serait resté très majoritaire (95,3%).

Contributions dans l'hypothèse 2 d'un repeuplement maximal de 1 000 000 TLestivLem

Préambule : les calculs ont été réalisés avec l'hypothèse de l'absence d'une mortalité densité dépendante entre le déversement réalisé (126 300) et pour un niveau de déversement Maximal de 1 000 000 estivaux. (Fig T5C)

Dans le cas de l'hypothèse 2 de niveau d'un repeuplement maximal de 1 000 000 d'estivaux directement en lac, sa contribution aux captures globales serait passée à 35,5 % pour les 2+ et à 9,2 % pour les 3+.

Au stade 2+, la contribution globale du repeuplement (55,3%) dépasserait légèrement la contribution du recrutement naturel (44,7%) (Fig.T5C).

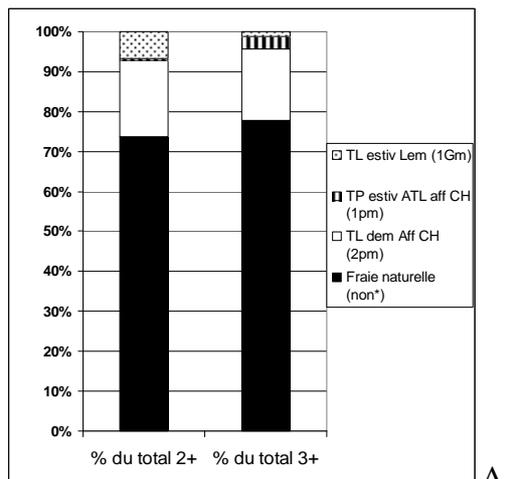
Au stade 3+, la contribution globale du repeuplement (30,1 %) est nettement inférieure à la contribution du recrutement naturel (69,9%). (Fig T5C).

Avec l'hypothèse de 1 000 000 d'estivaux TL déversés au Léman, le taux de contribution des affluents (recrutement naturel et repeuplements en affluents) serait resté très majoritaire dans les captures de 3+ (90,8%) et à un degré moindre (64,5%) dans les captures de 2+.

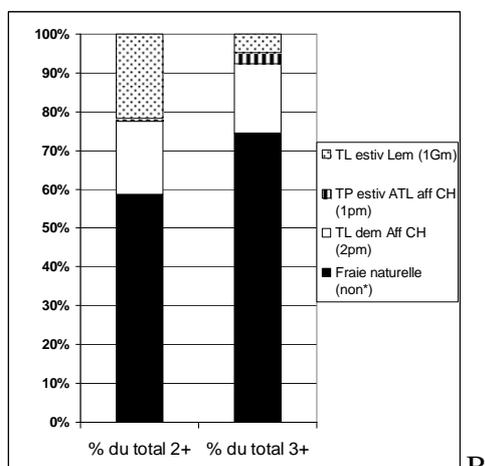
Conclusion

Au stade 2+, la contribution du recrutement naturel varie à la baisse : 73,7%, 58,6% et 44,7 %, respectivement en fonction du niveau de repeuplement 126300, 500 000 et 1 000 000.

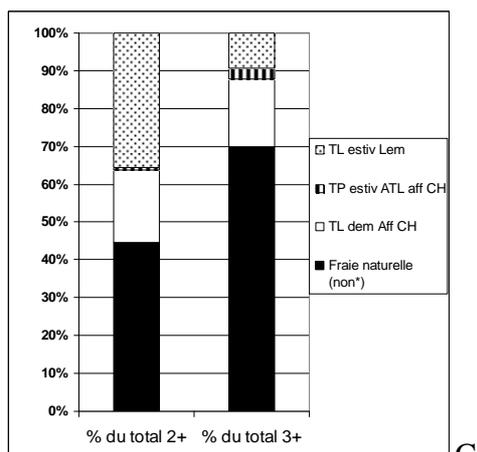
Au stade 3+ pour les 3 niveaux de repeuplement en estivaux directement en lac (TLestivLem), y compris le plus élevé, la contribution du recrutement naturel domine et varie peu (77,8%, 74,4% et 69,9 %) contrairement au cas du stade 2+.



A



B



C

Fig T5. Contribution du recrutement naturel et des différentes pratiques de repeuplement pour trois niveaux de relacher de TLestivLéman : A : réalisé : 126300, B : Hypothèse 500000 (objectif du plan quinquennal 2011-2015) ; C : Hypothèse 1000000 (niveau Maximum pratiqué au Léman).

Stade 3+ dans la pêche professionnelle 2011 (Fig T6)

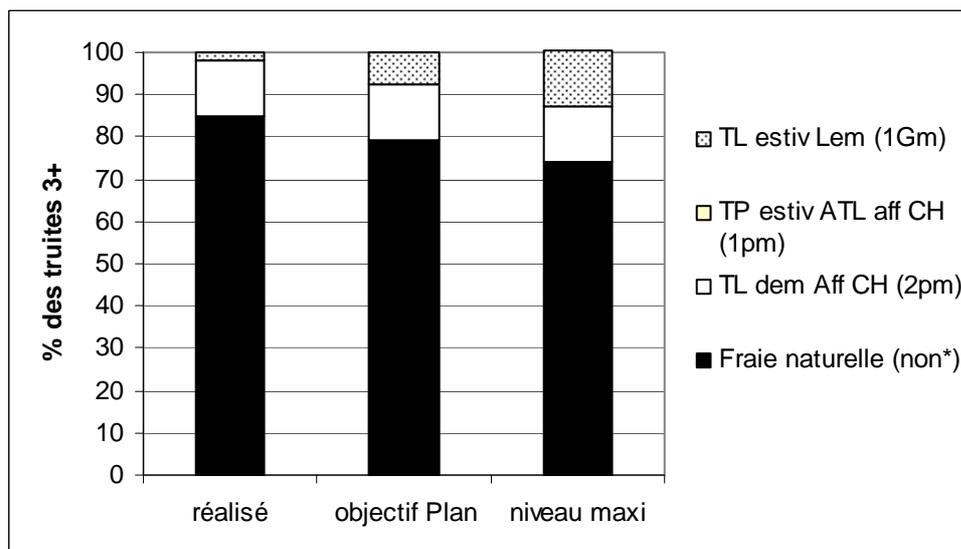


Figure T6. Echantillon de 53 truites de lac 3+ de la cohorte 2008 capturées par pêche professionnelle en 2011. Contribution selon 3 niveaux de repeuplement en estivaux directement en lac : réalisé : 126 300 ; Objectif du Plan Quinquennal (Hypothèse 500 000) ; Hypothèse maximale (1 000 000).

Au stade 3+ dans la pêche professionnelle le recrutement naturel domine (84.9 ; 79,2 et 73,9 %) et il y a peu de différence du taux de recrutement naturel entre les 3 différents niveaux de repeuplement croissant (respectivement 126300, 500 000 et 1 000 000) en estivaux directement en lac. (Fig T6).

La contribution des relachers d'estivaux directement en lac reste faible et varie peu (1.9 ; 7,6 et 13,2 %) en fonction des niveaux de relacher croissant. Ceci indique que l'intensification du repeuplement en estivaux directement en lac au niveau 1 000 000 apporterait peu à la pêche professionnelle de 3+, classe d'âge dominante pour la pêche professionnelle.

Captures de jeunes géniteurs TL 2+ (cohorte 2008) morts après la frai 2010.

Un premier échantillonnage exploratoire a été réalisé sur des géniteurs morts en post-frai 2010 dans quelques rivières suisses et françaises. Quinze géniteurs 2+ de la cohorte 2008 ont été échantillonnés. Parmi eux, 6 étaient marqués: 1) 5 avec une marque ARSdouble (2pm) donc issus d'alevins TLdemAffCH. et 2) une sans adipeuse et donc issue d'un 1+ « TL1anLem » déversés directement en lac en 2009. Le taux global de marqués est élevé (40%) mais l'échantillon de 2+ est très petit et il a donc été regroupé avec les géniteurs 3+.

Géniteurs 3+ et 2+ (cohorte 2008) dans des affluents FR et CH du Léman (Fig T7)

Un échantillon de 106 jeunes géniteurs TL (16 2+ et 90 3+) de la cohorte 2008 morts au moment de la reproduction a été examiné lors de la fraie (2010 pour les 2+ et 2011 pour les 3+). La plupart (78,3 %) des géniteurs étaient issus du recrutement naturel. Parmi les 21, 7 % issus du repeuplement, l'essentiel (91,3 % ; 21/23) provenaient de la pratique de repeuplement TLdemAffCH. Un géniteur sur les 23 provenait du relacher d'estivaux TL directement en lac et un autre provenait des relachers de TP.estiv.ATL affl.

La pratique de repeuplement TLdemAffCH (origine Aubonne) a fourni des géniteurs 3+ (cohorte 2008) à plusieurs affluents CH mais aussi FR.

La contribution du recrutement naturel, forte (78,3%) au niveau du repeuplement « TLestivLem » réalisé, reste nettement majoritaire (67,9 et 65,1 %) respectivement aux niveaux de relacher 500 000 et 1 000 000. La contribution des estivaux TL déversés en affluents CH varie peu passant de 19,9% pour le niveau 126 300 réalisé à 27,4 % à la fois pour le niveau 500 000 et 1 000 000 TLestivLem..

Les alevins nourris produits à partir d'oeufs de truites de lac collectés sur l'Aubonne puis déversés en affluents CH ont donc eu, outre une contribution aux captures dans la pêche, une contribution aux remontées de géniteurs de truite de lac.

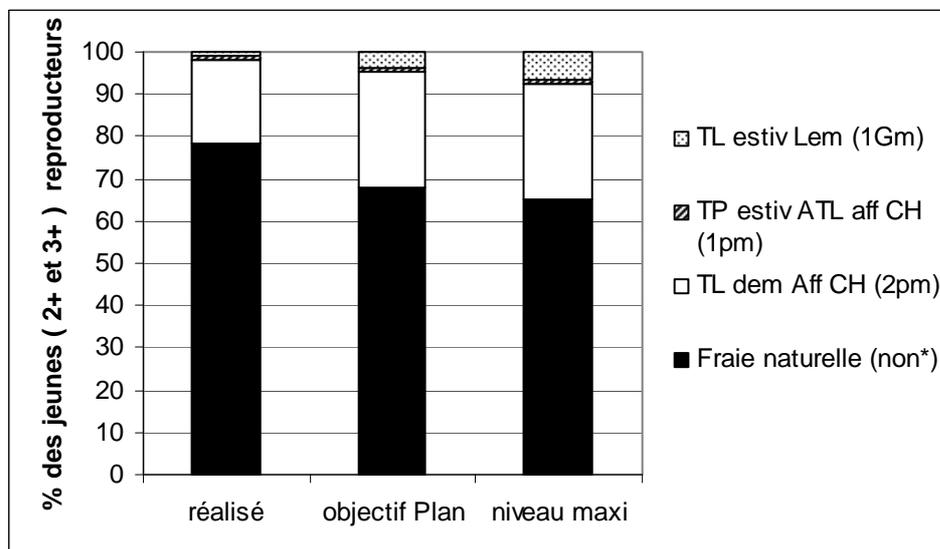


Fig T7 Echantillon de 106 jeunes géniteurs de truite de lac (2+ et surtout 3+) de la cohorte 2008 collectés comme morts en post-frai 2010 et 2011. Contribution des diverses origines de recrutement et selon 3 niveaux de recrutement en estivaux déversés directement au Léman : 126 300 réalisé coh 2008 ; 500 000 : objectif du plan quinquennal 2011-15 ; 1 000 000 niveau maximum praticable au Léman.

Acquis lémaniques complémentaires et/ou comparatifs.

Préambule :

Une recherche a été faite pour rassembler et le cas échéant revisiter certains acquis lémaniques afin de les comparer aux nouvelles données plus récentes et notamment au suivi de la cohorte 2008. Par ailleurs, il était utile d'avoir un ou plusieurs répliquats pour savoir s'ils donnaient ou non la même tendance.

Estivaux directement en lac (comparaison des cohortes 1996 et 2008).

En 1996, le repeuplement total réalisé directement dans le Léman était constitué de 1 110 000 estivaux de truite de lac. Avec l'aide de pêcheurs amateurs volontaires, l'INRA a réalisé le marquage de 111 000 estivaux par ablation de la nageoire adipeuse (soit 1/10 du total d'estivaux TL relâchés directement au Léman). Des suivis de cette cohorte 1996 ont été réalisés à 2 niveaux :

+ en 1998 (Gerdeaux et Hamelet 1999) dans les captures de truite de lac 2+ réalisées au Léman par pêche amateur et professionnelle. Au total, 535 TL2+ ont été examinées. Le taux de TL non marquées et donc issues de la boîte noire «apport global des affluents» a été évalué à 73,3 %. La «boîte noire affluents» inclue, sans pouvoir les distinguer (contrairement à la cohorte 2008) à la fois le recrutement naturel en affluents et les repeuplements pratiqués en affluents.

+ au cours de l'hiver 1999-2000 un échantillon de 149 géniteurs de truite de lac 3+ remontant frayer dans un ensemble de 7 affluents français et suisses du Léman. Au total 149 géniteurs de TL3+ (Champigneulle, données non publiées) ont été examinés. Le taux global de TL non marquées et donc issues de la boîte noire «apport global des affluents» a été évalué à 86,6 %.

Pour la cohorte 2008, les résultats sous hypothèse 2 (1 000 000 déversés) peuvent être comparés au réalisé 1996 qui portait sur 1 111 000 estivaux TL déversés).

Pour la cohorte 2008, l'apport des affluents est de 64,5 % pour les TL capturées par les amateurs au stade 2+.

Pour la cohorte 2008, l'apport des affluents a une valeur voisine de 90 % pour les 3+ capturés par les amateurs, pour les 3+ capturés par les professionnels et pour les géniteurs 3+.

On peut donc (sous l'hypothèse 2) indiquer que, comme dans le cas de la cohorte 2008, comme dans le cas de la cohorte 1996, l'essentiel du recrutement, tant dans la pêche qu'au stade de reproducteurs provient de la fourniture des affluents.

L'ordre de grandeur dans les captures de la contribution de 1 110 000 estivaux déversés au Léman en 1996 a été évaluée dans la gamme 1 marqué /10 et 1 marqué /3.

Les données recueillies pour la cohorte 2008 permettent par ailleurs d'évaluer la situation sous l'hypothèse d'un repeuplement en lac au niveau de 1 000 000 (comme pour la cohorte 1996). Dans ce scénario à 1 000 000 d'estivaux déversés en lac, la contribution du recrutement naturel serait restée nettement majoritaire dans les captures avec, respectivement 70, 73 et 65 %, respectivement pour la pêche amateur, la pêche professionnelle et les géniteurs 3+.

1+ en lac

Acquis au Léman

Pour la cohorte 2008 suivie, il n'y a pas eu de contribution des 1+ déversés au printemps 2009 au Léman. Cependant il y a eu 2 retours de TL, chacun pour un lot de 1+ marqués (1+, 2007, 1+ 2009).

Acquis au lac du Bourget :

Une expérience sur le repeuplement (au printemps) en truite de lac 1+ a été menée par l'INRA dans le lac français du Bourget, plus petit (4500 ha), mais ayant un niveau trophique voisin de celui du Léman. Dans le lac du Bourget il y a eu 8 années consécutives un déversement annuel de 15000 truites lacustres de 1+ produites à Rives à partir d'œufs issus d'un stock captif TL (origine Aubonne)

de la pisciculture de Vizille. Ces truites étaient relâchées en avril à une taille de 6-9 cm. Or cette pratique de repeuplement en début 1+ n'a pas conduit à une augmentation significative des captures de TL qui sont restées au même niveau faible de 300-400 kg / an au lac du Bourget.

Une hypothèse avancée pour expliquer les faibles résultats obtenus, outre le petit nombre de 1+ déversés, est que la conjonction d'une trop petite taille et de l'absence de poissons proies en avril (trop précoce) ne leur permettaient pas de passer directement au moment du relâcher à une alimentation abondante en alevins de poissons. Des travaux scandinaves (Hyvärinen et Huusko, 2005) ont en effet montré que l'efficacité des relâchers de sub-adultes de truite en lac était fonction de la possibilité qu'ils ont d'avoir dès le relâcher un accès aisé à des alevins de poissons ayant une taille optimale c'est à dire la taille de proie préférée en fonction de leur propre taille.

Préestivaux en zone de bordure lacustre FR

Une expérience a été lancée en 2012 en zone littorale française. Elle vise à tester la pratique de déversements directs en bordures lacustres avec des pré-estivaux et début estivaux TL (625000 tous marqués ARS 1pm) en cumulant des conditions potentiellement favorables : déversement avant l'apparition estivale de problèmes pathologiques en pisciculture et lorsque l'eau en bordure de lac n'est encore pas trop chaude, localisation en milieux hétérogènes peu profonds (pierriers et macrophytes) pouvant jouer le rôle d'abris. Des échantillonnages de 1+ (captures accidentelles) seront menés dès 2013 afin de disposer de premiers résultats sur cette pratique et qui seront alors fournis aux gestionnaires des pêcheries lémaniques comme des éléments d'évaluation de cette pratique de repeuplement non encore testée.

Cette expérimentation de relâcher de préestivaux en zones de bordures a également été réalisée au lac du Bourget, ce qui constitue un répliquat spatial inter-lacs.

Préestivaux-estivaux en affluents lémaniques (acquis anciens cf détail en Annexe 1)

Préambule :

L'étude FR-CH récente (cohorte 2008) a montré qu'avec des efficacités variables, certains repeuplements pratiqués en affluents contribuent à la production de truites de lac. Ceci nous a donc conduit à « revisiter » des études FR et CH menées sur les repeuplements en affluents- frayères du Léman dans les années 80 et 90.

Les principales informations sont indiquées dans l'Annexe A1.

Seuls quelques éléments sont indiqués ci dessous.

Des expériences menées au Redon par l'INRA dans les années 80-début des années 90 ont montré que chacun des modes de repeuplement en préestivaux - estivaux de TLS (=Truite de Lac Sauvage) et de TDP (Truites Domestiques de Pisciculture) en affluents était susceptible de donner des géniteurs TL revenant dans le Redon. Cependant pour les alevins déversés dans le Redon, le taux de recapture comme géniteur TL dans le Redon a été en moyenne 5 fois plus élevé pour l'origine TLS que pour l'origine TDP (*Champigneulle et al., 2003*) (Annexe A1).

Des préestivaux ou des d'estivaux TL ont été produits en pisciculture à partir d'œufs provenant de géniteurs TL capturés sur l'Aubonne. Certains d'entre eux déversés sur d'autres affluents que l'Aubonne ont fourni des géniteurs de truite de lac (Annexe A1 ; *Champigneulle et al, 2003* ; ECOTEC, 1996). Les données de l'étude FR-CH complètent ce résultat en montrant que des truites de lac peuvent également être obtenues avec des alevins précoces, juste démarrés, d'origine Aubonne et déversés dans divers affluents CH.

Par ailleurs, lors des récoltes d'œufs à partir de géniteurs d'apparence TL capturés *in situ*, rien ne permet de distinguer de façon externe l'origine des reproducteurs.

Ces données, jointes à celles concordantes obtenues par l'étude FR-CH suggèrent donc que certains repeuplements en affluents (comme en lac) sont susceptibles d'aller jusqu'au stade de géniteurs en affluents d'origine ou non, contribuant dans ce dernier cas à rompre d'éventuels isolements reproducteurs entre certains affluents. On ne peut donc exclure l'existence de conséquences génétiques (perte de diversité) engendrées par certaines pratiques de repeuplement.

Hypothèse repeuplement

Préambule : Il arrive assez souvent que certains gestionnaires et certains pêcheurs pensent que les captures de truite de lac et leurs variations sont obligatoirement liées au seul facteur « repeuplement ». Dans la présente étude, le facteur « repeuplement » a été considéré simplement comme un des facteurs explicatifs parmi d'autres à évaluer.

La campagne de marquage 2008 a permis de réaliser une épreuve test en permettant d'aborder en vraie grandeur la contribution globale et les contributions relatives des repeuplements tels qui ont été pratiqués pour la cohorte 2008.

Outre le suivi de la cohorte 2008, une approche complémentaire a été d'analyser les évolutions temporelles des repeuplements et des captures et, dans une moindre mesure, des CPUE..

Historique des déversements d'alevins de truite directement en lac

En ce qui concerne les déversements directs au Léman ils ont été surtout pratiqués avec des alevins nourris (préestivaux ou estivaux). La figure T8 donne une idée des variations quantitatives pour la période 1970-2008.

Par contre il y a eu de fortes variations dans l'origine des alevins repeuplés. Cependant, à partir de 1994, 1993 étant une année transitoire, on peut considérer que les repeuplements directs au Léman sont principalement réalisés avec des estivaux ou préestivaux TL produits à partir de d'œufs issus de géniteurs de truite de lac sauvages (en Suisse) ou pour la France, issus d'un stock TL captif d'origine Aubonne-Promenthouse. Dans cette période, il y a cependant eu des petits lots (3000 à 20000 par an) de 1+ TLS déversés en début mai en zone genevoise du Léman.

Déversements d'alevins en affluents

Affluents suisses

Il y a trois pratiques majeures pour les repeuplements dans les affluents suisses:

a) Des alevins issus d'œufs de TL sauvages (à des stades précoces, juste nourris quelques jours ou semaines) sur affluents suisses.

b) En plus des relachers en affluents avec des alevins lacustres, il y a des pratiques de repeuplement en alevins nourris (préestivaux et estivaux) provenant de stocks de géniteurs fario captifs.

c) En Valais, une part du repeuplement est réalisée avec des souches fario domestiquées ou leur croisement par des mâles capturés en milieu naturel dans des affluents du Rhône amont.

Affluents français

Avant 1998, les repeuplements des affluents français ont été pratiqués avec des alevins à des stades variés (alevins vésiculés, préestivaux et estivaux). Les œufs utilisés étaient surtout issus de souches domestiques ATL provenant de piscicultures très variées. Après plusieurs années de déversements annuels voisins de 1 à 1,5 million d'alevins, il y a eu depuis 1998 une baisse des quantités déversés et une tendance à utiliser (en particulier sur les parties amont) des déversements d'alevins produits à partir d'œufs fournis par un stock captif de géniteurs méditerranéens constitué à partir de géniteurs autochtones sédentaires de la Dranse d'Abondance.

Co-évolution des repeuplements en lac et des captures.

Repeuplements directs au Léman et captures par pêche professionnelle (période 1970-2010).

Les données ne permettent pas de trouver un lien entre les données de captures de TL par pêche professionnelle (année N) et les relâchers globaux de préestivaux et d'estivaux directement en lac (N-3) sur la période des 40 dernières années. Cependant il y a, dans le temps, une inversion du positionnement relatif entre les deux courbes (Fig T8) :

- + position relative supérieure de la courbe des captures (par rapport à celle des repeuplements) dans les années 70.
- + position mélangée des 2 courbes dans les années 80 et première moitié des années 90
- + position relative inférieure de la courbe de capture pendant la deuxième moitié des années 90 et dans les années 2000.

Cette évolution relative (Fig.T8) suggère une évolution dans le temps vers une baisse d'efficacité des repeuplements directs en lac.

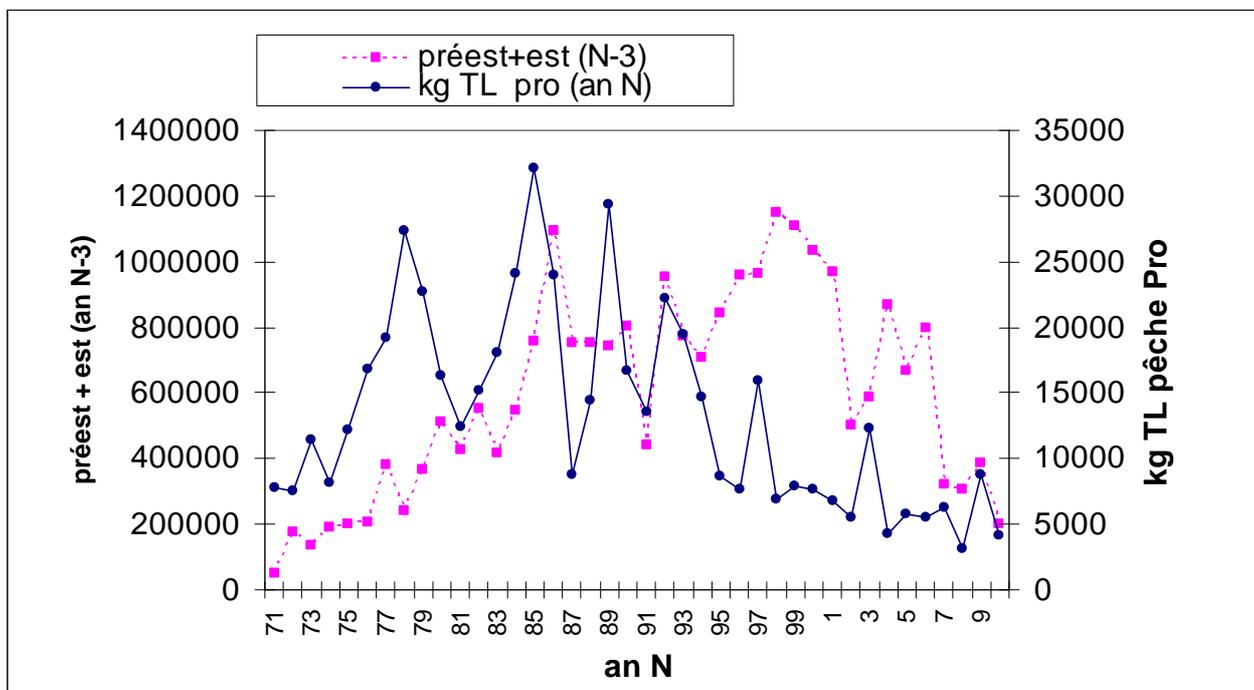


Fig. T8. Captures pondérales de truite de lac par pêche professionnelle l'année N et relâchers de pré-estivaux et estivaux directement en lac l'année N-3.

Caractéristiques des captures.

Les données de captures de truite de lac en lac sont disponibles depuis 1986 dans la pêche amateur comme dans la pêche professionnelle. On a calculé l'évolution du poids moyen annuel des captures réalisées dans la pêche amateur et la pêche professionnelle (Fig T9). Le poids moyen annuel pour la pêche de loisir est stable, voisin de 1 kg dans la période 1996-2010. Par contre le poids moyen des truites dans la pêche professionnelle passe de 1,3 à 2,3 kg dans la même période.

Pour le poids moyen des captures par pêche professionnelle, une hypothèse est l'existence d'une augmentation de la part relative de captures de truite par pêche aux pics comparativement à celle réalisée avec les filets de lève. Une enquête menée auprès de plusieurs pêcheurs professionnels indique pour les années récentes une baisse de l'effort de pêche spécifique (filets de surface) sur la truite de lac en début de saison de pêche.

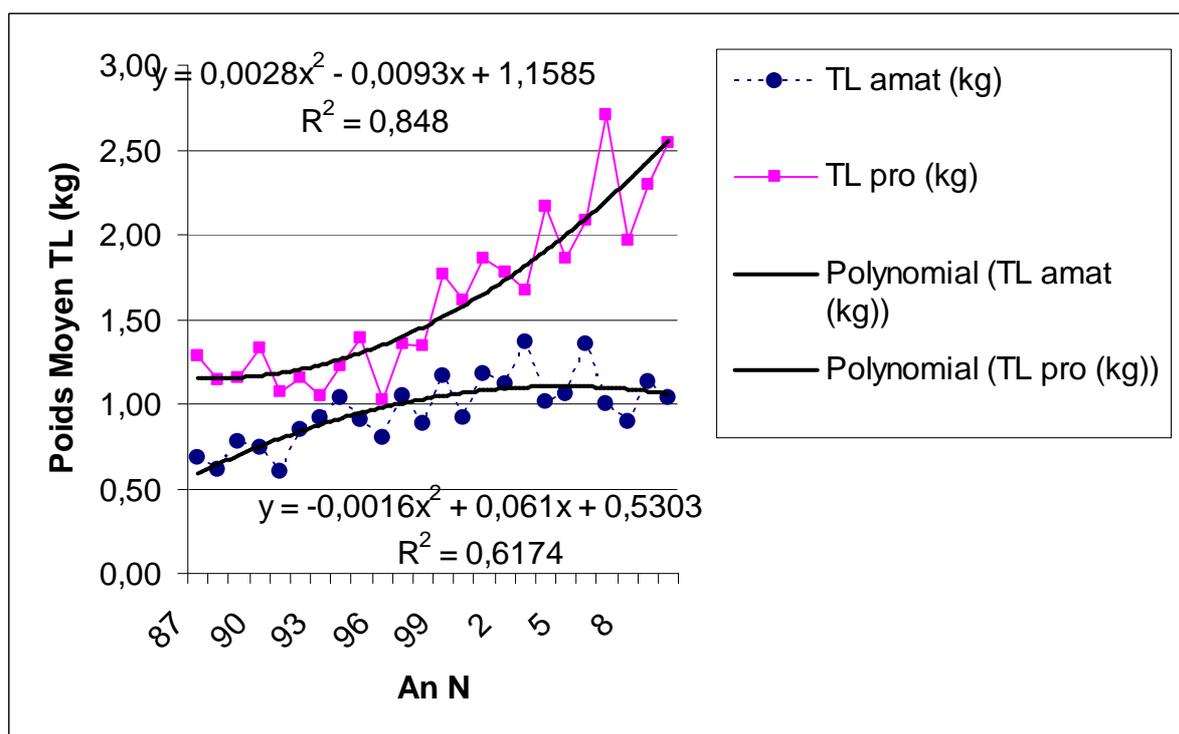


Figure T9. Poids moyen annuel des captures de truite de lac déclarées par la pêche amateur et la pêche professionnelle au Léman dans la période 1986-2010.

Ceci nous a conduit à regarder la période récente (2002-2010) dans le cas de la pêche amateur pour les raisons suivantes :

+ pendant la période 2002-10 le poids moyen annuel des captures par pêche de loisir est stable, voisin de 1 kg (contrairement à celui en augmentation de la pêche professionnelle)..

+ pour la pêche de loisir de la truite, l'effort de pêche est relativement standardisé dans l'espace (en surface) et le temps (début de saison : janvier avril), avec l'utilisation d'un seul type d'engin de pêche (traîne). On peut prendre comme estimateur de l'effort de pêche et de son évolution annuelle le nombre de pêcheurs à la traîne et comme CPUE le nombre moyen annuel de truites capturées par pêcheur à la traîne.

+ hormis le nombre de juvéniles déversés, les pratiques d'alevinage sont stables au cours de la période 2000-2008:

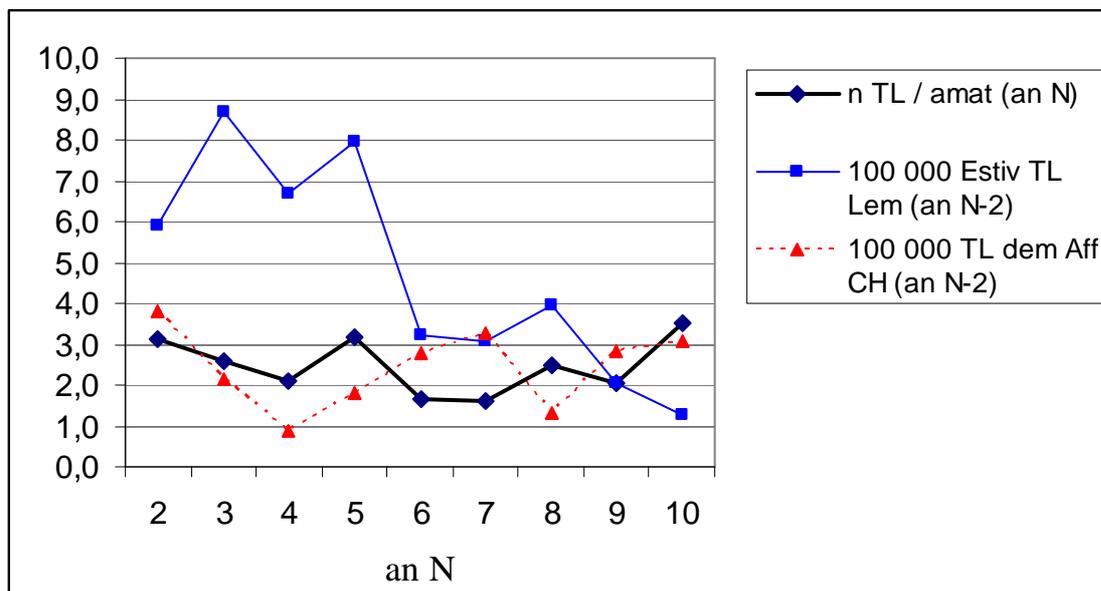
Pratique 1 : déversements directs en lac d'estivaux de truite de lac

Pratique 2 : déversement en affluents CH d'alevins TL juste démarrés

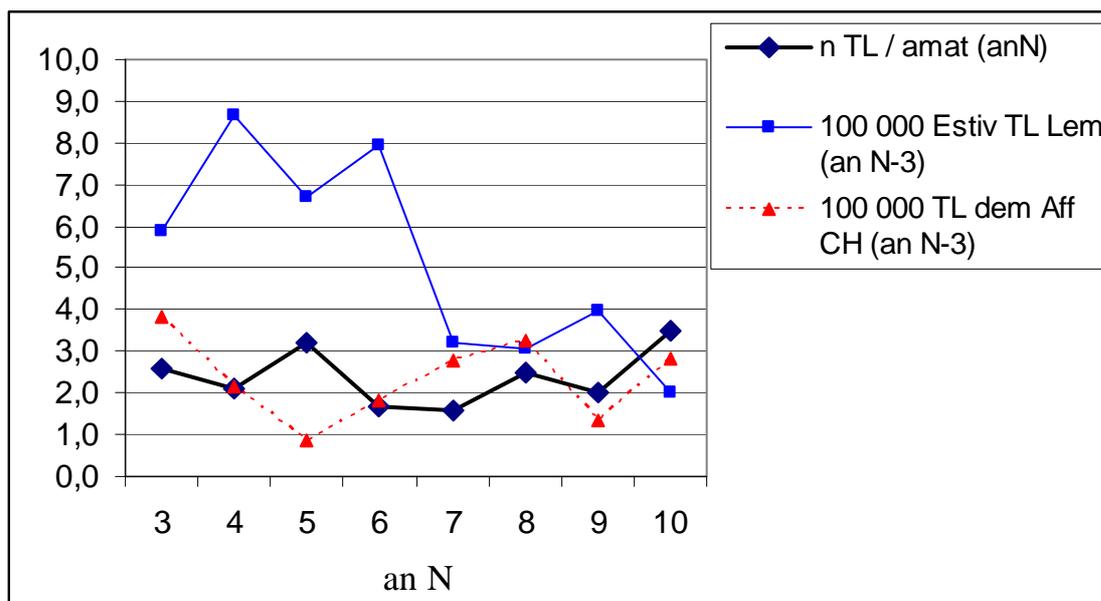
Pratique 3 : déversement en affluents CH de préestivaux de fario domestiques

Pratique 4 : déversement en affluents FR de préestivaux de fario MED issues d'un stock captif sédentaire.

L'étude de la cohorte 2008 ayant montré la faible contribution des pratiques 3 et 4. Ceci nous a donc conduit à examiner l'évolution conjointe de la CPUE amateur (2002-2010) et pratiques 1 et 2 (Fig T10 A- T10 B).



A



B

Figure T10 A et Fig T10 B : Evolution de la CPUE (n TL / Amat / an N pour la période 2002-2010 ; Evolution des déversements d'estivaux TL directement en lac (an N-2 et N-3) ; Evolution des déversements d'alevins démarrés de TL dans les affluents suisses (an N-2 et an N-3).

Pour la période récente (2002-2010) la CPUE est stable de même que les déversements en affluents de TL démarrées déversées soit 2 ans soit 3 ans auparavant et il n'y a pas de corrélation significative. Un résultat majeur est que la CPUE varie relativement peu dans la période récente (2002-2010) alors que les déversements directs en lac 2 ou 3 ans plus tôt montrent une forte tendance à la baisse passant du niveau 600-900 000 au niveau 200- 400 000 (Fig T10A et Fig T10B) au cours de cette même période. Ce résultat confirme l'existence d'une contribution non majeure des relachers d'estivaux directement en lac.

Propositions à discuter : Une première analyse des statistiques suggère la possibilité de prendre comme CPUE truite de lac plus précise, les captures de TL par sortie de pêche amateur à la traîne en début de la saison de pêche (deuxième quinzaine de janvier jusqu'en avril) et en attribuant les « bredouilles » à la pêche de truite à la traîne. En effet, à cette époque, l'effort de pêche à la traîne est majoritairement orienté vers la truite de lac (faible effort de pêche sur l'omble) en relation avec le fait que la fraction immature du stock de truite est facilement accessible car rassemblée en surface en zone pélagique à cette époque.

Les pêcheurs professionnels déclarent leurs prises journalièrement avec, pour la truite, l'omble et le corégone, le poids et le nombre par espèce. Par ailleurs, dans le cas des pêcheurs professionnels français, il existe une case destinée à indiquer journalièrement le nombre de grands pics posés. Or les grands pics capturent outre les corégones, de la truite de lac (du brochet et de l'omble chevalier). Si les indications du nombre de pics posés sont disponibles et qu'il est possible de faire figurer (outre les prises de corégones) les quantités de truite, omble et brochet pêchés avec le nombre de pics correspondant, il deviendrait alors possible d'avoir une CPUE pour chacune des 4 espèces et de plus spatialisée. L'enjeu est donc important pour la connaissance et la gestion piscicole au Léman.

Discussion sur les pratiques de repeuplement et la production naturelle de juvéniles migrants.

Déversements directs en lac (domaine d'intervention de la commission franco-suisse).

Il est fort probable qu'une part importante du résultat final du repeuplement de truite en lac se joue très vite, au moment ou très peu de temps après le relâcher. En effet, à l'inverse de l'omble, les alevins de truite ne plongent pas juste après leur relâcher. Ces alevins sont territoriaux et ils ont besoin d'abris en zone peu profonde, ce qui les rend vulnérables à la prédation (perche, brochet) et aux fortes températures.

La pratique de repeuplement de juvéniles de truites de lac en lac la plus utilisée jusqu'à présent ne correspond à aucune des 3 stratégies migratoires naturelles. En effet les estivaux sont déversés en été alors que l'eau de surface est chaude vis-à-vis des exigences thermiques de la truite. L'habitat littoral est par ailleurs colonisé par la perche, et le brochet, deux prédateurs potentiels importants. L'habitat pélagique n'est pas non plus idéal car il ne correspond pas aux exigences écologiques du stade 0+ qui demande des repérages visuels (milieu fragmenté, comportement territorial). Par ailleurs les alevins ont peu tendance à gagner la profondeur et ils sont soumis aux températures de surface élevées. Une autre hypothèse aggravante est, qu'en lien avec les pratiques répétées de repeuplement, les prédateurs repèreraient mieux les relâchers et exerceraient une prédation plus efficace (phénomène d'apprentissage, dégradation de la faculté d'évitement des prédateurs ?).

Bibliographie : De nombreuses études indiquent que le facteur prédation est un facteur majeur de mortalité en lac. Dans un grand lac finlandais repeuplé en truite Hyvarinen et Huusko (2005) ont montré le rôle majeur joué par la prédation sur la population de truite par un ensemble de 3 prédateurs (brochet, lotte et sandre).

Proposition :

Actuellement on ne dispose pas de synthèses communes (FR-CH) pluri-annuelles des repeuplements de truite pratiqués dans les affluents (CH cantons et FR) au Léman. Il pourrait être évoqué, entre personnes concernées, une réflexion sur la possibilité de recueillir cette information « à moindre coût ».

Optimisation du repeuplement en truite. Pour l'instant on ne peut que proposer de viser la qualité des alevins déversés et des pratiques de déversement qui seraient susceptibles de leurrer les prédateurs potentiels ou de mieux prendre en compte la disponibilité en ressources trophiques (nourriture). On peut penser aux aspects de taille au relâcher, de dispersion spatio-temporelle, d'étalement de la période de relâcher (dans la journée et au cours de la période fin de printemps et été), d'évitement des chocs thermiques. Une meilleure connaissance de la prédation en phase de déversement permettrait d'affiner les pratiques.

Déversements en affluents lacustres

Jusqu'à présent, hormis les travaux de Champigneulle *et al* (2003) et le présent projet franco-suisse il y a eu encore peu d'études sur la contribution du recrutement naturel et des repeuplements pratiqués dans les affluents lacustres vis-à-vis : 1) des captures de truite de lac en lac et 2) des retours de géniteurs de truite de lac en affluent.

Le projet a permis de révéler l'importance du recrutement issu des affluents et la part dominante jouée par le recrutement naturel. Pour ce qui est de la contribution de la composante repeuplée en affluents, il y a une très forte variation dans le taux d'efficacité relative et cela en faveur d'alevins d'origine lacustre sauvages dispersés en affluents au stade d'alevins juste nourris.

Interactions repeuplement et production naturelle de truite de lac. Quelques éléments.

Les repeuplements ont souvent été pratiqués de façon massive et en se préoccupant peu de leurs effets sur le recrutement naturel ni même de leur réelle efficacité halieutique. Le développement de la biologie moléculaire sur les poissons ces dernières années a révélé l'existence de pertes d'intégrité génétique de certaines populations réceptrices suite aux hybridations avec pour conséquence des pertes de certaines aptitudes et ou adaptations à leur milieu.

Dans le cas du Léman, les gestionnaires ont évolué vers l'abandon de relachers de truite domestiques relachées aux stades d'adultes ou de sub-adultes. Ces pratiques de relachers ont le plus souvent été remplacées par des relachers à des stades plus précoces d'estivaux ou de préestivaux avec l'idée d'améliorer la qualité sanitaire au moment du repeuplement tout en augmentant le temps passé en lac jusqu'au stade de capture (image de poisson sauvage préservée) mais en évitant l'aspect aléatoire des relachers en lac au stade d'alevins vésiculés. Deux pratiques nouvelles évaluées sont : 1) en 2008 (présente étude) des alevins TL juste démarrés déversés en affluents CH et 2) des relachers de préestivaux TL (stock captif FR) déversés en bordure de lac FR (marquage de la cohorte 2012).

Le développement de campagnes de marquage a mis en évidence de fortes variabilités dans l'efficacité des diverses pratiques de relacher. Cependant même si le recrutement issu du repeuplement est faible, diverses origines de repeuplement produisent des truites ayant grandi en lac et atteignant le stade de reproducteurs présents en affluents lacustres lémaniques.

Un résultat important de l'étude génétique (Launey *et al.*, 2003) a été de montrer que, globalement pour les principaux affluents du Léman les populations de géniteurs, même si elles sont génétiquement proches les unes des autres (hormis la Dranse ; effet MED) restent génétiquement différenciées des stocks domestiques commerciaux utilisés pour le Léman.

Un nombre croissant d'études (Ryman *et al.*, 1995 ; Einum et Fleming, 2001 ; Ferguson 2006) montrent les effets négatifs de certaines pratiques de repeuplement dans des milieux où préexistent des populations sauvages, autochtones dans certains cas. Des travaux récents (Muhifeld *et al.*, 2009) montrent que les hybridations par des individus non natifs peuvent rapidement altérer les aptitudes de populations sauvages. L'étude de Araki *et al.* (2007) sur la création et l'usage de stocks captifs montre, qu'en peu de générations de domestication, leur capacité de reproduction en milieu naturel peut être affaiblie.

Proposition : Il est de plus en plus crucial que les divers partenaires de la gestion et de la pêche de la truite dans le système Léman-affluents se concertent afin de définir des grands objectifs partagés sur les places du recrutement naturel et des diverses pratiques de repeuplement en prenant en compte les 2 écotypes : lacustre sédentaire et les 2 rameaux évolutif ATL et MED.

La définition d'une stratégie de gestion à moyen terme des populations de truite du système Léman-affluents devient vitale et sa complexité nécessite d'intégrer dans sa définition un praticien de la génétique des populations de poissons.

Hypothèse halieutique

Hypothèse : la conjonction de plusieurs facteurs : biologie, réglementation, contextes d'effort de pêche et de capture iraient dans un sens fragilisant certaines étapes du cycle de vie des populations de truite de lac lémaniques.

Acquis lémaniques :

Profondeur de capture

En 2010 et 2011, sur l'ensemble du début de saison de pêche (janvier à avril), la grande majorité (91,5%) des captures a été réalisée dans les 10 premiers mètres (Profondeur $P \leq 10$ m). Par ailleurs, les captures sont concentrées dans les 2 premiers m en surface. Un petit pourcentage (7,7 %) des captures a été réalisé entre 11 et 30 m de profondeur. Un très faible pourcentage des captures (0,8%) a été réalisé au-delà de 30 m de profondeur. Ces grandes tendances de répartition verticale des captures se retrouvent pour chacun des 4 mois de la période janvier à avril (Tb T2).

Tableau T2. Evolution des profondeurs mensuelles de capture des TL par pêche amateur à la traîne au Léman.

Profondeur (m)	Tot % (n TL)	Janvier	Février	Mars	Avril
(≤ 2 m)	(59,5% (411))	47,1% (171)	81,2% (82)	59,2% (45)	74,8% (113)
≤ 10 m	91,5% (632)	92,3% (335)	87,1% (88)	88,2% (67)	94,0% (142)
11- 30	7,7% (53)	7,4% (27)	9,9% (10)	10,5% (8)	5,3% (8)
31-50	0,8% (6)	0,3% (1)	3,0% (3)	1,3% (1)	0,7% (1)
TOT	100% (691)	100% (363)	100% (101)	100% (76)	100% (151)

Sexe ratio, maturité sexuelle des TL capturées à la traîne dans la période janvier-avril

Sur un échantillon de 386 TL (toutes cohortes) pêchées à la traîne (janvier-avril ; en 2010 et 2011), le sexe ratio est nettement en faveur des femelles (68,4%) et c'est également le cas pour les échantillons regroupés mensuellement.

Pour 48 TL capturées au stade 2+, le sexe ratio est en faveur des femelles (77,1% ; 37/48). Par ailleurs sur un échantillon de 40 TL 2+, toutes sont immatures (14/14 mâles et 26/26 femelles).

Pour 160 TL capturées au stade 3+, la plupart sont des femelles (73,8% ; 118/160). Par ailleurs, pour un échantillon 35 mâles 3+, la plupart (91,4% ; 32/35) sont immatures. Pour un échantillon de 98 femelles 3+, la plupart (94,9% ; 93/98) sont immatures

Ces résultats montrent qu'en début d'année (janvier-avril) il y a en zone pélagique du Léman un rassemblement de truites immatures (2+ et 3+) à dominance de femelles. Le taux plus élevé de femelles est en partie lié au fait que les femelles mûrent généralement à un âge plus avancé que les mâles et que certains mâles sont encore en rivière en début d'hiver.

L'existence d'un fort taux d'immatures dans les captures de TL en début de saison en surface de la zone pélagique est un phénomène habituel de la biologie de la truite de lac au Léman. Des données de terrain anciennes (années 50 et 60...) ont été recueillies par l'INRA sur des captures de TL au filet de lève en fin automne – hiver. Ces données ont été analysées dans le contexte du projet franco-suisse. Cette analyse montre qu'il existait déjà alors un comportement de rassemblement de truites immatures en surface et cela dès le mois de décembre, mois pour lequel on ne dispose pas d'observations récentes.

Structure d'âge dans la pêche amateur en lève (Tb T3)

L'effort de la pêche amateur sur la truite de lac s'exerce principalement en début de saison (janvier à avril). La structure d'âge des captures de début de saison a été évaluée en 2010 et en 2011. L'essentiel numérique des captures par pêche amateur d'une cohorte (année N) se fait sur les 2+ en début de saison (janvier-avril) année N+2 et se finit en début du stade 3+ (année N+3).

Tableau T3 : Structure d'âge des captures de TL en début de saison 2010 et 2011 par pêche amateur au Léman.

Pêche Amateur Janv-avril 2010	Coh 2009	Coh2008	Coh2007	Coh2006	Coh2005	Coh2004
âge	1+	2+	3+	4+	5+	6+
nombre	0	152	127	16	3	0
Pêche Amateur Janv-avril 2011	Coh 2010	Coh 2009	Coh2008	Coh2007	Coh2006	Coh2005
âge	1+	2+	3+	4+	5+	6+
nombre	0	156	299	0	1	0

Taille dans la pêche amateur de lève (Tb T4)

La taille moyenne des TL capturées à la traîne en début du stade 2+ est identique (387 mm) pour les truites issues du recrutement naturel et pour celles issues du repeuplement en TL démarrées.

De même pour les TL 3+ pêchées à la traîne en début de saison, la taille moyenne des TL 3+ issues du recrutement naturel (469 mm) ne diffère pas de celle (475 mm) des TL3+ issues du repeuplement en alevins TL démarrés. Enfin, la taille moyenne des TL 3+ pêchées par les pêcheurs professionnels en fin de saison est de 659 mm.

Tableau T4. taille moyenne des captures de truite de lac par pêche amateur à la traîne en début de saison 2010 et 2011 .

Pêche	période	origine	cohorte	Age (nombre)	LT ± ECTpop (mm)
Amateur traîne	Janv.-avril 2010	Recrutement naturel	2008	Début 2+ (98)	387 ± 29
Amateur traîne	Janv.-avril 2010	Repeuplement TL démarrés	2008	Début 2+ (22)	387 ± 28
Amateur traîne	Janv-avril 2011	Recrutement naturel	2008	Début 3+ (226)	469 ± 71
Amateur traîne	Janv-avril 2011	Repeuplement TL démarrés	2008	Début 3+ (48)	475 ± 73
Professionnel Grand Pic	Juillet-septembre 2011	Recrutement naturel	2008	Fin 3+ (35)	659 ± 76

Taille minimale de capture de la truite de lac ?

La taille minimale de capture actuelle de la truite de lac est de 35 cm de longueur totale. Des données sur la structure en taille des captures de TL réalisées aux grands pics montrent un faible taux de truites de lac mesurant moins de 35 cm. Le maillage des pics (48 mm) respecte bien la taille minimale de 35 cm. Pour les truites échantillonnées, on a systématiquement observé si elles étaient ou non porteuses d'une blessure ancienne à la mâchoire indicatrice d'une capture antérieure par la pêche de loisir. Seul un faible pourcentage était touché. Une taille minimale de capture augmentée à 45 cm pour la truite de lac, conduirait à un pourcentage important de truites à démailler et relâcher, ce qui accroîtrait la mortalité indirecte par pêche.

Les premières données suggèrent d’approfondir la réflexion sur les avantages et inconvénients d’augmenter la taille minimale. On peut cependant indiquer qu’au cours de la période historique des plus fortes captures de TL, la taille était déjà fixée à 35 cm, ce qui n’a pas empêché l’existence de fortes captures pendant 9 années consécutives. Il serait utile d’analyser les effets notés dans des pêcheries de TL ayant augmenté la taille légale de la truite de lac (lacs de Constance, Neuchatel et Annecy).

Une autre question qui se pose aux gestionnaires est de savoir si, avec le niveau actuel du stock, la pêche laisse suffisamment de géniteurs pour saturer la capacité d’accueil en frayères et en juvéniles des divers affluents frayères du Léman. D’après les données (pièges, comptages de frayères) et évolutions suivies dans le cas de quelques affluents du Léman, hormis des fluctuations inter-annuelles normales, il ne semble pas y avoir de tendance généralisée à une baisse des stocks de géniteurs TL fréquentant les affluents du Léman. Un point positif est qu’il y a toujours des géniteurs répartis sur plusieurs classes d’âge et dont certains sont des géniteurs à frais multiples d’après l’analyse des écailles. Plusieurs études montrent en effet l’importance de ce type de géniteurs.

La question de la taille minimale de capture a été examinée lors d’une réunion conjointe des groupes PAP et GRP. L’augmentation de la taille minimale (35 cm actuellement) n’a pas fait l’unanimité compte tenu d’un accroissement potentiel prévisible de la mortalité pour les truites relâchées ne faisant pas la taille minimale légale. En raison des incertitudes actuelles sur sa réelle aptitude à améliorer la situation, il n’y a pour l’instant pas eu de démarche de modification des paramètres de la gestion halieutique.

Captures annexes (by-catch).

Au Léman, le stock de perche est exploité en zone littorale et sub-littorale par un réseau de filets qui peut conduire à des captures non voulues (accidentelles) de truites de petite taille. De même, la pêche avec des pics et la pêche à la traîne capturent parfois de petites truites ne faisant pas la taille légale. Il apparaît difficile d’éviter ces prises involontaires. Lorsque possible on ne peut que recommander de libérer soigneusement ce type de poisson.

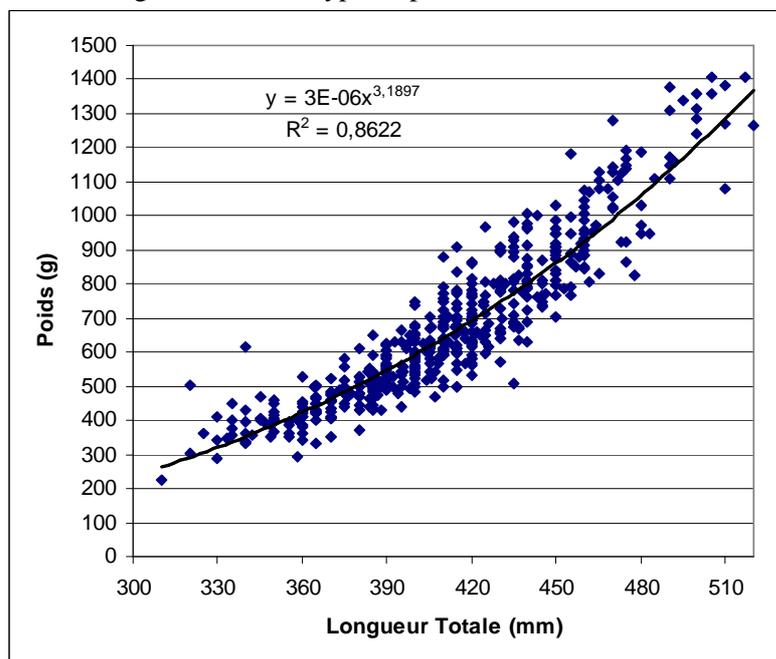


Figure T 11. Relation taille –poids de TL capturées en surface en début de saison de pêche.

FACTEURS LIMITANTS EN AFFLUENTS.

Introduction

Préambule : Une option actuellement discutée au Léman est la possibilité d'une gestion de la truite de lac fondée, autant que possible, sur le recrutement naturel. L'étude FR-CH, en mettant en évidence la part dominante globale du recrutement naturel, indique que cet objectif ambitieux est malgré tout réaliste. Cependant l'option « optimisation du recrutement naturel » nécessite que les principaux facteurs et les points faibles ou forts du recrutement naturel soient identifiés, localisés puis hiérarchisés et autant que possible neutralisés ou amortis.

Certains facteurs de blocage ou de régulation ont été identifiés au cours des diverses phases du cycle biologique de la truite de lac. Ils ont été évalués en prenant en compte le fait que la truite de lac utilise le Léman pour la croissance et les affluents pour la reproduction et pour la production de juvéniles, dévalant en lac et y restant pour la croissance.

Analyse : Des efforts significatifs ont été et sont menés pour maintenir ou accroître la capacité d'accueil des affluents du Léman pour la reproduction et la production de juvéniles de truite de lac (passes à poissons, renaturation, lutte contre les pollutions...). Par ailleurs les zones aval et moyenne des affluents accessibles aux géniteurs de truite de lac sont généralement colonisées par un contingent conséquent de géniteurs lacustres. Les conditions apparaissent en premier abord réunies pour permettre potentiellement un important apport d'œufs. Néanmoins, pour que les populations de truite de lac soient fonctionnelles, il faut avoir en plus 1) une bonne survie au cours des stades embryonnaires (incubation des œufs, résorption de vésicule), 2) une bonne production de juvéniles dévalant, restant en lac en nombre suffisant pour saturer la capacité d'accueil du Léman pour la truite et fournir un bon niveau de captures (vis-à-vis des statistiques historiques) tout en laissant un nombre de géniteurs suffisant pour boucler le cycle de vie dans un maximum d'affluents.

Proposition : Une information importante est celle de mieux connaître le potentiel reproducteur, c'est-à-dire mieux évaluer le taux de fréquentation des géniteurs TL dans les principaux affluents-frayères du Léman. Pour cela on peut préconiser de rassembler et analyser les données et informations déjà acquises (actuelles et passées ; documents spécifiques CIPEL) sur la reproduction des TL: 1) au niveau des pièges à géniteurs TL (Aubonne, Dranse, Boiron de Morges, 2) comptages et localisation des frayères de TL sur certains affluents.

L'étude FR-CH suggère que le recrutement naturel est globalement majoritaire dans la pêche de TL en lac et au stade de géniteurs 3+. Cependant on ne sait pas si cela est le cas ou non de l'ensemble des affluents qui sont nombreux (une vingtaine au Léman). Il serait donc judicieux de faire un échantillonnage de géniteurs 4+ morts en post-frai 2012 sur un plus grand nombre d'affluents pour évaluer le taux de 4+ non marqués. Par ailleurs cette même opération pourrait permettre l'évaluation (toutes classes d'âge confondues) des femelles mortes avant la reproduction (cf ci-dessous).

Ces éléments permettront de savoir comment améliorer la répartition spatio-temporelle de la reproduction des TL dans les affluents lémaniques.

Mortalités en affluents de femelles TL avant leur reproduction.

Acquis lémaniques : La mortalité en post-frai de certains géniteurs TL est un phénomène naturel. A l'inverse, la mortalité de femelles ovulées avant le dépôt des ovules est anormal. Or, une partie des cadavres de géniteurs TL trouvés morts en affluents (Morges, Bief, Venoge, Foron de Sciez, Redon) a été examinée (mesure de la taille, détermination du sexe) lors du frai 2011 (échantillons ONEMA-et INRA) pour rechercher la présence de géniteurs marqués. Lors de ces échantillonnages, une partie des cadavres de femelles (42 individus) a été ouvert afin d'évaluer l'état des ovaires. Un tiers des femelles échantillonnées (14/42 soit 33,3%) étaient mortes sans avoir pondu la totalité de leurs ovules : 10 rétentions totales et 4 rétentions partielles.

Bibliographie : Une recherche bibliographique a alors été menée permettant de recueillir des données sur des saumons du Pacifique en Amérique du Nord (Quinn *et al.*, 2007 ; Feist *et al.*, 2011 ; Hinch et Martins, 2011 ; Spromberg et Scholz 2011 ; Scholz *et al.*, 2011). Des études récentes (Scholz *et al.*, 2011) mettent en évidence, avant le frai, des comportements anormaux (nage erratique, perte d'équilibre) de géniteurs de Saumon coho dans des rivières urbanisées. Après ces comportements, les géniteurs meurent en quelques heures. L'ouverture des carcasses de femelles montre parfois des taux élevés (>90%) de rétention d'ovules. Une hypothèse explicative est que les eaux urbaines et routières apporteraient un ou plusieurs micropolluants toxiques (non déterminés) en particulier en période de lessivage des zones urbaines et routières par de fortes pluies. Le suivi de plusieurs rivières montre des taux de mortalité précoce (avant la reproduction) supérieurs en rivières urbanisées (60-100 %) comparativement aux rivières non urbaines (<1%). Des cartes de risques ont pu être établies en lien avec l'occupation des bassins versants (Feist *et al.*, 2011). Des premiers modèles ont été réalisés dans la gamme 20-90 % de mortalité pré-reproduction. Dans certains cas extrêmes, l'extinction de certains stocks de saumon coho pourrait être très rapide (8 ans) (Spromberg et Scholz (2011). Ces auteurs signalent néanmoins la possibilité de colonisations naturelle partiellement compensatoires à partir de géniteurs issus de rivières proches moins touchées.

Ce type de phénomène liant urbanisation, hydrologie et climatologie pourrait être une des hypothèses explicatives des mortalités observées dans certains affluents lémaniques en décembre 2011. Il y a eu une période sèche et chaude suivie de fortes pluies. Des contacts pris en Suisse (Porchet et Cavalini, comm.person.) indiquent que des femelles TL mortes sans avoir frayé avaient également été trouvées lors du frai 2011 sur l'Arnon (7 ind.) et sur la Mentue (4 ind.) qui sont deux affluents du lac de Neuchâtel qui ont pu être soumis à la même climatologie.

Propositions : Les données de mortalité de TL en pré-reproduction recueillies sur le bassin lémanique sont encore préliminaires. Il sera donc utile de faire de nouvelles observations de cadavres en post-frai 2012 et 2013. Ces données permettront alors de juger sur l'importance d'une prise de ce facteur sur la fonctionnalité des populations de TL lémaniques.

Gène à la migration des géniteurs TL

Des obstacles ont été construits dans certains affluents du Léman gênant ainsi la migration des reproducteurs de TL de façon permanente ou intermittente. Il s'en suit une répartition non optimale des œufs de TL et des productions de juvéniles de TL.

Par exemple, l'accès des géniteurs TL au Haut-Rhône est empêché par la présence du barrage de Lavey, mais il est prévu de restaurer une franchissabilité vers l'amont pour les géniteurs TL. On peut rappeler ici l'importance qu'il y a également à rendre possible la dévalaison des géniteurs TL survivant en post-frai et celle des juvéniles migrants en lac.

Les trois branches amont des Dranses ont été rendues inaccessibles par des ouvrages hydroélectriques infranchissables. Cependant l'accès au cours principal de la Dranse a été rétabli dès sa partie aval (seuil de Vongy) par la réalisation d'une passe. Par ailleurs des actions (contrôle du régime hydraulique, amélioration de la qualité d'eau via des stations d'épuration en amont) sont menées en vue d'améliorer la qualité du cours des Dranses.

Evolution de traits de vie au stade de géniteur

Hypothèse : Les truites de lac auraient évolué dans leur écologie et modifié certains de leurs traits de vie. Cette hypothèse est abordée en affluents en retraçant des caractéristiques de l'écologie et du cycle de vie de la truite de lac et en comparant des données actuelles à celles passées.

Acquis lémaniques :

Caractéristique de la reproduction

Dans le milieu des années 80 (reproduction 1983-84-85) (Champigneulle *et al.*, 1988) les frayères de TL commençaient à être creusées en début décembre. Le taux de 50% des frayères creusées était atteint vers la mi-décembre (15 au 20 décembre selon l'année). Le taux de 90% des frayères creusées était atteint vers le 10 janvier. A cette époque, le frai de la truite sédentaire était plus précoce que celle de la truite lacustre. Dans le Redon aval en zone de sympatrie TL-TS, en début des années 80, la densité de frayères de truite TS était de 2-4 frayères / 1000 m²).

Lors des reproductions plus récentes (1998-99-00-01), les creusements de frayères ont été plus étalés dans le temps avec, en particulier, des creusements précoces de frayères TL, courant octobre ou début novembre. Par ailleurs, des creusements de frayères TL ont été observés jusqu'au cours de la première quinzaine de février. Par contre on n'observe quasiment plus de frai de truites sédentaires sur les zones de frai à TL. La densité de frayères de truites sédentaires creusées dans la zone de sympatrie TL-TS du Redon s'est effondrée (<0,5/1000m²).

Caractéristique des géniteurs sur un affluent pilote

Les caractéristiques des géniteurs de truite de lac remontant frayer dans le Redon ont été comparées pour deux périodes : 1983-85 (période antérieure avec de fortes captures de TL en lac) et 1999-2000 (période récente de plus faibles captures de TL en lac) (Tb T5). Pour les deux sexes, les géniteurs sont plus vieux dans la période plus récente 1999-2000 qu'au cours de la période 1983-86 (Tb T5). Il y a une baisse du taux de finnoks, c'est à dire de truites ayant eu seulement un court séjour en lac (pas d'hiver passé en lac, juste une belle saison de croissance) avant la reproduction. La baisse est notée à la fois chez les mâles (14 % de finnok comparativement à 48%) et chez les femelles (5% de finnok comparativement à 27%).

Tableau T5. Evolution de traits d'histoire de vie des géniteurs de truite de lac du Redon

Période	sexe	Age Total			Année(s) croissance type rivière en %		Taux de finnok (%)
		1+	2+	>2+	1 an	2ans	
1983-86	M	41	31	27	68	32	48
1999-00	M	2	24	74	41	59	14
1983-86	F	7	26	67	38	62	27
1999-00	F	0	14	86	49	51	5

Proposition : Revisiter des expérimentations anciennes en utilisant la génétique pour comparer les différents types de géniteurs ainsi que ceux frayant à différent moment de la période de reproduction.

Mortalités aux stades embryo-larvaires et alevins.

Débats extrêmes

Préambule : Les stades précoces (dans la frayère : œufs jusqu' à l'émergence des alevins en fin de résorption de vésicule) puis début de vie en eau libre avec alimentation externe sont des stades très sensibles aux crues et aux étiages.

Acquis lémaniques : Le changement climatique peut contribuer à l'aggravation des destructions de frayères et donc des mortalités aux stades fragiles embryo-larvaires en augmentant la fréquence de fortes crues en fin automne et en hiver. De telles situations sont générées par des épisodes neigeux suivis de fortes pluies au cours de l'hiver quand les œufs et alevins vésiculés sont encore dans les frayères. La destruction de frayères de TL a été observée dans plusieurs affluents du Léman. Par ailleurs des données quantitatives ont été évaluées en fin 1995-début 1996 lors de la fraie d'une population de TS de la Dranse d'Abondance pour laquelle 36 % des frayères ont été totalement détruites lors d'une crue de fonte des neiges en fin décembre 1995 (Champigneulle *et al.*, 2003 b). A l'inverse, il peut également y avoir des mortalités par exondation des frayères peu profondes et lorsque les œufs et alevins vésiculés non mobiles ne peuvent pas s'échapper.

Cas spécifique des mortalités d'alevins en aval de certains aménagements hydro-électriques (ex Dranse)

Plusieurs affluents du Léman (Rhône-amont, Dranse, Aubonne...) potentiellement importants pour la truite de lac ont été équipés d'ouvrages hydroélectriques pénalisant durablement le cycle biologique de la truite de lac.

Analyse.

Point 1. Les fortes fluctuations de niveau d'eau en aval d'ouvrages hydro-électriques peuvent conduire à des mortalités en particulier en période d'incubation-résorption, début de nourrissage et au stade d'alevins de moins de 6 cm (échouages).

Biblio. : des travaux menés en Scandinavie (Halleraker, 2003) indiquent la possibilité de diminuer les mortalités par échouage pour les alevins de moins de 6 cm en ralentissant la vitesse de baisse du niveau d'eau jusqu' à 10-20cm /heure et en pratiquant la baisse de nuit.

Point 2 : Le cours principal de la Dranse a un potentiel limité en zones classiques de frai (type radier stabilisé) et de production d'alevins aux stades précoces.

Proposition : en relation avec des spécialistes du transport solide, évaluer la possibilité d'accroître la surface de zones de frai stabilisées (radiers résultant de pièges à sédiments).

Point 3 : Il existe une fraction de la population de la Dranse effectuant son cycle dans la partie basse de la rivière, en aval de la passe à poissons de Vongy. La zone de frai est surcreusée et soumise à un impact destructeur fort des crues et à des exondations. Une partie des œufs ou des géniteurs impliqués liés à ce site apparaissent mal valorisée. Ceci est-il la conséquence de difficultés de franchissement du seuil de Vongy ? Est-ce qu'il s'agit d'un phénomène de homing stabilisé ?

Propositions :

+ tenter de mieux comprendre le fonctionnement (comportement des géniteurs, frai, localisation spatiale des frayères –frais profonds ?, exondation, migration précoce de dévalaison, densité en 0+ dans les radiers en aval du Pont de Vongy...) de la zone juste aval du seuil de Vongy qui concentre sur une trop faible surface une part importante des frayères de la Dranse. Des suivis par radiopistage permettraient de mieux comprendre la dynamique et le pourquoi de cette accumulation de géniteurs en aval du seuil. De cette étude pourrait émerger des possibilités de mieux valoriser une probable grande quantité d'œufs et alevins vésiculés.

La dynamique de production des juvéniles de TL est encore mal connue et en particulier les facteurs de disparition : mortalité et/ou dévalaison. Par ailleurs on connaît peu de choses sur les flux de dévalaison en lac (période, quantités, stades, origines, génétique, déterminisme...) et sur les caractéristiques des dévalants. Un projet est en cours (Caudron com. Person.) pour répondre à ces questions. Il utilise une approche originale associant : 1) dynamique de population, 2) marquage individuel détectable par antenne mobiles et fixes ; 3) contamination par la PKD.

Pathologies des juvéniles en affluents.

Préambule : Dans les études de dynamique des populations, le facteur pathologie a été souvent sous-estimé alors qu'il peut jouer un rôle majeur, notamment dans les populations soumises à repeuplement.

Hypothèse : Certaines maladies/pathologies conduiraient à des mortalités venant affaiblir les populations de truite de lac dans le système Léman-affluents.

Acquis et nouvelles suspicions lémaniques : L'existence d'une pathologie parasitaire (PKD = Proliferative Kidney Disease) a été mise en évidence sur des alevins 0+ de truite dans plusieurs rivières suisses et davantage sur celles de plaine que celles situées plus en altitude (Projet Fischnetz). Cette parasitose influe le recrutement en touchant les alevins de l'année (Schager *et al.*, 2007). Elle passe par des bryozoaires. La maladie se déclenche généralement lorsque la température de l'eau dépasse 15°C pendant 3 semaines consécutives. L'eutrophisation des rivières est un facteur aggravant.

Seul le stade 0+ de truite est touché par la parasitose et les 0+ qui en réchappent sont immunisés. La maladie peut provoquer des mortalités pouvant atteindre 90%. Les reins apparaissent gonflés et/ou granuleux du fait de la présence de nodules (plus clairs).

En ce qui concerne le bassin lémanique, des symptômes de cette la maladie ont déjà été trouvés dans des affluents suisses (Venoge, Versoix, Boiron de Morges).

En octobre 2010, dans le cadre du projet franco-suisse, 4 affluents français ont été investigués. Dans 3 d'entre-eux (Redon, Foron de Sciez et Pamphiot) des taux notables de plus de 80% de truites porteuses des symptômes de la PKD indiqués ci-dessus ont été trouvés (Tb T6). Par contre on n'a pas observé d'alevins porteurs de ces symptômes dans la Basse Dranse, rivière plus froide que Redon, Foron et Pamphiot. Il faut cependant être prudent car des alevins ne présentant pas de symptômes peuvent également être porteurs du parasite (Whali, comm. person.).

En 2011, dans le contexte d'un projet sur la dynamique des juvéniles de truite dans le Redon et le Foron de Sciez, un programme d'échantillonnage plus important a été mené (Caudron, Comm. perso.) de juin à septembre 2011 afin de mieux cerner la contamination et l'impact de la PKD. Au cours de ces échantillonnages on a observé la présence de cadavres de 0+ dans le Foron de Sciez.

Tableau T6. Présence de symptômes de PKD sur des alevins 0+ de truite échantillonnés en octobre 2010 dans 4 affluents français du Léman en zone fréquentée par les géniteurs de truite de lac.

AFFLUENT	N (nombre) 0+ échantillonnés	Symptômes de PKD	
		Absents sur n alevins (%)	Présents sur n alevins (%)
DRANSE	26	26	0 (0%)
FORON	23	4	19 (83%)
REDON	29	4	25 (86%)
PAMPHIOT	8	0	8 (100%)

Une question restant posée est de savoir si le cycle parasitaire de la PKD peut se boucler en zone littorale lacustre et dans certaines piscicultures produisant l'alevinage (truite et omble) du Léman. Une autre menace serait le développement *in situ* de bactérioses à *flavobacter psychrophillum* qui peuvent toucher les alevins de truite. C'est une maladie d'eau froide (3 à 15 °C) qui peut provoquer des mortalités massives tant en milieu naturel qu'en pisciculture (Bernadet *et al.*, 2007). Or il peut être difficile de maîtriser certaines souches de cette bactérie.

Propositions : Il serait souhaitable de faire une recherche de la PKD non seulement en rivière mais en lac et également au niveau des piscicultures impliqués dans la production d'alevins de repeuplement pour le Léman. Il semble désormais nécessaire d'intégrer le paramètre PKD pour mieux comprendre la dynamique des populations et mieux gérer la truite dans le bassin lémanique. Des premières études CH intègrent ce paramètre PKD dans le domaine de la dynamique des populations de truite.

Dévalaisons en lac

Préambule : On connaît encore mal les périodes et surtout les flux quantitatifs de juvéniles dévalant (période, stade de vie, nombre...) au Léman. Dans le cas de la truite de lac, à la différence de la truite de mer, il n'y a pas de barrière liée à la salinité. Les modes (stades, périodes) de dévalaison en lac peuvent donc être plus diversifiées.

Acquis lémaniques : Parmi les stades de dévalaison identifiés au Léman, il y a :

+ des dévalaisons de 0+ et 1+ de la mi-automne au début de l'hiver, au moment de la remontée des géniteurs.

+ en avril-mai des dévalaisons de truitelles de pratiquement un an, deux ans plus rarement 3 ans et présentant une apparence smoltifiée (argentée) liée à la présence de dépôts de guanine. L'apparence argentée des smolts permet une protection visuelle contre les prédateurs.

+ des dévalaisons plus précoces sont suspectées.

Propositions :

+ tenter de mieux caractériser les flux de dévalaison de juvéniles entre les affluents et le Léman. Plus globalement mieux évaluer les facteurs explicatifs des taux de disparition (mortalité et dévalaison). Par exemple, coordonner sur quelques rivières FR et CH des opérations standard de pêche électrique de sondage en avril au moment de la descente des smolts de truites de lac.

+ On ne peut exclure l'existence de dévalaisons très précoces (à des stades <5cm) non marquables individuellement. Ces dernières pourraient être détectées par un piégeage de dévalaison pratiqué en aval d'un affluent pilote et dans le Léman en zone de bordure de part et d'autre de l'embouchure. IL est donc utile de mener des études sur les dévalaisons de juvéniles en complément à celles menées sur les remontées d'adultes. De nouvelles techniques de marquage individuel peuvent permettre des avancées significatives dans ce domaine (Caudron et Vatland, données non publiées). Des connaissances pluridisciplinaires (écologie, génétique, comportement, pathologie...) sont nécessaires en lac et en affluents si l'on souhaite mieux comprendre le cycle vital de la truite de lac.

+ une hypothèse à évaluer serait qu'une partie de la disparition estivale des 0+ serait en fait une mortalité due à la PKD (Caudron et Vatland, com. Person.). En complément il serait utile de savoir si la mortalité par PKD touche préférentiellement les 0+ à plus forte croissance. Si c'était le cas et s'il y avait une dynamique d'accroissement de la PKD cela pourrait contribuer à expliquer la forte baisse des finnock.

FACTEURS LIMITANT EN LAC

Passages en lac (zone littorale) des juvéniles

Préambule : du fait même de la détection de plusieurs stades et périodes de dévalaison on peut déduire qu'il y a plusieurs contextes de passage en lac en fonction du stade de vie et de la taille, de la période, des conditions thermiques et trophiques, et des contextes de prédation en date et lieu du passage et du début de vie lacustre.

Hypothèses : Dans la zone littorale et sub-littorale, les juvéniles de truite sont confrontés à une prédation par la perche et par le brochet. La prédation par la perche serait par ailleurs accrue dans les périodes d'abondance de perches de grande taille, ce qui est le cas actuellement (Gillet, com. Person). Le brochet grâce à son habitat diversifié et sa très large gamme de taille exercerait une prédation très efficace car pratiquée dans une large gamme de milieux (y compris au delà de 5-10 m de profondeur dans le cas du Léman), de stades de vie et de tailles de la truite. Il y aurait donc des contextes de passage en lac où les juvéniles migrants pourraient être soumis à la prédation efficace d'un binôme de prédateurs : perche-brochet.

Malgré les effets positifs de la réoligotrophisation du Léman, le domaine vital de la truite de lac en lac aurait subi des modifications en liaison avec des effets liés au réchauffement climatique, à la dynamique des masses d'eau et aux changements trophiques. Ces évolutions auraient fait baisser la capacité d'accueil du Léman pour la truite de lac ou certains de ses stades de vie.

La truite est une espèce d'eau moyennement froide (température tolérée: entre 2 et 19°C en milieu rivière; optimum de croissance vers 14°C). Depuis 1970 la température moyenne annuelle du Léman à 5 m de profondeur s'est accrue de près de 1,5°C (CIPEL, 2006). Il est donc probable que les stades juvéniles de truite en zone littorale peuvent être affectés par le réchauffement, notamment en période estivale. En effet le réchauffement fait baisser la capacité d'accueil de l'habitat de bordure alors qu'il est favorable pour la truite sous les aspects de diversification (pierriers, macrophytes...) et de faible profondeur.

Parmi les évolutions en phase de réoligotrophisation il y a le retour des characées en lien avec la baisse du phosphore. Le redéveloppement des characées offre des substrats de ponte au brochet. Par ailleurs, plus globalement, il y a un accroissement de la diversité en macrophytes et leur extension plus en profondeur : jusqu'à 12-13 m actuellement contre 6-8 m en milieu des années 90 (Cipel). Cette évolution des macrophytes est favorable car elle procure des abris vis-à-vis des prédateurs et puisqu'elle fournit des supports de frai et de nourriture.

L'étude FR-CH a montré que les truites sub-adultes en croissance se localisent en surface ou à proximité (0-10 m) de la surface en début d'année. Elles colonisent ensuite des couches d'eau plus profondes au niveau ou à proximité de la thermocline. La truite de lac ne colonise généralement pas les couches d'eau lacustres au delà de 30 m de profondeur.

Propositions :

- + en couplage avec les suivis de dévalaison, prospecter les habitats littoraux lacustres de part et d'autre des embouchures pour détecter et préciser le cas échéant, en couplage avec les suivis de juvéniles en affluent, la dynamique de disparition en affluents/dévalaison/ et colonisation lacustre.

- + évaluer le devenir de préestivaux marqués de TL repeuplés précocement en zone littorale lacustre (étude en cours sur la rive française du Léman et au lac du Bourget avec pour ce dernier une comparaison avec des déversements précoces en affluent).

- + évaluer l'éventualité d'une contamination par PKD des truites 0+ en milieu lacustre littoral. En effet en zone littorale il peut y avoir : une température dépassant 15 °C pendant 3 semaines, la présence de bryozoaires. Cette éventualité n'est pas exclue mais reste à démontrer.

- + Dans le cycle de vie naturel de la truite de lac, la phase de passage en lac et de début de vie lacustre des divers stades de juvéniles concernés est mal connue. L'amélioration des connaissances dans ce domaine est susceptible d'améliorer les pratiques de repeuplement.

- + en final il reste à mieux comprendre le rôle des zones de bordure, des zones littorales et sub-littorales. L'usage de différentes techniques de marquage, voir de radiopistage serait à examiner.

Ecotoxicologie générale (Lac et affluents)

Préambule :

Les systèmes lacs-affluents et les torrents ont connu et connaissent de fortes évolutions liées à leur dégradation et/ou restauration. L'analyse et le suivi de ces évolutions ont conduit ou conduisent à un fort développement des analyses d'eau avec une évolution vers un plus grand nombre de molécules et composés analysés. Les gestionnaires piscicoles font parfois le constat, soit de fortes fluctuations, soit même d'effondrements de certaines populations de poissons sans pouvoir trouver d'explications. On ne peut plus exclure les aspects écotoxicologiques dans les diagnostics piscicoles.

Analyse bibliographique confrontée aux données lémaniques

Dans le cadre de la présente étude une recherche bibliographique a permis de rassembler l'essentiel de ce qui était connu et/ou suspecté des effets indirects de certains micropolluants sur les poissons. Il nous est donc apparu utile de revenir aux caractéristiques, au fonctionnement et aux rôles des organes des sens (autre que la vue) chez les poissons (en particulier l'olfaction : via les fossettes olfactives, l'audition via les otolithes et la ligne latérale).

Perturbations olfactives

Acquis bibliographique :

Chez de nombreuses espèces de poissons le sens de l'odorat est très développé et il a une importance majeure pour de nombreux aspects de leur biologie et de leurs comportements. Or les lobes olfactifs sont directement exposés à l'eau ambiante. Ils sont donc potentiellement très fragiles vis à vis de certains micropolluants ou cocktail de micropolluants. Des travaux (Scott et Slowman, 2004 ; Tierney *et al.*, 2010) montrent que divers micropolluants seuls ou en mélange (pesticides, métaux...) peuvent altérer très significativement l'odorat de certains poissons et cela parfois rapidement et à des doses qui peuvent être rencontrées *in situ*.

Les conséquences néfastes peuvent se manifester à de nombreux niveaux pour lesquels l'odorat est impliqué, parmi lesquels:

- + l'aptitude à échapper aux prédateurs (substances d'alarme)
- + le comportement de banc (quand il existe)
- + la recherche /sélection de sites de fraie en lac ou en rivière (mémorisation du site de+ fraie ou reconnaissance de phéromones).
- + appariements reproducteurs et donc impact génétique
- + recherche /sélection/capture de nourriture.
- + modification des équilibres inter et intra-populationnels.

Hypothèses :

Les perturbations olfactives pourraient être un facteur affectant la survie des poissons en système naturel lac –affluents. Par exemple elles pourraient être un facteur aggravant le niveau de prédation sur divers stades de vie.

Dans un autre domaine, celui du repeuplement, plusieurs auteurs ont montré que les souches domestiquées avaient une plus faible survie en milieu naturel, le facteur « effets néfastes de la domestication » étant souvent évoqué. On ne peut pas exclure qu'une partie de la mortalité soit dans certains cas la conséquence de perturbations olfactives. En effet, en élevage on utilise des produits de traitements à des fins préventives ou curatives, parfois de façon répétée et à fortes doses. Il n'est donc pas exclu que certains d'entre eux aient un impact sur l'intégrité olfactive. Le domaine des diverses atteintes à l'intégrité olfactive reste encore à explorer en ce qui concerne son impact sur la dynamique et la fonctionnalité des populations et des peuplements piscicoles.

Jusqu'à présent l'impact des micropolluants a encore peu été abordé sous l'angle de l'olfaction probablement parce que l'on dispose encore que de peu de moyens simples de mesure de la capacité olfactive. Les électro-olfactogrammes sont encore peu utilisés en ichthyologie. Des tests comportementaux peuvent parfois être utilisés.

Perturbations auditives

Acquis bibliographiques :

Chez les salmonidés, le sens de l'audition et l'équilibre sont assurés par les otolithes et la ligne latérale.

De l'analyse bibliographique, il ressort que l'audition contribue à la détection et à l'évitement des prédateurs ainsi qu'à certaines autres aptitudes et comportements (par exemple, lors de la reproduction). Or il peut y avoir des modifications des otolithes et/ou de la ligne latérale conduisant à des perturbations auditives. Plusieurs études (Carreau *et al.*, 2005 ; Hernades *et al.* 2006 ; Tifany *et al.*, 2006) montrent par exemple que des doses sub-létales de cuivre dissous détruisent les neuro-recepteurs (neuromasts) de la ligne latérale.

Le carbonate de calcium imprégnant la trame organique de l'otolithe est de l'aragonite (apparence blanche, non transparente) « blanc crémeux » pour les otolithes normaux. Il peut exister des otolithes dits anormaux (ou cristallins) présentant une zone périphérique où l'aragonite est remplacée (plus ou moins précocement) par de la vatérite, plus transparente et moins dense que l'aragonite. Des auteurs (Oxman *et al.*, 2007) ont récemment indiqué que les conséquences peuvent être une perte d'audition avec pour effet indirect une plus grande susceptibilité à la prédation. Selon Coffin (2009) la présence d'otolithes en vatérite aurait un effet négatif sur des juvéniles de saumon chinook.

Quant aux causes avancées, la plus communément citée est un effet de stress (Bronte *et al.*, 1999). Or Pikerling (1989) a montré que les stress environnementaux provoquent des mortalités chez la truite, notamment via la susceptibilité à certaines pathologies.

Acquis lémaniques : Pour un échantillon de 698 TL ayant eu les 2 otolithes d'examinés :

- + 9,9% (69/698) avaient les 2 otolithes anormaux
- + 17,8% (124/698) avaient un otolithe anormal et l'autre non.
- + 27,7% ((124+69)/698) avaient 1 ou 2 otolithes anormaux.

Une étude plus fine a été réalisée pour les TL de la cohorte 2008 et dont les 2 otolithes ont été examinés. Un résultat important a été mis en évidence. Le taux de TL avec 1 ou 2 otolithes anormaux est significativement plus élevé (56,3 %) pour les TL issues du repeuplement en alevins démarrés que celui (22,2 %) des TL non marquées issues du recrutement naturel (Tb T7).

Proposition : rechercher l'éventuelle existence d'une variation du taux de prévalence d'otolithes anormaux en fonction de divers milieux ou origines de truites.

Tableau 7 .Capture de truites de lac de la cohorte 2008. TL dont les 2 otolithes (sagittae) ont été extraits et classés en normaux (aragonite) et anormaux (vatérite)

Marquage ARS repeuplement	Origine de recrutement	n TL coh 08 2 otolithes normaux (aragonite)	n TL coh 08 1 ou 2 otolithes anormaux (vatérite)	Total N
0 (pas de marquage)	Recrutement naturel	246	70 (22,2 %)	316
ARS 2 pm	Repeup. :Alevins TL dém. affluents CH :	31	40 (56,3 %)	71

On ne peut exclure une aggravation de l'impact de la prédation par le brochet en lien avec une plus importante susceptibilité provoquée par des perturbations olfactives et auditives.

Propositions :

Parmi les hypothèses à explorer il y a l'éventuelle existence de perturbations olfactives et/ou auditives en lien avec certains micropolluants, voir même en lien avec certains traitements sanitaires sur les juvénile de piscicultures. Elles pourraient agir défavorablement en facilitant et en aggravant la prédation. Une possibilité serait de confronter les données d'analyses d'eau pour tel ou tel micropolluant sur tel ou tel site du système lémanique aux valeurs de la littérature indiquant une perturbation auditive ou olfactive. Ceci est devenu possible grâce à plusieurs synthèses récentes présentant des tableaux sur l'impact de micropolluants sur des perturbations (olfactives, auditives, comportementales, immunodépressives, physiologiques...) qui ont été rassemblées.

Prédation en lac

Préambule : La question principale posée était de savoir si l'évolution à la hausse de la population de brochet, seule ou éventuellement aggravée par un autre prédateur ou par des perturbations sensorielles (olfaction et audition) aurait eu des répercussions négatives sur la population de truite de lac et ses captures au Léman.

Bibliographie : Une recherche bibliographique a été réalisée. Plusieurs études rapportent l'impact négatif du brochet sur les salmonidés (Mills, 1964 ; Larson, 1985 ; Vollestad et al., 1986 ; Mills et Hurley, 1990 ; Degerman et Sers, 1992 et 1993 ; Roche, 1993 ; Macmahon et Bennet, 1996 ; Jepsen *et al.*, 2000 ; Hyvarinen et Vehanen, 2004). Plusieurs études (Colby *et al.*, 1985 ; He et Kitchell, 1990 ; Amundsen *et al.*, 2003) montrent que le brochet peut fortement influencer la composition des peuplements piscicoles lacustres. Mills et Hurley (1990) rapportent la restauration d'une population d'omble suite à la régulation du brochet (> 55 cm) dans le lac de Windermere en Angleterre. L'université d'Umea en Suède développe une recherche sur les effets du changement climatiques sur les interactions brochet-salmonidés. Les modèles récemment développés prévoient qu'un climat plus chaud conduira à l'invasion par le brochet et à une extinction des salmonidés (omble chevalier, truite) et de l'ombre dans des milliers de lacs scandinaves dans les 100 ans à venir. Notons enfin qu'une synthèse récente (Scott et Slowman, 2004) indique que certains micropolluants pourraient modifier certains comportements des poissons, y compris l'agressivité.

Acquis lémaniques :

Bilan trophique

Une évaluation simple met en évidence (sans cependant pouvoir isoler la part de la truite comme proie) un prélèvement important du brochet sur le compartiment poisson du Léman. En effet, en utilisant le coefficient de transformation de 3,7 donné par Kipling et Frost (1970) pour de jeunes brochets, 50 t de brochet capturées au Léman impliquent la consommation minimale (car de gros brochet tels qu'il y en a au Léman transforment moins bien) de près de 200 t de poisson.

Evolutions conjointes des captures de truite et de brochet (Fig T 12 ; T13).

Les captures de la pêche professionnelle CH et FR sont connues sur la période 1950-2010 (Fig. T 12). En ce qui concerne les évolutions conjointes des captures de truite et de brochet, on distingue successivement trois grandes périodes :

+ 1950-74. Les captures annuelles de brochet et de truite sont moyennes, variant principalement entre 7 et 18 tonnes. Cependant la fin de période (1966-75) se distingue par une baisse continue des captures de brochet.

+ 1975-1995. Les captures de brochet restent basses (2 à 7 tonnes) et peu variables sur toute la période. A l'inverse, les captures de truite sont à la fois fortes et très variables oscillant principalement entre 12 et 25 tonnes.

+ 1996-2010. Les captures de brochet augmentent très fortement au cours de la période, passant de 4 t en 1996 à 30 t en 2010. A l'inverse les captures de truites baissent

Sur l'ensemble (1975-2010) des deux dernières périodes, les captures de truite sont négativement corrélées à celles de brochet ($r = - 0,655$; $n=36$; $p<0,0001$). Les captures de TL par pêche professionnelle ont été les plus fortes lorsque les captures de brochet étaient les plus faibles (Fig T12).

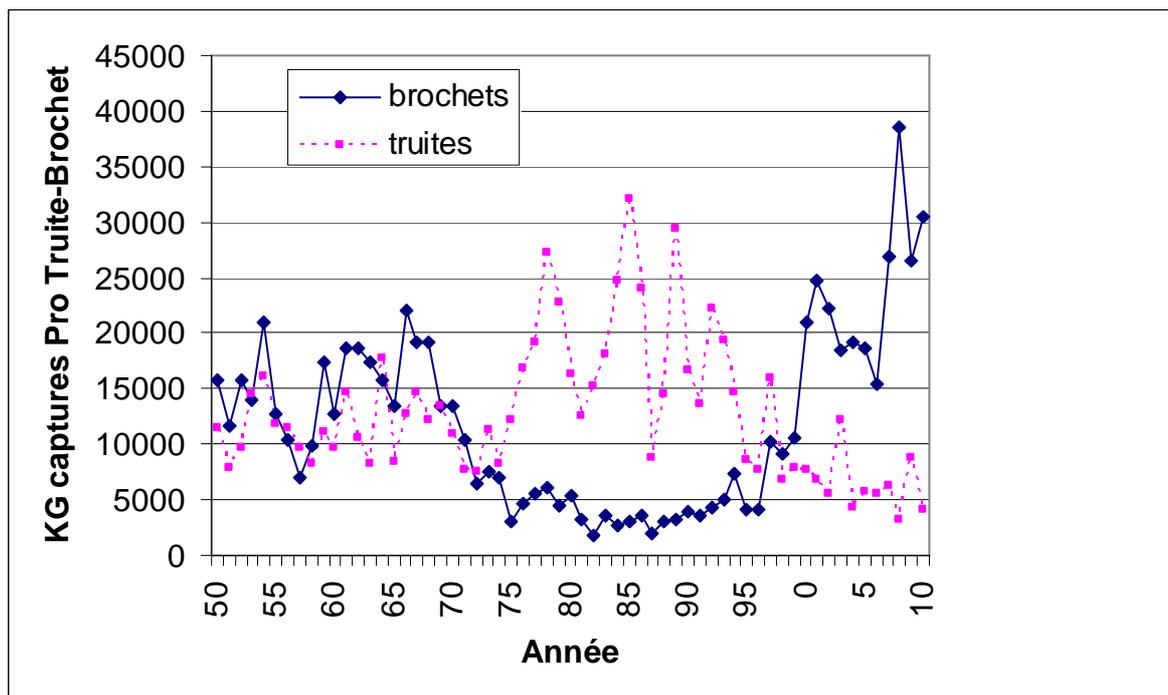


Fig. T 12. Captures totales de brochet et de truite déclarées par la pêche professionnelle française au Léman dans la période 1950-2010.

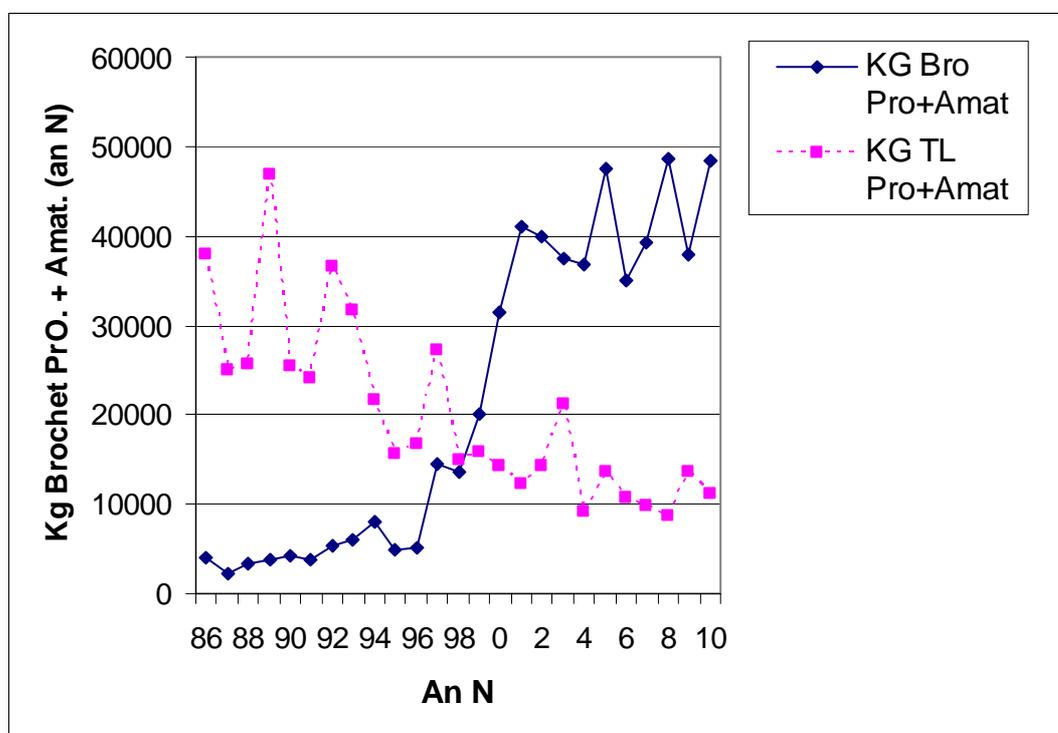


Figure T 13. Captures de truite et de brochet déclarées par la pêche professionnelle et amateur (FR+CH) au Léman dans la période 1986-2010.

Les statistiques totales (FR+CH ; Amat + Pro) du brochet et de la truite sont simultanément connues sur la période 1986-2010. Les captures totales de l'ensemble des pêcheries de brochet et de truite varient en sens inverse ($r = - 0,726$; $p < 0,0001$, $n = 25$). De même, sur cette même période 1986-2010, les captures de truites et de brochet par pêche amateur (FR+CH) varient en sens inverse (Fig T 13). Lors des dix dernières années de statistiques de pêche connues (2001-2010), les captures totales de TL au Léman varient entre 10 et 15 tonnes alors que celles de brochet varient entre 40 et 50 tonnes, soit à un niveau très élevé.

Hypothèses explicatives de l'accroissement de la population de brochet au Léman. En lien avec la réoligotrophisation (baisse du P), il y a eu une ré-expansion des characées. Cette expansion des characées aurait favorisé le succès du frai naturel du brochet en lui offrant des supports de ponte de qualité et abondants. Par ailleurs, l'avancement du réchauffement printanier et du pic printanier de zooplancton seraient favorables à une meilleure croissance et survie des stades précoces du brochet. Ce type d'évolution favorable a également été avancé comme hypothèse explicative de l'expansion du corégone au Léman.

Indicateur « morsures de truite de lac » par le brochet (Tableau T8)

La difficulté de mener une étude via les contenus stomacaux de brochet a conduit à réfléchir à des indicateurs indirects de la pression de prédation ou d'attaques sous forme de morsures cicatrisées ou fraîches caractéristiques d'attaques par le brochet. Durant la période du début des années 80 jusqu'au début des années 90, lorsque les captures de brochet étaient faibles, voisines de 4t/an, on observait très peu de morsures de brochet sur les géniteurs TL. Ce constat a par exemple été fait à cette époque sur plusieurs centaines de géniteurs examinés dans le Redon et le Foron, deux affluents frayères à TL sur la rive française du Léman. Le phénomène est devenu apparent à partir de la fin des années 90 lorsque les captures de brochet sont passées du niveau 20 t puis au niveau 40 t dans les années 2000. En 2000 une cinquantaine de truites de lac pêchées en lève a été photographiée. L'examen de ces photos (Champigneulle, données non publiées) indique que sur 51 truites de lac aucune ne portait soit une morsure fraîche soit une morsure cicatrisée de brochet.

La présence de morsures de brochet sur certains géniteurs de truite de lac échantillonnés en affluent a suscité l'attention lors d'une opération d'échantillonnages pour étude génétique réalisée par l'INRA en fin 1999. Le taux de morsure cicatrisée était voisin de 3% à la fois sur la Promenthouse (3,2%) et sur l'Aubonne (3,5%).

Des observations sur les géniteurs de truite de l'Aubonne ont été poursuivies par des gardes CH dans la période 2008-11 indiquant des taux plus élevés, respectivement 7,8%, 11 %, 7,2 % 2008-09-10. En 2010, le piège de l'Aubonne a fonctionné du 8 au 31/12/2010. Les truites fraîchement blessées ont été observées parmi les premiers géniteurs capturés. Le suivi des morsures de TL sur les géniteurs TL piégés sur l'Aubonne au cours du frai 2011 met en évidence une baisse du taux de morsures à 4,6% soit une valeur voisine de celle de 5,4% observée sur la Dranse lors du frai 2011.

Dans le cas des morsures fraîches, elles peuvent avoir été faites il y a peu de temps en milieu lacustre soit pélagique soit littoral ou en zone d'embouchure. La position des morsures suggère une attaque ventrale venant franchement par le dessous puisque l'on observe une marque typique symétrique sur chaque flanc. Une hypothèse est celle d'une attaque en zone littorale lacustre, ou en embouchure profonde lorsque les truites sont en phase finale de leur migration de reproduction en affluent frayère. Cette stratégie d'attaque du brochet a été mise en évidence au lac de Windermere sur des géniteurs d'omble frayant en affluents, lorsqu'ils se regroupent lors de la phase finale de leur migration de reproduction.

Tableau T8. Indices d'attaques de brochets sur la truite de lac au Léman

Écotype (stade)	Année / Période (observateur)	Lieu	% avec morsure BRO cicatrisée	% avec morsure BRO fraîche
Truite de lac immature	2000 INRA	Lève (année)	0 % (0/52)	
Truite de lac (généteur)	1999 nov repro (INRA)	Promenthouse CH	3,5 % (4/114)	
Truite de Lac (généteur)	1999 nov repro (INRA)	Piège Aubonne CH	3,2% (3/95)	
Truite de lac (généteur)	2008 nov-déc (Gardes CHI)	Piège Aubonne CH	7,8 % (29/370)	0,3 % (1/370)
Truite de lac (Généteur)	2009 nov-déc (Gardes CH)	Piège Aubonne CH	11,0 % (68/619)	
Truite de lac (Généteur)	8-31/12/2010- (gardes CH)	Piège Aubonne CH	7,2% (43/594)	0,7% (4/594)
Truite de lac (Généteurs)	6/12/2011 6/01/2012 Gardes CH	Piège Aubonne CH	4,6% (22/478)	0,8% (4/478)
Truite de lac (Généteur)	1999 (INRA)	Piège Dranse FR	0,7% (1/135)	0,7% (1/135)
Truite de lac (Généteur)	2006 nov-déc (garde FR)	Piège Dranse FR	10,6% (5/47)	2% (1/47)
Truite de lac (Généteur)	2009 mai-juillet (Gardes FR)	Piège Dranse FR	8,0 % (4/50)	
Truite de lac (Généteur)	10 juil à 17nov09 Gardes FR	Piège Dranse FR	2,8 % (6/117)	
Truite de lac (Généteur)	Frai 2011 Fédé.74 et INRA	Piège Dranse FR	5,4 % (22/406)	0,7 % (3/406)
Truite de lac (Généteur)	2006 nov reprod. (INRA)	Redon FR	20% (3/15)	
Truite de lac (Généteur)	2009 déc (INRA)	Redon FR	6,7 % (2/30)	
Truite de lac (Généteur)	2006 déc. (INRA)	Léman FR (Port INRA)		Attaque sur 1 femelle non ovulée

L'occurrence de plusieurs % de géniteurs de truite de lac avec une morsure de brochet suggère donc l'existence d'un taux plus élevé de truites blessées puisque ce taux n'inclut pas les truites blessées décédées. Les blessures laissées sur les truites par le brochet sont un autre facteur susceptible de favoriser certaines maladies. Par ailleurs on peut supposer l'existence de dérangements (effarouchement, émission de substances d'alarme...) plus focalisés dans l'espace et le temps par exemple au moment de la migration des géniteurs de truite vers les affluents frayères.

On peut observer qu'au lac du Bourget, l'efficacité des relachers printaniers de truite de un an (15-20 cm) a baissé conjointement avec l'accroissement du stock de brochets, traduit par une augmentation des CPUE de brochet par pêche amateur (Cachera S., com. person.).

Les limites des mesure et recommandations vis à vis des aspects prédation/compétition.

L'expansion du brochet apparaît comme un des facteurs en cause dans le déclin des captures de truite et d'omble au Léman. Cette conclusion est appuyée par des observations convergentes. Une modification expérimentale de la gestion du brochet en allant dans le sens d'un accroissement et d'un élargissement des possibilités de captures du brochet au Léman a été menée. Il est cependant difficile de dire si les mesures prises permettront à elles seules de rééquilibrer le peuplement. En effet, le brochet étant cannibale, on ne peut exclure que la capture de gros brochets limite la prédation de ces derniers sur les plus petits qui seraient alors davantage épargnés. Il faut probablement descendre au dessous d'un certain seuil pour équilibrer la place du brochet dans le peuplement piscicole lémanique.

La population de brochet a connu une expansion risquant de menacer l'équilibre du peuplement piscicole lémanique. Outre l'effet direct de la prédation, il y a des effets indirects possibles de gène du frai de certaines espèces dont l'omble et le corégone. Il peut y avoir une dépréciation de la valeur des poissons pêchés (truite, omble, corégones) lorsqu'ils sont attaqués. Par ailleurs certaines parasitoses passent par le brochet : *trianophorus nodulosus* touchant la perche et *trianophorus crassus* (risque potentiel: touchant le corégone et heureusement non encore présente au Léman) et Hennugyose à *Henneguya Zschokkei* (présente au Léman ; Champigneulle, données non publiée)

Une tentative de contrôle de la population de brochet a donc été développée par le PAP avec un double objectif : 1) rééquilibrer le peuplement piscicole et 2) diminuer les risques liés à certaines parasitoses qui pourraient concerner deux composantes majeures des pêcheries lémaniques (perche et corégone).

Proposition : poursuite du suivi de l'indicateur cicatrices de brochet sur les géniteurs de truite échantillonnés au piège de l'Aubonne et au piège de la Dranse. Il est fait appel à la contribution volontaire des pêcheurs pour optimiser sur le moyen/long terme l'exploitation et la valorisation de la ressource brochet. Parmi les pistes susceptibles de contribuer à la valorisation de gros brochets, on peut par exemple citer : 1) la technique de taillage de filets desarrêtés qui pourrait être davantage diffusée dans la mesure où ce produit serait plus facilement valorisable (goujonnettes, steak de brochet...). Il y a cependant toujours le problème de fiabiliser les marchés lorsque la ressource est fluctuante; 2) la promotion d'opérations de « tourisme pêche » spécifiquement orientées vers le brochet sous réserve de normes claires pour les permis.

Prédation par la perche

Les perches sub-adultes et adultes (>1+) sont des prédateurs potentiels importants pour les juvéniles de truite en lac et particulièrement aux stades actuellement repeuplés au Léman. En effet selon Colette *et al.* (1977) les perches deviennent piscivores à une taille comprise entre 10 et 25 cm et leurs proies ont une longueur généralement inférieure à 9 cm. La pression de prédation du brochet sur les truitelles est donc susceptible de fluctuer en fonction des situations d'abondance relatives des autres proies disponibles (juvéniles de perche et de gardon, corégone, ablette) et du stock de perches âgées.

La prédation par la perche sur les juvéniles de truite aurait augmenté en relation avec: 1) un accroissement de l'abondance de grosses perches dans le Léman en phase de réoligotrophisation 2) la raréfaction des juvéniles de gardon (espèce proie) et la présence actuelle au Léman de grosses perches ichtyophages. Une étude réalisée au Léman par Gillet et Dubois (Comm. person.) de l'INRA Thonon a mis en évidence au Léman une tendance depuis quelques années à une plus forte abondance de larges rubans d'œufs attribuables à de grandes perches femelles. On peut donc suspecter un accroissement potentiel de prédation de juvéniles de truite (et d'omble) par des grosses perches. Il est donc important de mieux connaître l'habitat de ces grosses perches (Gillet com. person.).

Eckmann *et al.* (2006) ont également observé au lac de Constance un accroissement des grosses perches au cours de la phase de réoligotrophisation. Cette augmentation des grosses perches y serait liée à un regain du cannibalisme faisant suite à la baisse du zooplancton et de l'abondance de certains macrophytes servant d'abris, deux évolutions accompagnant la réoligotrophisation.

Proposition :

Il serait envisageable d'optimiser les pratiques de repeuplement en truite dans le sens d'une diminution des probabilités de rencontres avec la perche ou bien en réalisant en pisciculture avant déversement, un conditionnement anti-prédateur (Brown et Day, 2002) ciblé sur la perche.

Cormorans :

La nourriture du cormoran est classiquement composée principalement de gardons et de perches, la nourriture du brochet étant similaire. La prédation du cormoran aurait concurrencé la prédation du brochet sur les gardons et les perches et les brochets auraient basculé leur prédation vers les salmonidés (omble, corégones, truites).

Effets génétiques / milieu. Mieux prendre en compte la diversité intraspécifique : génétique et phénotypique dans la gestion de la truite dans le système Léman- affluents.

En ce qui concerne l'analyse des facteurs génétiques il est important de rappeler les grandes lignes des stratégies de repeuplement pratiquées sur l'ensemble Léman-affluents.

En France il n'y a pas de production en pisciculture d'alevins nourris produits à partir d'œufs collectés *in situ* chaque année sur des géniteurs TL. La totalité des géniteurs TL de chaque affluent fraie naturellement jusqu'au premier obstacle totalement infranchissable. En France, en zone amont, les populations les plus fonctionnelles et abritant des populations de truites MED autochtones sauvages sont autant que possible (sauf par exemple en cas d'anéantissement naturel par évènement climatique extrême ou pollution d'un torrent) gérées en stratégie de zone sanctuaire sans repeuplement. Sur les autres zones amont il y a une stratégie de repeuplement de réhabilitation temporaire utilisant un stock captif MED sédentaire constitué localement à partir de géniteurs sédentaires sauvages de la Dranse d'Abondance. Les zones amont des affluents français ne sont donc pas repeuplées avec des juvéniles de truite de lac.

En Suisse, les géniteurs TL fraient naturellement jusqu'au premier obstacle totalement infranchissable. Des œufs sont collectés sur certains géniteurs (essentiellement via le piège de l'Aubonne). Une partie des œufs sert à produire des stades précoces (alevins démarrés) qui sont répartis dans certains affluents, principalement en zone moyenne et amont et en et/ou en amont d'obstacles. Par ailleurs il existe sur certains affluents des repeuplements en juvéniles ATL domestiques produits à partir de stocks TS captifs d'origine locale ou bien de croisement entre stock domestiques et mâles de TS capturés *in situ*.

Hypothèse génétique: les pratiques de repeuplement auraient contribué à appauvrir la diversité génétique intra-spécifique des populations de truite du Léman.

Acquis lémaniques : Une étude génétique (Launey *et al.*, 2003) a permis d'analyser (en 1999-2000) la diversité génétique intra-spécifique des truites sédentaires et migratrices présentes dans le système « Léman-affluents associés » ainsi que les caractéristiques génétiques des principales souches de truite utilisées pour le repeuplement de ce grand système.

+ la majorité des truites de lac (capturées en lac ou géniteurs en migration de reproduction) appartiennent au rameau évolutif atlantique (=ATL). Il existe néanmoins un pourcentage d'allèles caractéristiques du rameau évolutif méditerranéen (=MED) autochtone, en particulier dans la Dranse (31%), le deuxième plus grand affluent du Léman, mais également et à un degré moindre (4 à 13 %) dans d'autres affluents, français (Foron-10%, Redon-4%, Pamphiot-4%) et suisses (Aubonne-10%, Promenthouse-12%, Rhône aval de Lavey-13%). Pour les truites de lac capturées en lac, il existe également 11 % d'allèles MED.

Le rameau évolutif atlantique (ATL) a deux origines possibles non exclusives :1) domestique, issue des repeuplements et autochtone, en lien avec des connexions anciennes (post glaciaires) entre le bassin du Rhône et le bassin du Rhin.

Les populations de truite de pisciculture analysées sont génétiquement plus proches des populations sédentaires que des populations migratrices en lac. Une hypothèse serait une introgression partielle des individus ATL de pisciculture dans les populations sédentaires et une introgression moindre dans les populations migratrices qui auraient davantage gardé des caractéristiques « sauvages » (Launey *et al.*, 2003). Dans cette hypothèse, les allèles ATL présents dans les populations migratrices ne seraient pas exclusivement d'origine domestique. Il pourrait y avoir deux composantes atlantiques distinctes, l'une « sauvage » et l'autre « domestique », la composante « domestique » étant davantage représentée dans les populations sédentaires. A l'inverse, la composante « sauvage » serait davantage représentée dans les populations lacustres.

En 1999, les géniteurs lacustres remontant l'Aubonne, la Promenthouse, le Redon, le Foron de Sciez, Pamphiot, Rhône en aval de Lavay ainsi que les truites de lac capturées au Léman étaient génétiquement proches les uns des autres. Par contre les populations de Dranse diffèrent en raison de

la présence d'un taux plus élevé d'allèles MED. Par ailleurs le stock de Dranse comporte : 1) une fraction de géniteurs à remontée précoce ; 2) une fraction de géniteurs à remontée tardive.

+ En 1999, les caractéristiques génétiques des truites de lac différaient de celles du stock historique utilisé pour le repeuplement du Haut-Rhône.

Propositions :

Dans le bassin lémanique il y a une grande diversité intraspécifique de la truite. L'analyse de la situation est rendue complexe par le fait que les truites peuvent être issues de 2 rameaux évolutifs différents (ATL et MED) ou de leurs croisements. Le rameau MED serait un rameau autochtone au Léman mais une validation définitive serait à faire en mettant en œuvre de nouvelles analyses génétiques (SNP) et en consultant des paléogéographes sur les voies potentielles de colonisation (Rhône/pertes du Rhône-Léman ?; La Chaise (MED)- via amont Annecy ou via Fier – (Borne-Arve-Léman), ...Le rameau ATL dans le Léman pourrait avoir deux origines : une origine autochtone (colonisation nordique post glaciaire) et un apport par le repeuplement en truites domestiques issues jusqu'à une époque récente uniquement du rameau ATL. Pour l'instant on ne dispose pas encore de critères de différenciation.

Il reste donc à éclairer l'origine du rameau évolutif ATL dans le système Léman-affluents. Est-il d'origine anthropique via les repeuplements massifs et répétés en truite fario ATL domestiques ou bien natif via une colonisation naturelle à partir du bassin du Rhin. Une telle recherche demanderait d'avoir des échantillons ATL d'origine native sûre et de les comparer avec les ATL lémaniques en analysant un nombre important (40-50) de microsatellites de l'ADN ou SNP.

Une étude de la variabilité génétique temporelle dans les captures de TL en lac (pêche en surface) dans les 50 dernières années par analyse de microsatellites de l'ADN sur des écailles anciennes non nettoyées (échantillons disponibles à l'INRA) pourrait donner des éléments supplémentaires.

Il est rappelé que les truites au niveau des individus et des populations ont des caractéristiques ou des aptitudes qui sont souvent sous la double dépendance, de la génétique et de l'environnement.

Pratiques de repeuplement

Premières recommandations. le potentiel « affluents lémaniques » doit être maintenu fonctionnel, accru ou optimisé autant que possible dans toute sa diversité. En effet à cette diversité de milieu correspond une bonne diversité génétique intra-spécifique qui permet un bon potentiel d'adaptation de l'espèce à l'évolution des milieux et de leurs peuplements piscicoles.

Brassages inter-affluents

Les études menées au Léman suggèrent que les pratiques de repeuplement ont accru les possibilités de brassage inter-affluents et inter-souches. En effet, les travaux menés par Champigneulle (1983) et Champigneulle *et al.* (2003) montrent que des alevins nourris (préestivaux ou estivaux) de truite de lac des trois origines TLsauvage TLcaptive TDpisciculture (stock domestique de Vizille) déversées directement dans le Léman et des alevins de deux origines TLsauvage et TDpisciculture déversés en affluent peuvent fournir des truites atteignant le stade fonctionnel de géniteurs de truite de lac remontant frayer en affluent. Le cas du déversement d'alevins TLsauvage en 1983 au Redon démontre que certains relâchers même quantitativement limités (quelques milliers) peuvent avoir une contribution majeure au stock de géniteurs de truite de lac, fournissant la part dominante des ovules de la cohorte correspondante dans le Redon colonisé sur 2 km par la truite de lac.

Les déversements directs en lac apportent une composante commune, non fortement liée à un affluent donné et donc susceptible de coloniser n'importe quel affluent et donc de rompre d'éventuels isolements reproducteurs. Cet impact a probablement été accru par le contexte de répétitions des apports pendant plusieurs décennies.

Les effets de brassage de géniteurs entre les différents affluents ont été également montrés dans l'étude FR-CH. En effet, certains des alevins démarrés d'origine Aubonne et déversés dans des affluents vaudois ont fournis des géniteurs 3+ à la fois dans des affluents suisses alevinés ou non, mais aussi dans des affluents français.

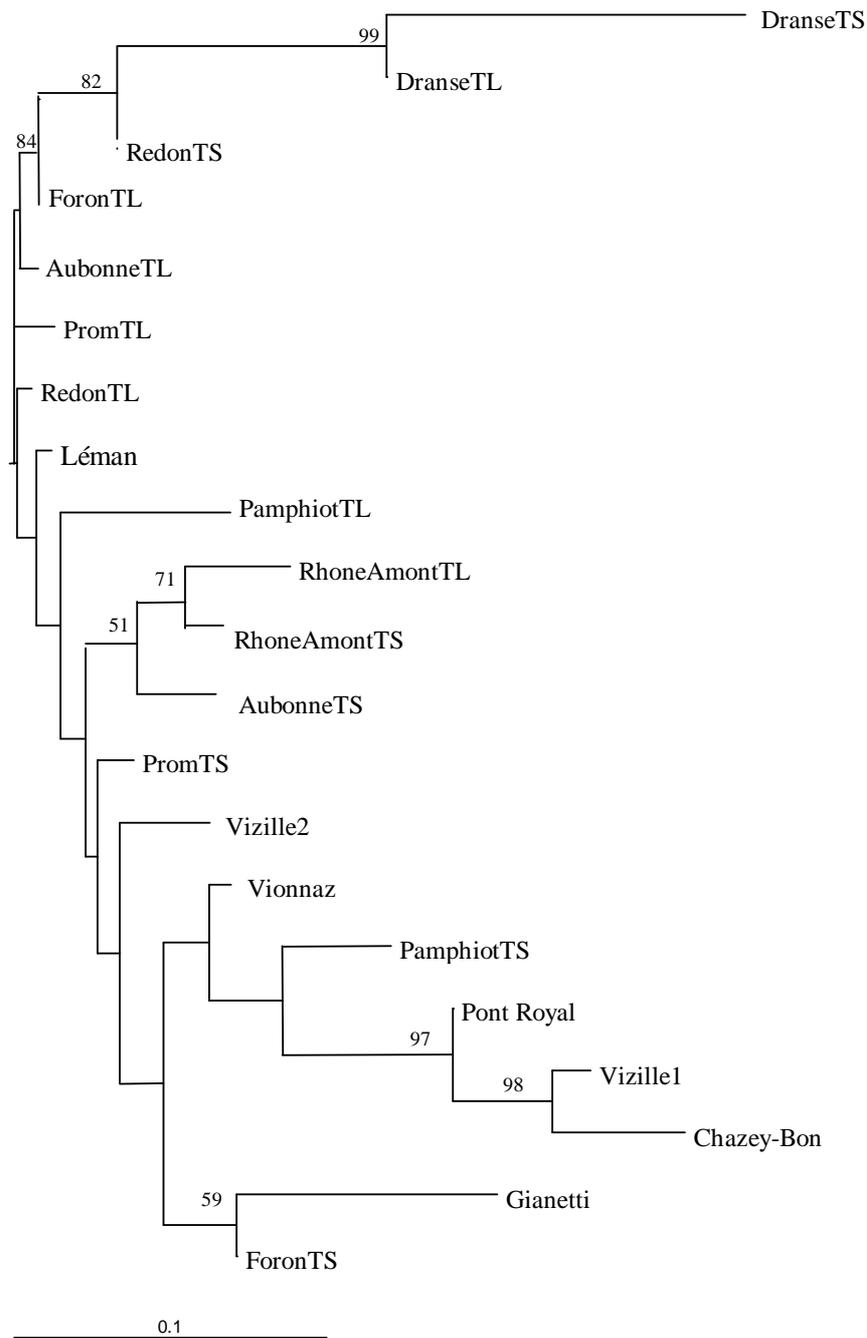


Fig T14 : Arbre obtenu par Neighbor-Joining à partir de la matrice des distances calculées d'après Nei. La robustesse des nœuds a été testée par bootstrap (seules les valeurs supérieures à 50 sont indiquées).

Prise en compte des inter-actions TL-TS dans la gestion de la truite de lac

Préambule : Si la cible est la truite de lac, la tendance de gestion adoptée est généralement celle de regagner des zones de reproduction de la TL et des zones de production de juvéniles TL. Pour cela, il y a une tendance actuelle à rendre franchissables certains obstacles, ce qui favorise plutôt la truite de lac. La stratégie de rendre franchissables les obstacles peut avoir un intérêt dans un contexte de réchauffement climatique (sous réserve de non mises à sec) en permettant l'accès aux zones amont plus froides et présentant donc moins de risque vis-à-vis de la PKD.

Si la cible est plutôt la truite sédentaire, et qu'il existe une population autochtone sédentaire en zone amont avec à l'aval de cette dernière un obstacle infranchissable, alors il peut être judicieux de conserver l'obstacle. En effet, ce dernier permet de renforcer la sédentarisation de la population amont tout en la préservant de l'hybridation avec d'éventuelles populations migratrice aval. Dans le cas du Léman, une étude récente menée avec une approche génétique (Caudron *et al.*, 2009) a montré un faible taux de dévalaison en lac pour des repeuplements en truite MED issus d'une population sédentaire. Ce résultat a été confirmé par l'étude FR-CH. En effet un important repeuplement en alevins MED nourris déversés principalement en zone amont des affluents français a très peu contribué à la population de TL marquées ARS de la cohorte 2008.

Une question est de savoir si les géniteurs de truite de lac ont davantage tendance à fournir des juvéniles dévalant en lac comparativement aux juvéniles issus de géniteurs sédentaires? Dans un lac suédois, Naslund (1993) a montré l'existence d'un facteur génétique dans l'aptitude à initier la formation d'une population fonctionnelle de truite de lac. S'il y a un support génétique, grâce à un potentiel reproducteur nettement supérieur, la truite de lac pourrait alors détourner à son profit la productivité des parties aval d'affluents ouvert sur le lac.

Avantages de la stratégie « truite de lac »

Dans certaines zones aval et moyennes d'affluents lémaniques, il a actuellement peu de géniteurs de truite sédentaires. Dans le cas du Redon, affluent modèle, entre la fin des années 80 et les années 2000 (Champigneulle, données non publiées), il y a effectivement eu une évolution à la baisse des adultes TS ce qui n'est pas le cas des adultes TL et des juvéniles.

Plusieurs hypothèses non exclusives et non exhaustives peuvent être avancées pour expliquer ces évolutions:

+ pour les femelles TL, en relation avec leur forte croissance en lac, à âge égal une femelle lacustre pond beaucoup plus d'œufs qu'une femelle sédentaire.

+ Les juvéniles issus des œufs de TL ont davantage tendance à dévaler en lac que les juvéniles issus de truites sédentaires et ce d'autant plus que certaines truites sédentaires appartiennent au rameau évolutif MED dans le cas des affluents français.

+ en relation avec la taille des femelles TL, les pontes de TL sont réalisées plus profondément dans les frayères, ce qui les protège mieux contre les crues comparativement aux pontes de TS.

+ auparavant la ponte des TS était plus précoce que celle des TL. Actuellement la ponte des TL s'est élargie (octobre à février) et recouvre celle des TS. Ceci permet à la population de géniteurs TL de mieux résister aux aléas climatiques fluctuants en permettant un recrutement minimal dans la phase très sensible des stades embryolarvaires.

+ Certains mâles TL peuvent participer à la fraie à deux étapes : 1) comme petit mâles 1+ non encore descendu en lac et pouvant d'ailleurs se croiser avec des femelles TS, 2) comme mâles plus grands après une phase de croissance en lac.

On conclue des données écologiques à un avantage de la stratégie TL sur la stratégie TS dans le contexte actuel des zones aval et moyennes des affluents. S'il y a peu d'échange entre sédentaire et lacustre, et s'il y a un support génétique, alors la stratégie TL serait plus favorable que la stratégie TS et les TL peuvent détourner à leur avantage la productivité des affluents lacustres.

Propositions :

+ Davantage réfléchir la gestion de la truite, non plus au niveau de l'espèce, mais des écotypes (TL et TS), les génotypes (ATL, REM), ainsi que des aptitudes au niveau des populations et des individus.

Davantage étudier et prendre en compte les éventuelles interactions TL-TS. Par exemple les phénomènes d'appariement entre écotypes (TL et TS) et génotypes (ATL, MED et HYB) restent à étudier finement sur leurs conséquences en terme de stratégies d'histoire de vie.

Certains aménagements conduisent déjà ou conduiront à une amélioration de l'habitat dans certains affluents. C'est pourquoi il est important de sauvegarder des populations naturelles de truite de lac car elles permettront de reconquérir ces affluents réhabilités .

Scénario explicatif des évolutions de captures de truite de lac au Léman.

Parmi les principales hypothèses émises pour expliquer la tendance à la baisse des captures de truites au Léman, il y aurait la dégradation des affluents, le réchauffement climatique, les pathologies (PKD en particulier), la réoligotrophisation, la baisse des ressources trophiques, et les modifications du peuplement piscicole (prédation accrue).

L'évolution du peuplement piscicole, en synergie avec d'autres facteurs (trophiques, climatiques, limnologiques...) aurait eu pour effet de faire baisser la capacité d'accueil du Léman vis à vis de la production de la truite de lac à divers stades alors que cette capacité d'accueil pour la truite était plus importante dans les années antérieures.

Par ailleurs ces diverses pressions conjuguées exercées sur la population de truite de lac pourraient avoir entraîné un état de stress global ayant conduit à l'expression d'épisodes pathologiques passagers comme effet induit.

La surabondance des repeuplements pourrait avoir eu un effet aggravant, notamment en cas d'introduction de certaines pathologies favorisées par l'élevage.

Certaines évolutions du peuplement auraient conduit à des modifications des relations inter et intra-spécifiques (prédation, compétition) dans un sens défavorable à la population de truite de lac ou bien à telle ou telle de ses composantes (littorale ou pélagique, juvéniles, sub-adultes ou adultes).

Dans la zone littorale et sub-littorale, les juvéniles de truite sont confrontés à une prédation par la perche. Cette prédation par la perche serait par ailleurs rendue plus efficace par l'abondance actuelle des perches de grande taille pouvant prédater le stade truitelle.

Le brochet grâce à son habitat diversifié et sa très large gamme de taille exercerait une prédation très efficace car pratiquée dans une large gamme de milieux (y compris au delà de 5-10 m de profondeur dans le cas du Léman), de stades de vie et de tailles de la truite. Il y aurait donc une situation où la truite de lac pourrait être soumise à la prédation efficace d'un binôme perche-brochet de prédateurs.

En final il y aurait eu une baisse de la capacité d'accueil pour la truite de lac vis-à-vis de l'ensemble du système Léman-affluents. La question qui se pose est donc maintenant de hiérarchiser les facteurs mis en avant dans l'étude sachant que plusieurs facteurs peuvent agir ensemble et que l'on ne peut pas ou peu agir sur certains facteurs.

Un enjeu majeur serait de déterminer ce qui compose la « boîte noire recrutement naturel » sachant qu'elle représente la plus grande part du recrutement. Mieux connaître ses composants permettrait d'optimiser la gestion.

Quelques propositions concernant la truite dans le système Léman-affluents.

+ En matière de repeuplement, le domaine d'intervention de la Commission Consultative porte sur les relachers directs au Léman. Or l'étude FR-CH a montré que certains repeuplements en affluents pouvaient contribuer aux captures et à la fourniture de géniteurs et d'autres pas. Il serait donc utile de réaliser un bilan des alevinages pratiqués directement en lac mais également sur l'ensemble des affluents du Léman. Le cas échéant lorsque l'intérêt, les objectifs et la faisabilité sont clairs, il resterait possible de pratiquer des évaluations des pratiques de repeuplement.

+ Il y aurait une grande utilité à ce que soient fixés des grands objectifs de gestion piscicole dans le système Léman-affluents. Pour une grande partie des gestionnaires de la pêche au Léman, l'objectif de gestion à terme de la truite de lac serait d'aller vers une gestion plus durable reposant essentiellement sur le recrutement naturel. Si l'option « cycle naturel » est prise, alors un objectif pourrait être de favoriser des populations naturelles fonctionnelles de truite de lac bien adaptées au système Léman-affluents associés, contribuant à de bonnes captures en lac tout en assurant des remontées significatives pour la reproduction et, dans certains affluents, pour la pêche de truite de lac en rivière. Cette option implique une démarche forte d'amélioration de la qualité des milieux.

+ faire se rencontrer l'ensemble des personnes impliquées dans la gestion des populations (TL et TS) et des pêcheries de truite dans le Léman et dans les affluents associés. Il reviendrait alors à cette commission de gestionnaires, élargie à des experts scientifiques (ex. généticiens, pathologistes, gestion des milieux), de recueillir et de coordonner les objectifs de gestion de même que les études/recherches susceptibles de conduire à des propositions de mesures opérationnelles .

+ L'étude FR-CH a montré au niveau global la dominance du recrutement naturel dans les captures de truite de lac. Ceci implique donc que certains milieux affluents ont gardé au moins en partie leur fonctionnalité. Il serait désormais utile de repérer les diverses « sources » à l'origine de cette composante « recrutement naturel ». Ceci permettrait alors de mieux localiser et hiérarchiser les aménagements.

+ L'étude FR-CH sur la truite de lac a fourni des premiers éléments montrant l'existence de possibilités d'évoluer vers une démarche d'écologie prédictive plus prédictives. On peut donc appuyer cette démarche sachant qu'elle peut permettre de donner des éléments d'expertise dans la gestion.

+ discuter et structurer des bases de données ichtyologiques et archiver les diverses collections correspondantes de matériel (écailles, otolithes, chair dans alcool...) en vue de rendre possible des études futures (génétiques, isotopiques, otolithométriques, croissance...) dans le Léman.

+ Dans la continuité du projet franco-suisse, poursuivre une mise à jour et une mise en commun des résultats acquis sur la biologie et la gestion des populations de truite au Léman : pêches électriques, frayères, pathologies, suivis de rivières modèles (Aubonne, Dranse, Redon, Foron, Boiron de Morges), banques d'échantillons et de données, évolution des températures et des débits.

+ en coordination avec des spécialistes (ex. Dr Wahli en Suisse, Mme Poset, Lons le Saunier) concevoir un suivi franco-suisse standardisé sur la situation et de l'impact de la PKD dans les affluents du Léman, la zone littorale et les piscicultures utilisées pour le repeuplement.

+ poursuivre à l'échelle FR-CH le suivi des mortalités de génitrices TL avant le frai.

+ Il serait utile d'avoir une réflexion pluri-partenariale (gestionnaires de la pêche et des milieux, éco-biologistes, généticiens...). L'objectif final serait d'aboutir à la définition de plans de gestion concertés et avec des objectifs partagés et compatibles, intégrant, outre les aspects halieutiques, des éléments de conservation de la diversité intra-spécifique à long terme (Truite de Lac et Truite Sédentaire; rameaux évolutifs atlantique et méditerranéen).

Dans le bassin lémanique, le repeuplement a été longtemps utilisé comme outil principal d'aménagement des ressources salmonicoles. Or le présent travail indique que, finalement, dans le cas de la truite de lac au Léman, c'est le recrutement naturel qui assure l'essentiel de la population et des captures actuelles. Ces captures de truite de lac, même si elles fluctuent et si elles ont pu être supérieures dans le passé, restent néanmoins d'un niveau très acceptable. Par ailleurs il reste encore une marge de progression potentielle en utilisant les connaissances acquises sur l'identification et la hiérarchisation des points critiques de la fonctionnalité du cycle naturel en lac et en affluents-frayères.

La dynamique de fonctionnement des affluents frayères pour la reproduction et la production des juvéniles de truite reste encore à mieux évaluer, en particulier les aspects des mortalités et de dévalaison.

En lac, l'étude suggère que le facteur prédation, en particulier par le brochet (en forte expansion) jouerait un rôle important dans la tendance à la baisse des captures de truite de lac. Le rôle de prédation joué par la perche sur les alevins et de truitelles serait quant à lui à mieux préciser. Une analyse bibliographique a montré la grande sensibilité de certains organes des sens (olfaction/narines, audition/ otolithe et ligne latérale) à certains micropolluants et ce à des doses pouvant être rencontrées assez couramment *in situ*. Or l'olfaction est importante pour l'évitement des prédateurs, la localisation de la nourriture, la mémorisation et la localisation des sites de frai. L'audition permet la localisation des prédateurs, les comportements de bancs. Les éventuelles perturbations de l'olfaction et de la l'audition pourraient donc venir renforcer l'effet de la prédation.

Le présent travail a permis l'identification et une première évaluation de stress multiples touchant le cycle de vie de la truite de lac dans le système Léman-affluents.

Parmi les principales hypothèses émises pour expliquer la baisse des captures de truite au Léman, il y a la dégradation des affluents, le réchauffement climatique, des pathologies telles que la PKD en particulier, la baisse des ressources trophiques en lien avec la réologotrophisation, et les modifications du peuplement piscicole avec un accroissement de la prédation.

Il est fondamental de poursuivre l'identification et la hiérarchisation des points critiques de la fonctionnalité du cycle naturel en lac et en affluents-frayères.

Les actions ciblées sur les paramètres clé suspectés permettront une meilleure efficacité dans la conservation des populations et des pêcheries de truite de lac et d'omble au Léman.

Dans le cas de la truite, il reste fondamental que la qualité des milieux affluents soit optimisée pour assurer à long terme un flux de juvéniles dévalant utilisant la capacité d'accueil du Léman pour la truite de lac.

L'évolution du peuplement piscicole, en synergie avec d'autres facteurs (trophiques, climatiques, limnologiques...) aurait eu pour effet de faire baisser la capacité d'accueil du Léman vis à vis de la production de la truite de lac à divers stades alors que cette capacité d'accueil pour la truite était plus importante au cours de la période antérieure. Par ailleurs diverses pressions conjuguées exercées sur la population de truite de lac et d'omble pourraient avoir entraîné un état de stress global susceptible de faire baisser la survie à diverses étapes du recrutement (naturel ou repeuplement). Il y aurait donc eu des modifications des relations inter et intra-spécifiques (prédation, compétition) dans un sens défavorable à telle ou telle composante de la population de truite (littorale ou pélagique, juvéniles, sub-adultes ou adultes).

Les conclusions ainsi que les premières propositions concernant la gestion de la truite et de l'omble dans le système Léman-affluents ne sont pas closes. Il est souhaitable de les faire évoluer en fonction des nouvelles connaissances acquises et des objectifs globaux de la gestion piscicole dans le système Léman-affluents. On peut donner un exemple des avancées de la science. Une étude suédoise récente (Brodin *et al.*, 2013) a montré que des anti-anxiolytiques à des doses trouvées *in situ* pouvaient altérer le comportement de la perche la rendant plus active (taux de nourrissage plus élevé) et agressive (moins « sociable »).

BIBLIOGRAPHIE

- ALVAREZ D., NICIEZA A.G., 2003. Predator avoidance behaviour in wild and hatchery reared brown trout: the role of experience and domestication. *J. Fish Biol.*, 63, 1565-1577.
- ARAKI H., COOPER B., BLOUIN M.S., 2007. Genetic effects of captive breeding cause a rapid , cumulative fitness decline in the wild. *Science*, 318, 100-103.
- BEAMISH R.J., MAHNKEN C., NEVILLE C.M., 1997. Hatchery and wild production of Pacific Salmon in relation to large-scale, natural shifts in the productivity of the marine environment. *ICES Journal of Marine Science*, 54, 1200-1215.
- BOWEN C.A., BRONTE C.R., ARGYLE R.L., ADAMS J.V., JOHNSON J.E., 1999. Vaterite sagitta in wild and stocked Lake Trout: applicability to stock Origin. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 128, 929-938.
- BRODIN T., FICK J., JONSSON M., KLAMINDER, 2013. Dilute concentrations of a psychiatric drug alter behavior of fish from natural populations. *Science*, 339, 814-815.
- BROWN C., LALAND K., 2001. Review paper. Social learning and live skills training for hatchery reared fish. *J. Fish Biol.*, 59, 471-493.
- BROWN C., DAY R.L., 2002. The future of stock enhancements: lessons for hatchery practice from conservation biology. *Fish and Fisheries*, 3, 79-94.
- CARREAU N.D., PYLE G.G., 2005. Effect of copper exposure during embryonic development chemosensory function of juvenile fathed minnows (*Pimephales promelas*). *Ecotoxicology and environmental safety*, 61, 1-6.
- CAUDRON A., CHAMPIGNEULLE A., 2006. Technique de fluoromarquage en masse à grande échelle des otolithes d'alevins vésiculés de truite commune (*Salmo trutta*) à l'aide de l'alizarine RedS. *Cybium*, 30, 65-72.
- CAUDRON A., CHAMPIGNEULLE A., LARGIADER C.R., LAUNEY S., GUYOMARD R., 2009. Stocking of native Mediterranean brown trout (*Salmo trutta*) in French tributaries of Lake Geneva does not contribute to lake migratory spawners. *Ecology of Freshwater Fish*, 18, 585-593.
- CAUDRON A., VIGIER L., CHAMPIGNEULLE A., 2012. Practitioner's Perspectives Developing collaborative research to improve effectiveness in biodiversity conservation practice. *J. of Applied Ecology* , 49, 753-757.
- CHAMPIGNEULLE A., MELHAOUI M., MAISSE G., BAGLINIERE J.L., GILLET C., GERDEAUX D., 1988. Premières observations sur la population de truite (*Salmo trutta*) dans le Redon, un petit affluent frayère du lac Léman. *Bull. Fr. Pêche Pisc.*, 310, 59-76.
- CHAMPIGNEULLE A., MELHAOUI M., GERDEAUX, ROJAS-BELTRAN R., GILLET C., GUILLARD J., MOILLE J.P., 1990 b - La truite commune (*Salmo trutta*) dans le Redon, un petit affluent du lac Léman. II Caractéristiques des géniteurs de truites de lac et premières données sur l'impact des relâchers d'alevins nourris. *Bull. Fr. Pêche Pisc.*, 319, 197-212.
- CHAMPIGNEULLE A., MICHOU D., BRUN J.C., 2001. Pacage lacustre de salmonidés (omble, corégone et truite) dans le Léman et le lac du Bourget, pp 349-421 in Gerdeaux ed., Gestion piscicole des grands plans d'eau, INRA, Paris.
- CHAMPIGNEULLE A., MELHAOUI M., GILLET C., CAUDRON A., 2003a. Repeuplements en alevins nourris et démographie de la population de truite (*Salmo trutta*) dans le Redon, un affluent du Léman interrompu par un obstacle. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 369, 17-40.
- CHAMPIGNEULLE A., LARGIADER C., CAUDRON A., 2003 b. Reproduction de la truite (*Salmo trutta*) dans le torrent de Chevenne, Haute-Savoie. Un fonctionnement original ? *Bull. Fr. Pêche Piscic*, 369, 41-71.
- COFFIN A.B., 2007. Otolith crystallization in salmonid fishes: possible causes and consequences for the Fish. *The J. of the Acoustical Society of America*, 125, 2008.
- COLETTE P.B., ALI M.A., HAKANSON K.E.F. et al., 1977. Biology of the percids. *J. Fish. Res. Board Can.*, 34, 1890-1899.
- DEGERMAN E., SERS B., 1992. Fish assemblages in Swedish streams. *Nordic J. Freshw. Res.*, 67, 61-71.

- DEGERMAN E., SERS B., 1993. A study of interactions between fish species in streams using survey data and the PCA-Hyperspace technique.
- ECOTEC, 1996. Etude du repeuplement en truites lacustres (*Salmo trutta* f. *lacustris*) dans 3 affluents du Léman : l'Aubonne, la Promenthouse et la Versoix. Conservation de la Faune (Etat de Vaud) et Service de la Protection de la Nature et des Paysages (Etat de Genève) Rapport de synthèse, 48 p.
- EINUM S., FLEMING I.A., 2001. Implications of stocking: ecological interactions between wild and released salmonids. *Nordic J. Freshw. Res.*, 75, 56-70.
- FERGUSON A., 2006. Genetic impacts of stocking on indigenous brown trout populations. *Science report* SC040071/SR
- FEIST B.E., BUHLE E.R., ARNOLD P., DAVIS J.W., SCHOLZ N.L., 2011. Landscape ecotoxicology of coho salmon spawner mortality in urban streams. *Plos One*, 6, (8)
- FERNO A., JARVI T., 1998. Domestication genetically alters the anti-predator behaviour of anadromous brown trout (*Salmo trutta*). *Nordic J. Freshw. Res.*, 74, 95-100.
- GERDEAUX D., 2004. The recent restoration of the whitefish fisheries in lake Geneva. Parts of the stocking, the reoligotrophication of the lake and the climate change. *Annales Zoologica Fennici*, 41, 181-189.
- GERDEAUX D., HAMELET V. . Tableau de bord de la pêche du Léman dans le cadre des activités de l'APERA.
- GUYOMARD R., 1991. Diversité génétique et gestion des populations naturelles de truite commune. pp215-235 in BAGLINIERE J.L., MAISSE G. (eds), Biologie de la truite commune (*Salmo trutta* L.), INRA, Paris.
- HALLERMAN E.M. (ed), 2003. Population genetics. Principles and applications for fisheries scientists. *American Fisheries Society*, Bethesda, Maryland, 458 p.
- HALLERAKER J.H., SALTVEIT S.G., HARBY A., ARNEKLEIV J.V., FJELDSTAD H.P., KOHLER B., 2003. Factors influencing stranding of wild *Salmo brown trout* (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. *River Research and applications*, 19, 589-603.
- HE X., KITCHELL F., 1990. Direct and indirect effects of predation on fish community: a whole-lake experiment. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 119, 825-835.
- HERNANDEZ P.P., MORENO V., OLIVARI F.A., ALLENDE M.L., 2006. Sub-lethal concentrations of waterborne copper are toxic to lateral line neuromasts in zebra fish (*Danio rerio*). *Hearing Research*, 213, 1-10.
- HINCH S.G., MARTINS E.G., 2011. A review of potential climate change effects on survival of Fraser River Sockeye Salmon and an analysis of interannual trends in en route loss and pre-spawn mortality. Cohen Commission Technical Report 9 (February 2011). Vancouver, B.C., www.cohen.commission.ca
- HIRVONEN H., LAAKKONEN M.V.M., 2004. Why do salmonid antipredator responses weaken in hatchery rearing? *J. Fish Biol.*, 65, 318.
- HYVARINEN P., HUUSKO A., 2005. Long-term variations in brown trout (*Salmo trutta*) stocking success in a large lake: interplay between availability of suitable prey and size at release. *Ecology of freshwaterfish*, 14, 303-310.
- JEPSEN N., PEDERSEN S., THORSTAD E., 2000. Short communication. Behavioural interactions between prey (trout smolts) and predators (pike and pikeperch) in impounded river. *Regulated Rivers: Research and Management*. 16, 189-198.
- KIPLING C., FROST W., 1970. A study of the mortality, population numbers, year class strengths, production and food consumption of pike, *Esox lucius*, in Windermere from 1944 to 1962. *J. Anim. Ecol.*, 39, 115-157
- LAIKRE L., ANTUNES A., APOSTOLIDIS A., BERREBI P., DUGUID A., FERGUSON A., GARCIA-MARIN J.L., GUYOMARD R., HANSEN M.M., HINDAR K., KOLJONEN M.-L., MARTINEZ P., LARGIADER C., NIELSEN E.E., PALM S., RUZZANTE D., RYMAN N., TRIANTAPHYLIDIS C., 2000. Conservation genetic management of Brown Trout (*Salmo trutta*) in Europe.
- LARSSON P. O., 1985. Predation on migrating smolt as a regulating factor in Baltic Salmon (*Salmo salar*) populations. *J. Fish Biol.*, 26, 391-397.

- LAUNEY S., KRIEG F., CHAMPIGNEULLE A., GUYOMARD R., 2003. Ecotypes sympatriques migrateurs et sédentaires de truite commune (*Salmo trutta*) : différenciation génétique et effet des repeuplements. *Les Actes du BRG*, 4, 63-78.
- MELHAOUI, M., 1985. Eléments d'écologie de la truite de lac (*Salmo trutta* L.) du Léman dans le système lac-affluents. Thèse doctorat de 3^{ème} cycle. Université Pierre et Marie-Curie, Paris VI, 1 vol., 127 pp.
- MILLS D.H., 1964. The ecology of the young stages of the Atlantic Salmon in the River Bran, Rosshire. Department of Agriculture and Fisheries for Scotland. *Freshwater and Salmon Fisheries Research*, 32, 58 pp.
- MODDE T., WASOWICZ A. F., HEPWORTH D. K., 1996. Cormorant and grebe predation on rainbow trout stocked in a southern Utah reservoir. *North Amer. J. Fish. Managmt*, 16, 388-394.
- MUHIFELD C.C., KALLANOWSKI S.T., MCMAHON T.E., TAPER M.L., PAINTER S., LEARY R.F., ALLENDORF F.W., 2009. Hybridization rapidly reduces fitness of native trout in the wild. *Conservation Biology*, 5, 328-331.
- NASLUND I., 1993. Migratory behaviour of brown trout (*Salmo trutta* L.): importance of genetic and environmental influences. *Ecology of freshwater Fish*, 2, 51-57.
- OXMAN D.S., BARNETT-JOHNSON R., SMITH M.E., COFFIN A., MILNER D.L., JOSEHSON R., POPPER N., 2007. The effect of vaterite deposition on sound reception, otolith morphology and inner ear sensory epithelia in hatchery-reared Chinook salmon (*O. tshawytsaha*). *Can. J. Fish. Aqua. Sci.*, 64, 1469-1478.
- PICKERING, 1989. Environmental stress and the survival of brown trout (*Salmo trutta*). *Freshwater Biology*, 21, 47-55.
- QUINN T.P., EGGERS D.M., CLARK J.H., RICH, 2007. Density, climate, and the processes of prespawning mortality and egg retention in Pacific salmon (*Oncorhynchus spp.*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 64, 574-582.
- ROCHE V., 1993. Interaction between biological research and management of freshwater fisheries in Ireland. *Hydroécol. Appl.*, 2, 1-6.
- RUBIN J.F., 1999. Evolution des peuplements de truites, *Salmo trutta* L. dans le Léman au cours du XX^{ème} siècle. In Découvrir le Léman. 10 ans après François-Alphonse Forel. C ; Bertola, C. Goumand, J.F. Rubin (eds), Musée du Léman (Nyon). Editions Slatkine, Genève.
- RYMAN, UTTER F., LAIKRE L., 1995. Protection of intraspecific biodiversity of exploited fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 5, 417-446.
- SCHAGER E.S., PETER A., BUDKHARDT-HOLM P., 2007. Status of young of the year brown trout (*Salmo trutta*) in Swiss streams : factors influencing YOY trout recruitment. *Aquat. Sci.*, 69, 41-50.
- SCOTT G.R., SLOWMAN K.A., 2004. The effects of environmental pollutants on complex fish behaviour: integrating behavioural and physiological indicators of toxicity. *Aquatic toxicology*, 68, 369-392.
- SCHOLZ N.L., MYERS M.S., McCARTY S.G., LABENIA J.S., McINTYRE J.K., YTALO G.M., RHODES L.D., LAETZ C.A., STEHR C.M., FRENCH B.L., Mc MILLAN B., WILSON D., REED L., LYNCH K.D., DAMMS S., DAVIS J.W., COLLIER T.K., 2011. Recurrent die-offs of adult Coho Salmon returning to spawn in Pudget Sound Lowland Urban Streams. *Plos One*, 6, 1-12.
- SPOMBERG J.A., SCHOLZ N.L., 2011. Estimating the future decline of wild coho salmon populations resulting from early spawners die-offs in urbanized watersheds of the Pacific North Northwest, USA. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 7, 648-656.
- TIERNEY K.B., BALDWIN D.H., HARA T.J., ROSS P.S., SCHOLZ N.L., KENNEDY C.J., 2010. Review. Olfactory toxicity in fishes. *Aquatic Toxicology*. 96, 2-26.
- TIFFANY L.L., STEHR C.M., INCARONA J. P., SCHOLZ L. N.L., 2006. Dissolved copper triggers cell death in the periphera mechanosensory system of larval fish. *Environ. Toxicol. Chemistry*, 25, 597-603.
- VOLLESTAD L.A., SKURDAL J., QVENILD T. 1986. Habitat use, growth, and feeding of pike (*Esox lucius*) in four Norwegian lakes. *Arch. Hydrobiol.*, 108.

ANNEXE 1. BILAN D'ÉVALUATIONS PASSES SUR LE REPEUPLEMENT EN TRUITE DANS LE SYTEME LEMAN-AFFLUENTS.

Impact des repeuplements dans le fonctionnement d'un affluent frayère: le Redon

Diagnose (Figure A1)

Des études françaises menées sur le repeuplement dans la période 1983-93 ont visé à évaluer la composante "repeuplement" dans le fonctionnement du Redon, un petit affluent « modèle » de 10 km situé sur la rive française du Léman. Sur le Redon, on retrouve une situation typique de nombreux affluents du Léman: une zone aval ouverte sur le lac mais rapidement interrompue (à 1,6 km de l'embouchure dans le cas du Redon) par un obstacle empêchant la remontée des truites de lac (Fig A1). Des inventaires par pêche électrique ont été pratiqués à la mi-automne (fin octobre) chaque année de 1983 à 1990 sur la zone aval et moyenne du Redon pour étudier la population de juvéniles en place. La capacité d'accueil maximale des radiers et rapides du cours principal du Redon est à la mi-automne de 100 0+/100m² et de 20 1+/100 m².

Les géniteurs de truite de lac entrant dans la zone aval accessible du Redon ont été échantillonnés par plusieurs pêches à l'électricité (un passage sur toute la zone aval) réparties sur l'ensemble de la saison de reproduction, de la mi-novembre à la fin janvier.

Au total 556 géniteurs de truites de lac ont été capturés dans le Redon au cours des 10 saisons de reproduction de 1983-84 à 1992-93 L'âge des géniteurs varie entre 2 et 9 ans (1+ à 8+) et la taille entre 28 et 93 cm. Le pourcentage des individus âgés (> 3+: 4 ans et plus) est plus élevé chez les femelles (65 %) que chez les mâles (38 %). Le pourcentage de truites de 3 ans (2+) ne diffère pas entre les mâles (29 %) et les femelles (31 %). Par contre, le pourcentage de jeunes géniteurs (1+ = 2 ans) est très nettement supérieur chez les mâles (34 %) comparativement aux femelles (5 %). Les truites ayant 1, 2 ou 3 ans de croissance initiale faible, type rivière, représentent respectivement 72, 26 et 2 % chez les mâles et 60, 40 et 0 % chez les femelles capturées.

La densité minimale d'oeufs potentiels déposés dans la zone aval du Redon a été estimée selon l'année à 1150 à 3880 oeufs/100m². Pour apporter le même nombre d'oeufs il faudrait de 3 à 8 femelles sédentaires 2+/100 m² alors qu'il y en a toujours moins de 1/100 m² en zone ouverte à la pêche (contrairement à 5-8 en zone de réserve). Les géniteurs de truite de lac ont donc un rôle essentiel dans l'apport naturel en oeufs sur la zone aval du Redon. Le taux minimal de disparition entre le stade "oeufs potentiels" et le stade 0+ en fin octobre est très élevé, compris entre 94,7 et 99,7 %. Les facteurs en cause (dévalaisons précoces et/ou mortalités à divers stades y compris dans les frayères) ne sont encore ni quantifiés ni hiérarchisés. Une étude (CHAMPIGNEULLE, 1993 ; CHAMPIGNEULLE *et al.*, 2003) a cependant révélé, pour des alevins de truite de lac déversés, l'existence de « disparitions » très précoces ayant lieu avant la fin octobre, touchant préférentiellement des 0+ ayant eu la croissance initiale la plus forte. Parmi les hypothèses explicatives, du fait que les disparitions touchent préférentiellement les alevins à plus forte croissance initiale, il y a la dévalaison en lac ou le mortalité par la PKD.

Dynamique des alevins nourris déversés dans le Redon (Figures A1-A2-A3)

Terminologie : TLS = Truite de Lac Sauvage ; TDP = Truite Domestique de Pisciculture

Contribution à la population en place (Figure A2-A3)

Des relâchers intermittents ont été pratiqués dans le Redon, en 1983 (TLS) puis 1985, 86 et 88 avec, pour chacune de ces trois dernières années, un lâcher simultané de TDP et TLS. Les alevins nourris marqués (taille: 30-40 mm) ont été dispersés à des densités faibles (<50/100m²) en fin juin-début juillet dans les zones aval et moyenne. La zone aval seule est accessible à la truite de lac. La

zone amont est une zone de réserve non repeuplée. Les truitelles issues des alevins marqués relâchés contribuent fortement au peuplement automnal en juvéniles sur les zones moyenne et aval tant au stade 0+ qu'au stade 1+. La densité totale en 0+ est systématiquement supérieure les années où il y a eu des relâchers d'alevins nourris. Les déversements ont conduit à des densités automnales en 0+ marqués élevées variant entre 31 et 65 ind/100 m².

Sur la zone repeuplée, la densité en truites 1+ marquées issues des relâchers d'alevins nourris est forte, variant entre 4 et 17 ind/100 m². Sur la zone moyenne, grâce à la contribution des déversements, la densité en 1+ est systématiquement supérieure pour les cohortes avec repeuplement comparativement à celles sans relâcher (CHAMPIGNEULLE *et al.*, 2003). Les densités totales de truites 1+ sont voisines en zone amont de réserve et en zone ouverte à la pêche fréquentée (zone aval) ou non (zone amont) par la truite de lac.

Par contre au stade 2+ et supérieur, la densité est nettement plus élevée (1,5 à 9 >1+/100 m²) en zone de réserve. En zone pêchée (zone aval et moyenne), la densité en truites >1+ varie généralement entre 0 et 1,5/100m². On peut donc conclure que malgré l'abondance des juvéniles 0+ et 1+, en relation avec la pêche et avec les phénomènes de dévalaison en lac (sans pouvoir les hiérarchiser), la zone aval du Redon fournit peu de géniteurs femelles de truites sédentaires. Cette observation a été confirmée par pêche électrique lors de la fraie 1999-00.

En fin octobre 1984, un petit échantillon de 29 1+ marqués issus du déversement d'alevins TLS en 1983 a été collecté sur la zone aval du Redon. Cinq d'entre eux étaient des mâles spermiantes. On peut en conclure que des juvéniles TLS mâles peuvent atteindre le stade de géniteur fonctionnel avant même d'être éventuellement passé en lac.

Fig. A1. Localisation des secteurs d'étude sur le Redon

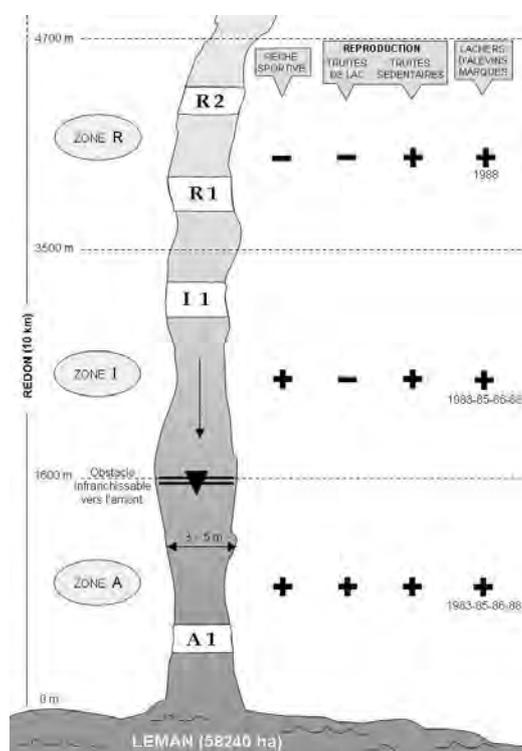
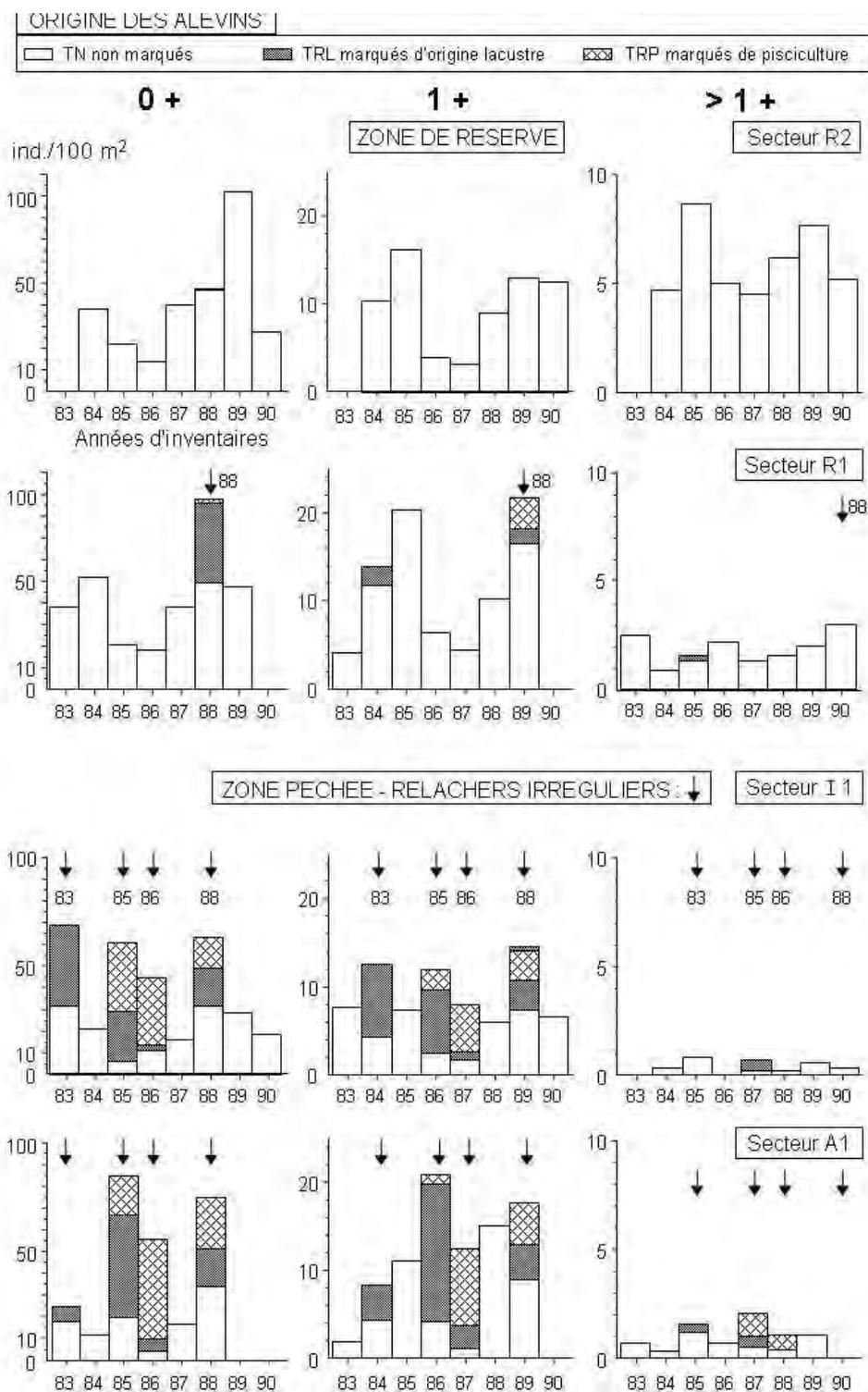


Figure A2 Dynamique des différentes sources de recrutement dans le Redon.



Contribution aux remontées de géniteurs de truite de lac dans le Redon (Fig A3)

Le lot de 6000 alevins TLS marqués de la cohorte 1983 déversés dans le Redon (Fig A3) a fourni 39 % du total de l'échantillon de géniteurs de truite de lac contrôlés de la génération 1983 remontant dans le Redon. Aucun géniteur marqué n'a été observé parmi les jeunes mâles ou femelles 1+ (0/15) ni parmi les jeunes femelles 2+ (0/10) (Fig. A 3). Par contre 38 % des mâles 2+ et 36 % des mâles > 2+ sont issus de ce petit lot d'alevins marqués. Enfin ce petit lot a fourni par ailleurs 90 % des femelles > 2+ capturées, soit l'essentiel des ovules potentiels apportés par les femelles de la cohorte 1983 (CHAMPIGNEULLE *et al.*, 1990 b, CHAMPIGNEULLE, 1993, CHAMPIGNEULLE *et al.*, 2003). Cette expérimentation démontre qu'un repeuplement modeste en alevins nourris produits à partir d'œufs prélevés sur des géniteurs de l'Aubonne et déversés dans le Redon peut avoir une contribution majeure aux géniteurs de TL remontant dans le Redon. Il y a eu un homing (au moins partiel) dans le Redon alors que la rivière d'origine est l'Aubonne. Le degré de homing n'est cependant pas évaluable car les autres affluents n'ont pas été échantillonnés.

Sur l'ensemble des 3 cohortes 1985-86 et 1988 il y a eu un échantillon de 186 géniteurs de truites de lac contrôlés dans le Redon. Parmi ces géniteurs et malgré leur très forte contribution aux stades juvéniles 0+ et 1+ dans le Redon (Fig 3), seulement 14 % (25 individus) sont issus des relâchers d'alevins marqués (Fig. 3). Il y a eu des retours des deux origines mais le nombre de géniteurs revenant est quatre fois plus important pour les alevins déversés d'origine lacustre TLS (20 retours) que pour les alevins déversés d'origine domestique TDP (5 retours). Comme pour les TLS marquées de la cohorte 1983, aucune des truites marquées n'a été prise en tant que jeune géniteur 1+ mâle ou jeune géniteur femelle (0 1+ marqué / 33 1+ non marqués) ou en tant que géniteurs femelles 2+ (0 femelle 2+ marquée / 25 femelles 2+ non marquées) (Fig. A3).

Ces expériences:

+ démontrent la production de géniteurs de truite de lac à partir d'alevins TLS ou TDP repeuplés en affluents avec une contribution variable selon l'année et la souche (TLS ou TDP). Ce résultat démontre que des alevins d'une souche domestique peuvent fournir des truites de lac revenant au stade de géniteur dans la rivière de relâcher. Le taux de retour est cependant moindre que pour l'origine TLS. On ne peut donc exclure (sauf mécanisme de reconnaissance) un impact génétique : hybridation *in situ* entre géniteurs lacustres TLS et TDP, ou bien anthropique si l'on pratique la collecte d'œufs à partir de géniteurs lacustres puisque rien au niveau externe ne permet de distinguer l'origine TLS et TDP.

+ suggèrent l'existence d'une source de recrutement non identifiée (mais qui n'est ni les préestivaux TDP ou TLS déversés dans le Redon) qui fournissait dans les années 80 des géniteurs de truite de lac précoces (mâles 1+ et femelles 2+) rentrant dans le Redon. Le suivi du frai 1999-00 suggère, pour ce frai, l'absence de cette fraction de jeunes géniteurs précoces dans le Redon. Cette composante a été à nouveau présente lors de la fraie 2000-01 dans le Redon. Il serait donc intéressant de connaître le génotype de cette composante précoce actuelle (1+ TL fraie 2000-01) et la comparer à la même composante des années 80. L'analyse génétique de stocks d'écaillés conservées à sec semble être une voie possible pour tenter de répondre à ce questionnement.

Les taux de recapture comme géniteurs de truite de lac dans le Redon issus d'alevins TLS nourris déversés marqués dans le Redon est indiqués dans le Tableau 2. Il varie entre 4,2 et 0,75 pour mille avec une tendance à la baisse de la cohorte 1983 à 1988. Les taux sont du même ordre de grandeur que ceux observés dans l'étude ECOTEC (1996) sur des affluents suisses.

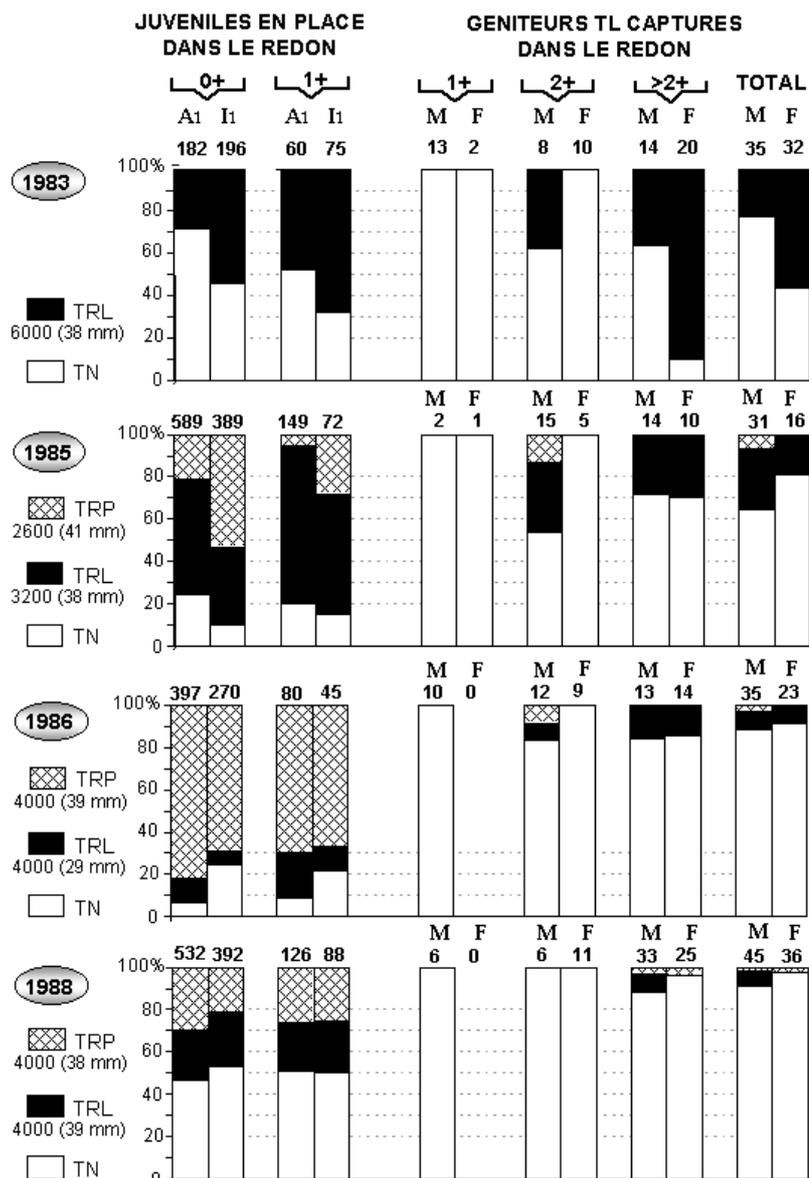


Figure 3. Contribution des diverses origines de recrutement dans la population automnale en place de juvéniles 0+ et 1+ et dans les remontées de géniteurs de truite de lac dans le Redon.

Impact de repeuplements expérimentaux en estivaux dans les affluents suisses (d'après ECOTEC, 1996).

Dynamique et contribution à la population en place (Tableau A1)

Un lot expérimental de 10360 estivaux TLS (80mm) a été déversé en septembre 1986 dans la Versoix. Trois lots expérimentaux d'estivaux TLS (65 mm) de même origine (même pool d'alevins) ont été déversés en novembre 1987 dans la Versoix, l'Aubonne et la Promenthouse. Les alevins ont été produits à partir d'œufs collectés sur des géniteurs de truite de lac capturés dans des rivières vaudoises.

Les pêches électriques menées en affluent ont montré (Tableau A1) une contribution de ces alevins marqués déversés allant de 11 à 46 % au stade 1+, soit l'année suivant le déversement (Tableau A1). On observe ensuite une forte diminution de leur contribution aux captures de truites sédentaires 2+ (3 à 12 %) de marquées et 3+ (0% de marquées). La présence de quelques 2+ marquées de 25 à 37 cm suggère cependant qu'une partie (probablement faible) des truites d'origine TLS s'est sédentarisée, mais en proportion moindre que la fraction non marquée. L'origine de la composante non marquée peut inclure, outre le recrutement naturel des truites de lac ou des truites sédentaires, la contribution d'autres modes de repeuplement: alevins TLS précoces (alevins vésiculés) ou alevins de souches non lacustres (rivière ou indéterminée).

Le taux de disparition élevé (92 à 95%) entre le stade de déversement et le stade 1+ est trop élevé pour s'expliquer par la seule mortalité naturelle normalement inférieure pour cette classe d'âge (ECOTEC, 1996), ce qui suggère l'existence de dévalaisons en lac. On retrouve les taux de disparition apparents élevés notés pour la cohorte 1988 dans le Redon avec les alevins de plus grande taille initiale au relâcher.

Tableau A1. (D'après données ECOTEC, 1996). Contribution d'estivaux de truite de lac (TL souche lacustre vaudoise) déversés marqués (*) dans des affluents suisses du Léman

Date : date du déversement des estivaux marqués déversés

N *: nombre d'estivaux 0+ marqués (*) déversés dans l'affluent

L * (mm) : taille moyenne des estivaux marqués déversés

Ind./100 m² : densité d'estivaux marqués sur les secteurs de déversement

% i + *: pourcentage de marqués présents au stade i+ dans la population en place dans l'affluent

% D : pour les juvéniles TL marqués (*) déversés dans l'affluent, % de disparition estimé entre le déversement au stade d'estivaux 0+ en novembre 1987 et le stade 1+ en 1988

Affluent	Date	N *	L * (mm)	Ind./100 m²	% 0+ *	% 1+ *	% 2 + *	% 3+ *	% D
Versoix	09/86	10360	80	13-20	42	23	6	0	-
Versoix	11/87	8500	65	24		15	10	0	92
Promen- thouse	11/87	6850	65	13		11	3	0	95

Aubonne	11/87	10000	65	53		46	12	0	93
----------------	--------------	--------------	-----------	-----------	--	-----------	-----------	----------	-----------

Tableau A2 : contributions aux remontées de géniteurs de truite de lac.

Echantillons de géniteurs de truite de lac de la cohorte 1987 capturés sur 3 affluents suisses du Léman . (D'après données ECOTEC, 1996)

(n 0+) : nombre d'estivaux 0+ marqués (*) déversés dans l'affluent (issus de soucha lacustre vaudoise, même origine pour les différents affluents)

(JTR 1+) : pourcentage d'individus marqués parmi les juvéniles de la cohorte 1987 échantillonnés au stade 1+ dans l'affluent.

(% GTL i+*) : Pour les captures de géniteurs de la cohorte 1987 à l'âge i+, pourcentage d'individus issus d'estivaux TL marqués (*) déversés en affluent à l'automne 1987.

Remarques :

4 des 7 TL* 3+ de la Versoix proviennent des estivaux * déversés dans l'Aubonne.

4 des 5 TL* de la Promenthouse proviennent des estivaux * déversés dans l'Aubonne

Sur 125 TL (longueur de 35 à 50 cm, presque toutes immatures) capturées par pêche à la traîne au Léman en 1989-90, aucune était marquée (Champigneulle, non publié).

DEVERSEMENT		JUVENILES EN PLACE	GENITEURS DE TRUITE DE LAC			
AFFLUENT	n 0+ *		% JTR 1+	% GTL 2+	% GTL 3+	% GTL 4+
VERSOIX	8500	15	11 (2*/18)	21 (7*/34)	0	7 (3*/45)
PROMEN- THOUSE	6850	11	3 (2*/69)	5 (3*/57)	0	-
AUBONNE	10000	46	5 (3*/57)	11 (21*/188)	16 (16*/103)	10 (6*/60)

L'expérience montre que, comme dans le cas du Redon, des déversements d'estivaux TLS dans les affluents suisses peuvent conduire à la production de truite de lac atteignant le stade de géniteur et revenant en affluent (Tableau A2). Cependant l'expérience montre aussi (Tableau A2) que des déversements d'estivaux dans un affluent peuvent contribuer au retour de géniteurs dans un autre affluent. En effet, 4 des 7 géniteurs lacustres marqués capturés sur la Versoix proviennent d'estivaux TLS marqués déversés dans l'Aubonne. Par ailleurs, 4 des 5 géniteurs lacustres marqués échantillonnés sur la Promenthouse proviennent d'estivaux TLS marqués déversés dans l'Aubonne.

Selon ECOTEC (1996) le pic de remontée de géniteurs de truite de lac issus des estivaux marqués a été constitué par de géniteurs de 4 ans (3+) alors qu'il y a eu un seul géniteur lacustre marqué contrôlé au stade 1+.)