

Diagnose piscicole

et mesure de l'efficacité des alevinages en truite

sur le Doubs Franco-Helvétique

Rapport final

Étude réalisée de 1994 à 1999 par :

le Conseil supérieur de la Pêche et

l'Institut National de la Recherche Agronomique de Thonon-Les-Bains,

CSP DR Lyon

Baudot J.
Baran Ph.
Bertolino J. P.
Bouclier A.
Compagnat P.
Degiorgi F. (rapporteur)
Leroy J.
Michaud N (secrétariat)
Michel M (directeur des pêches)
Monier A.
Monnot A.
Morillas N (rapporteur)
Pisot J.
Raymond JC (rapporteur)
Soler G.
Vancayseele F.

CSP Garderie

commissionnée du Doubs

Gambéri R.
Geindre P.
Matthay G.
Mouget F.
Pascal Ph.
Poichet C.
Prochazka M.
Rousselet A.

INRA Thonon

Cachera S. (rapporteur)
Champigneulle A. (rapporteur)
Ducret N.
Galan S.
Guigue A.
Jourdan S.
Priour F.
Rojas R. (rapporteur).

en collaboration avec :

les services de la pêche des cantons suisses de Neuchâtel (Fischer A, Wyss J-Fr) et du Jura (Egly R),

les piscicultures d'Appenans (M. Chauvet), de Goumois (Egli R.), de Môtier (Wyss J-Fr), de Rosureux (Mouget Fr).

Et avec l'aide technique et le soutien logistique :

des APPMA "La Franco-Suisse", "La Truite de Grand'Combe des Bois", "L'APP de Villers le Lac" et de leurs homologues suisses.

de M.M. BOUVIER et R. EGLY pour les données hydrologiques de la partie centrale et aval du Doubs

Synthèse réalisée par :

et

TELEOS :

INRA Thonon :

F. DEGIORGI

A. CHAMPIGNEUL

Mars 2000

SOMMAIRE

INTRODUCTION : CONTEXTE ET DÉFINITION DES OBJECTIFS.....	1
1. MILIEU ET MÉTHODES	7
1-1. <i>Structure et caractéristique du milieu</i>	<i>7</i>
11-1. Compartimentage de la rivière	7
11-2. Isolement du secteur d'étude et circulation des poissons	9
11-3. Hydrologie et variations hydroclimatiques	11
1-2. <i>Pression de pêche et pratiques de repeuplement.....</i>	<i>12</i>
12-1. Caractéristiques générales de la pression de pêche à la ligne	12
12-2. Génétique et repeuplement : qualité des alevinages	14
12-3. Intensité et répartition des alevinages.....	16
1-3. <i>Méthodes et modalités spatio-temporelles des mesures.....</i>	<i>17</i>
13-1. Stratégie global d'approche et d'étude	17
13-2. Marquage des poissons alevinés	19
13-3. Inventaires des peuplements	20
13-4. Analyse du taux de truites marquées.....	25
1-4. <i>Méthodes d'analyse statistiques des données.....</i>	<i>28</i>
2. PEUPELEMENTS PISCICOLES ET POPULATIONS DE TRUITES	29
2-1. <i>Liste des espèces capturées.....</i>	<i>29</i>
2-2. <i>Structure des peuplements piscicoles de la zone amont.....</i>	<i>30</i>
22-1. Tronçon court-circuité par le Châtelot : portion la plus aval	30
22-2. Les Forges du Pissou (amont du TCC Châtelot), en 1995.	31
22-3. Les Planchettes : 400 m en aval de la restitution du barrage du Châtelot.	33
2-3. <i>Structure des peuplements piscicoles des zones centrale et aval.....</i>	<i>34</i>
23-1. Tronçon court-circuité du Refrain : 500 m à l'amont de l'usine.....	34
23-2. Le Câble : environ 1,5 km en aval de l'usine hydroélectrique du Refrain.	35
23-3. Les Seignottes : à 200 m environ en aval du barrage du Theusseret.....	36
23-4. Le Moulin de la plaine : Station située sur le "parcours mouche"	37
2-4. <i>Structures des populations de truites</i>	<i>39</i>
24-1. Définition de trois stades de développement	39
24-2. Répartition quantitative selon les trois stades du cycle de vie	39
24-3. Aperçu dynamique	41
24-4. Estimation de l'intensité de la pression de pêche.....	43

3. ESTIMATION DE L'IMPACT DES ALEVINAGES 45

3-1. Principe de l'estimation de l'impact d'alevinage	45
3-2. Contribution du repeuplement de chacune des trois cohortes.....	46
32-1. Contribution du repeuplement pour la cohorte 1994	46
32-2. Contribution du repeuplement pour la cohorte 95	49
32-3 Contribution du repeuplement pour la cohorte 96	50
32-4. Variabilités spatio-temporelles de l'impact d'alevinage	51
3-3. Caractéristiques comparées des marquées et des non marquées.....	52
33-1. Taille dans la population automnale en place	52
33-2. Sexe ratio (zone centrale + aval).....	54
33-3. Maturité sexuelle (fig. 13)	56
3-4. Bilan sur la contribution de l'alevinage au peuplement.....	58
34-1. Taux de marquage global mesuré <i>in situ</i>	58
34-2. Taux de marquage mesuré <i>dans le panier des pêcheurs</i>	60
34-3. Caractéristiques comparés des marquées et des non marquées dans les prises à la ligne.....	63
34-4. Variation spatio-temporelles des taux de marquage	65
3-5. Efficacité réelle des alevinage et impact des éclusées.....	71
35-1. Principe : expérience de non-alevinage sur la zone centrale.....	71
35-2. Le Câble (aval restitution Refrain) en 1994, 1996 et 1999.....	73
35-3. Sondages sur le TCC du refrain en 1985, 1994 et 1996.....	77
35-4. Inventaires au Seignottes (aval de la Goule) en 1994,1995.	78
35-6. Bilan du suivi de l'opération de non-alevinage	79

4. INTERPRÉTATIONS ET RECOMMANDATIONS 81

4-1. Recherches des causes de l'altération des peuplements piscicoles	81
41-1. Bilan sur le déficit de production piscicole.....	81
41-2. Un point rapide sur la qualité de l'eau	82
41-3. Impact de l'artificialisation des débits sur l'ichtyofaune	84
4-2. Discussion sur l'efficacité de l'alevinage	91
42-1. Taux de recapture à la ligne des individus alevinés.....	91
42-2. Intérêt de la production naturelle.....	92
42-3. Impact réel de l'alevinage : ajout ou substitution ?.....	92
4-3 Orientations et recommandations (tab. XVIII)	99
43-1 Proposition pour la restauration du milieu	99
43-2 Conseils de gestion halieutique finalisée	103
43-3 Compléments d'étude et dispositif de suivi du milieu	106
43-4 Compléments d'étude et dispositif de suivi des populations	108

Diagnose piscicole et mesure de l'efficacité des alevinages en truite sur le Doubs Franco-Helvétique

Introduction

Contexte et définition des objectifs

Le Doubs "Franco-Helvétique", qui s'écoule entre Suisse et France, depuis Villers-le-Lac jusqu'à Fuesse (fig. 1), est une rivière à truite et à ombre de grande taille. Il s'étire sur plus de 42 km et baigne des gorges calcaires modelées par le karst. Sa largeur moyenne varie de 15 à 25 m sur la partie amont puis de 35 à plus de 50 m sur la partie aval.

Sur ce linéaire, le Doubs n'a jamais été rectifié ni recalibré. En outre, il bénéficie, grâce aux résurgences karstiques, d'apports d'eau froide et très calcique. Ces deux caractéristiques lui confèrent **un fort potentiel biologique**. Cependant, il subit d'importantes **perturbations d'origines humaines**, en relation, pour la plupart, avec l'exploitation des **trois barrages à vocation hydroélectrique** qui jalonnent ce parcours (SRAE Fr.-Comté 1986, BOUVIER 1989, DIREN Fr.-Comté 1994).

D'une part, l'implantation de ces ouvrages a transformé 6,2 km de rivière en système d'eau stagnante et profonde, tout en réduisant fortement les débits sur les trois tronçons court-circuités qui totalisent 8,3 km de linéaire (fig. 2). D'autre part, le fonctionnement "par éclusées" de ces aménagements induit des variations brutales des niveaux de l'eau et des surfaces mouillées. Ces impacts se combinent de façon synergique avec l'accroissement de la **charge en nutriments** dont la manifestation la plus sensible consiste en de massives proliférations algales (DIREN Fr.-Comté 1994.).

Ces diverses **altérations du milieu pénalisent l'exceptionnel potentiel piscicole** de cette portion du Doubs (SRAE Fr.-Comté 1986, DIREN Fr.-Comté 1994). En réponse à de nettes perturbations observées pour le cycle de vie des salmonidés, et en particulier au niveau de la fraie (RIEGLER 1985), les différentes Associations de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique ont entrepris des actions de **restauration**. Jusqu'à présent, celles-ci

ont été basées principalement sur des **alevinages massifs** en truites fario, essentiellement à partir d'alevins à résorption de vésicule. Parallèlement, les gestionnaires ont effectué des opérations d'améliorations de l'habitat et mené régulièrement des tractations avec les hydro-électriciens pour améliorer la gestion des débits.

Toutefois, étant données à la fois la taille du système considéré et l'ampleur des déséquilibres qu'il subit depuis plusieurs décennies, les gestionnaires de la pêche s'interrogent sur plusieurs points :

- 1) **Quel est l'état de santé actuel des peuplements piscicoles du Doubs franco-suisse ?**
- 2) **Quelle est la part de responsabilité respective des différentes catégories d'altération du milieu dans la réduction des ichtyocénoses ?**
- 3) **Quelle est l'efficacité quantitative des alevinages réalisés ? quel est leur impact sur le patrimoine génétique originel des truites du Doubs ?**
- 4) **Les capacités d'accueil et de production du milieu ne sont-elles limitées que par les perturbations affectant les phases de fraie et de développement initial des alevins ou également par des dérèglements affectant d'autres étapes du développement de la truite ?**

Les deux dernières questions ont déclenché une étude qui s'est attachée à fournir des réponses à l'ensemble de la problématique. Les investigations se sont étendues sur 5 années, de mars 1994 à octobre 1999, afin de tenir compte des variations annuelles et de répondre aux nouvelles questions que les premiers résultats ont soulevées. Au cours de cette période, quatre rapports intermédiaire ont été rédigés par le CSP et l'INRA de Thonon. Le présent rapport constitue la synthèse de l'ensemble des résultats.

Démarche d'analyse

Cette démarche a donc débuté par la mise en place d'un système d'analyse de l'impact des alevinages, à partir de sujets déversés à des stades précoces (le plus souvent des alevins âgés de 1 à 3 semaines, plus rarement des truitelles de 6-8 cm). La mesure de l'efficacité de ces introductions a été rendue possible grâce à une nouvelle méthode de **marquage chimique** (ostéo-marquage) mise au point pour l'anguille (ALCOBENDAS et al. 1991) et adaptée récemment aux salmonidés par l'INRA de Thonon-Les-Bains ((ROJAS BELTRAN *et al.*, 1995, CHAMPIGNEULLE et ROJAS BELTRAN, 2000). Dans le milieu naturel, **tous les individus** provenant d'introductions peuvent alors être repérés et distingués de ceux qui sont nés dans la rivière.

En utilisant cette technique, un marquage massif a été réalisé **trois années de suite, de 1994 à 1996**, sur l'intégralité des truitelles déversées au printemps de chaque année. À la fin de l'été suivant chacun des déversements, des pêches électriques ont été effectuées afin de prélever au hasard des truites sur plusieurs secteurs. Sur chaque site prospecté, la proportion d'individus marqués a été déterminée sur un sous-échantillon.

La triple répétition des mesures permet de tenir compte des éventuelles variations inter-annuelles naturelles (en particulier hydrologiques) susceptibles d'agir sur le succès de la reproduction naturelle, ou/et le bon développement des alevins. En outre, en **1997 et en 1998**, cette vérification a été effectuée sur des truites de mailles capturées à la ligne, afin de suivre l'évolution du taux de marquage avec le vieillissement des cohortes et de préciser l'impact des introductions de truites sur la ressource halieutique.

Parallèlement, à l'occasion des premiers prélèvements par pêche électrique, des inventaires quantitatifs ont été réalisés afin d'**actualiser les données** concernant **l'état de santé des peuplements** de ce secteur du Doubs. Ces estimations des stocks en place ont fourni en outre un calage précieux et permis de resituer les "proportions" indiquées par l'opération de marquage dans un contexte quantitatif absolu variant en fonction des secteurs considérés.

Selon la même optique, un suivi quantitatif a été réalisés en 1994, 1995 et 1999 sur une station située au cœur d'un secteur non aleviné depuis 1996 pour vérifier si les truites provenant d'alevinage se surajoutaient ou se substituaient à celles qui sont issues de la reproduction naturelle. Toutefois la mise hors service de l'usine du refrain du mois d'août 94 au mois de mai 97, en modifiant le contexte hydrologique, a fortement interféré sur cette expérience.

Le but de cette approche était donc avant tout de fournir **des éléments quantitatifs** permettant de se rendre compte du devenir des truitelles alevinées sur les différents points du parcours, après un premier été passé dans le milieu naturel. Mais les investigations qui ont été menées ont aussi permis de circonscrire puis de hiérarchiser les causes des déficits de production notoires sur le Doubs franco-suisse.

Sur chacun des sites témoins choisis pour les prélèvements, selon le type et l'importance des modifications hydrologiques induites par les aménagements hydroélectriques, plusieurs niveaux d'informations emboîtés et complémentaires ont été étudiés. Tout d'abord la **structure du peuplement** a été observée à la lumière d'un référentiel typologique afin d'évaluer l'état de santé global du peuplement du site. Puis l'analyse de la **densité et de la structure des populations salmonicoles** a permis de préciser le potentiel de production en truite en fonction du degré d'artificialisation des débits.

Parallèlement, la contribution des alevinages aux densités des populations en place et du stock capturé à la ligne a été évaluée et discutée à partir de l'analyse des variations spatio-temporelles des taux de marquage. Enfin, les effets relatifs du non-alevinage et du chômage de l'usine du Refrain sur le niveau de recrutement des truites et des ombres ont été étudiés grâce aux 3 inventaires réalisés en 6 ans à l'aval de la restitution de cette installation hydroélectrique.

Les résultats des différentes analyses, synthétisés puis interprétés, ont d'abord permis de dessiner des **orientations** pour restaurer le peuplement piscicole et affiner la gestion halieutique. Parallèlement, des directions de réflexion pour établir un programme de restauration du milieu ont été envisagées. Enfin des **principes** de gestion des peuplements ont pu déjà être soumis à la réflexion des différents gestionnaires. Ils seront ici complétés à l'aide des derniers résultats afin de fournir les **bases d'une gestion piscicole et halieutique rationnelle et efficace**.

Ces différentes opérations ont pu être effectuées efficacement grâce à la **collaboration exemplaire** de plusieurs équipes internationales. Cette étude, financée par l'APPMA "la Franco-Suisse", la fédération du Doubs, l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, l'Agence de l'Eau RMC et le CSP, a en effet été réalisée par la Garderie Commissionnée du Doubs, les services de la pêche des cantons suisses de Neuchâtel et du Jura, les responsables techniques des piscicultures d'Appenans (M. CHAUVET), de Goumois (canton de St Ursanne), de Môtier (Canton de Neuchâtel), de Rosureux (Fédération des APPMA du Doubs), les APPMA suisses et françaises ...

Les inventaires et prélèvements ont été organisés et coordonnés par le CSP (délégation régionale de Lyon et garderie du Doubs) avec l'appui de la DIREN Fr.-Comté. Au sein de l'INRA de Thonon-Les-Bains, Ricardo ROJAS, malheureusement décédé en 1997 s'est occupé de la mise en place du marquage, puis de la préparation et de la lecture des premières séries d'otolithes, avec la collaboration d'un technicien et d'un garde chef de la DR du CSP. Il a ensuite été relayé par Alexis CHAMPIGNEULLE qui a également imaginé et assuré le suivi du taux de marquage des truites capturées par les pêcheurs. Enfin, les données hydrologiques ont été obtenues grâce aux bons soins de MM. RUOTOLO (DIREN Fr.-Comté, pour la Rasse), BOUVIER et EGLY (SHNG helvétique, pour la Combe des Sarrasins, la Goule et Ocourt) et BROCHOT (DIREN de Bassin RMC, pour Goumois).

Figure 1 : sectorisation du Doubs Franco-Helvétique et localisation des sites d'étude

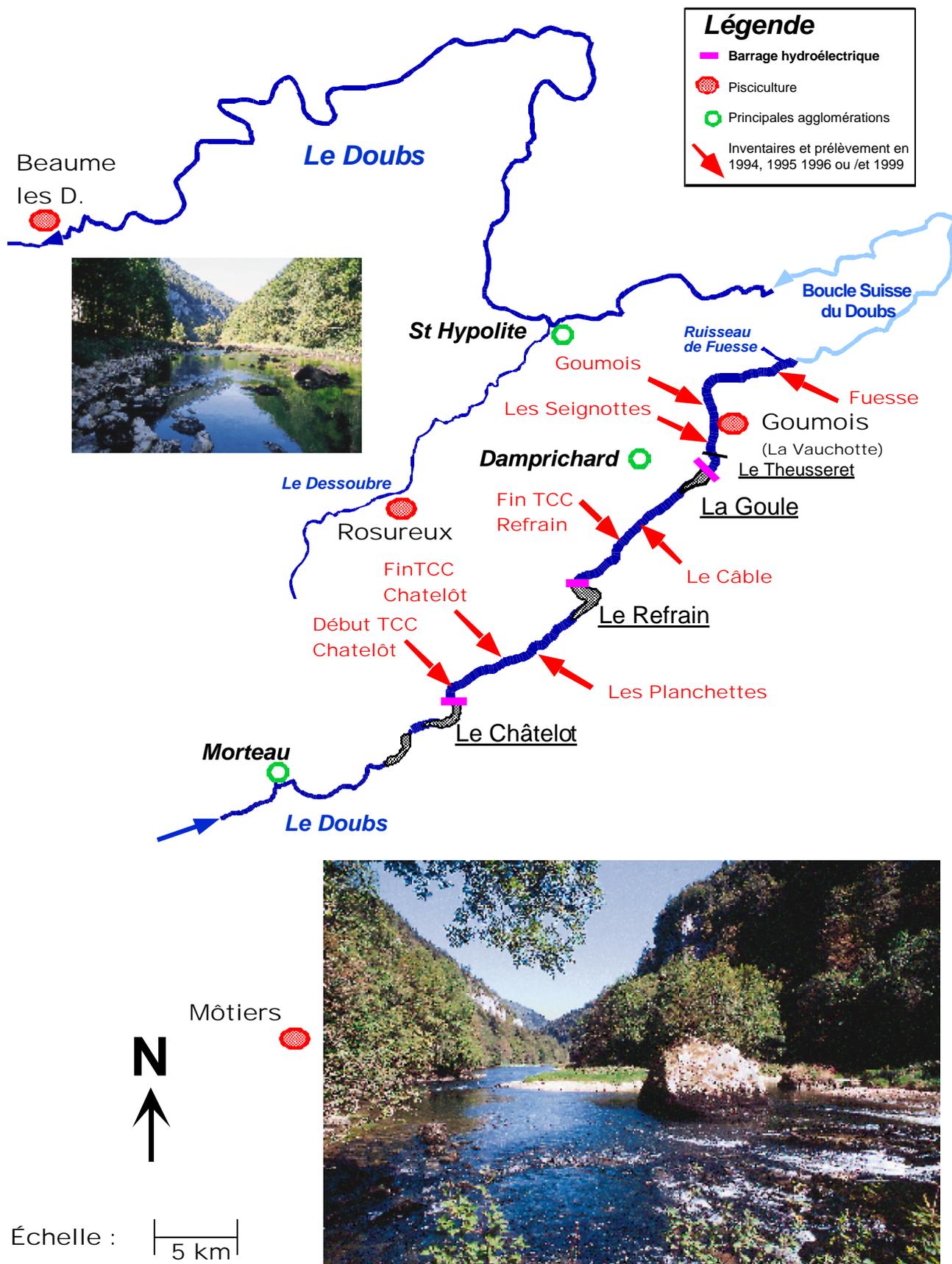
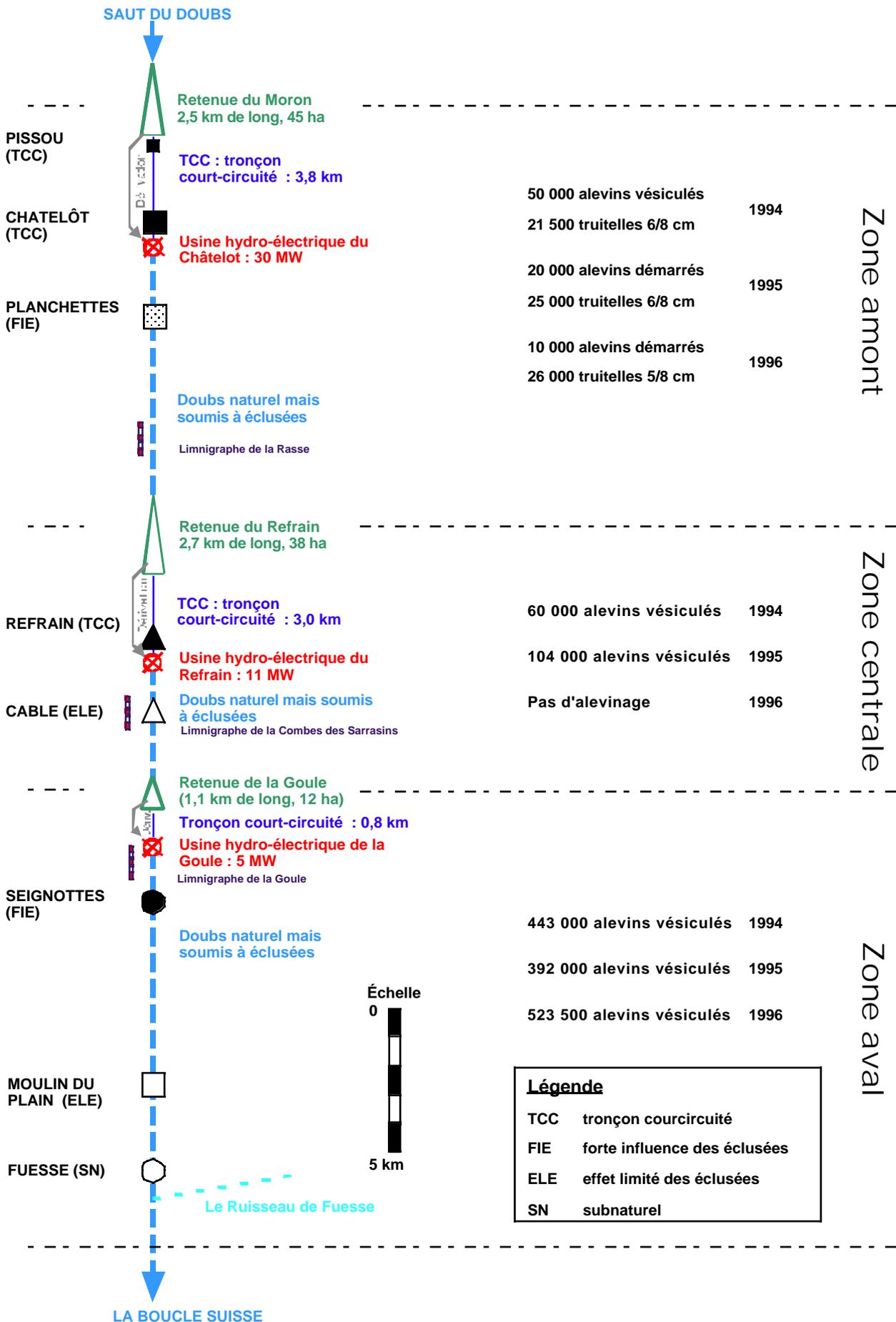


Figure 2 : compartimentage hydraulique du Doubs franco-suisse ; localisation des stations d'étude et densité des alevinages pratiqués (cohortes 1994-95-96).



1. Milieu et méthodes

1-1. Structure et caractéristique du milieu

11-1. Cloisonnement hydraulique de la rivière

Le Doubs franco-suisse, long de 42 km, est segmenté en trois grandes zones par trois barrages (fig.1, tab. I) :

1. la zone amont qui est la zone interbarrage située entre le barrage du Châtelot en amont et le barrage du Refrain en aval.
2. la zone centrale qui est la zone interbarrage située entre le barrage du Refrain en amont et le barrage de la Goule en aval.
3. la zone aval qui est située entre le barrage de la Goule en amont et la limite de la boucle suisse du Doubs en aval.

Parallèlement, chacune de ces trois zones comprend, de l'amont vers l'aval : un barrage, une portion court-circuitée par une conduite forcée, une zone de restitution du débit réservé plus ou moins soumise à éclusée (fig. 2). Chacun des 3 secteurs peut donc être partagé en quatre sous-sections :

- une retenue,
- un tronçon court-circuité,
- un tronçon soumis à fort influence des éclusées,
- un tronçon où l'effet des éclusées est plus limité.

La dernière subdivision est assez théorique car l'effet des éclusées ainsi que leur amortissement dépendent de la nature et de la morphologie des fonds, qui sont difficiles à caractériser. En outre, l'influence de l'artificialisation des débits se fait sentir sur la totalité du linéaire considéré puisque le limnigraphe d'Ocourt, situé dans la boucle suisse, à l'aval du secteur étudié, enregistre encore les effets, sous la forme de brusques variations de niveau pouvant atteindre 10 à 20 cm (SRAE Fr.-Comté 1986, DIREN Fr.-Comté 1994).

Malgré cette réserve, cette double stratification de l'espace a été utilisée pour interpréter l'analyse de la structure des peuplements observés mais aussi pour élucider les variations spatio-temporelles du taux de marquages.

Tableau I : compartimentage du Doubs Franco-helvétique par les barrages qui le jalonnent

Repères	Linéaire (m)	Largeur (m)	Emprise des retenues (m)	Longueur TCC (m)	Sous éclusée * (fort marnage) (m)
LAC CHATELOT	-		2500		
BGE CHATELOT USINE	4300	13		4300	6700
RASSE	11750	15			
DEBUT REFRAIN	12800	24			
BGE REFRAIN	15 500	28	2700		
USINE refrain	18600	15		3100	3500
aval refrain		18			
DEBUT GOULE	23000	28			
BGE GOULE	24000	36	1000		
USINE	24900	38		900	3050
aval goule		39			
BGE LE TEUSSERET	27750	40			
BORNE FRONTIERE	39500	42			
		44			
Total	39500		3700	8300	13250
Total dont Chatelot	42000		6200		
Total hors retenue	35800				

* Données DIREN (1994) mais cette mesure est partielle car les "ondes d'éclusées" sont perceptibles jusqu'en Suisse (limnigraphe d'Orcourt) ...

11-2. Isolement du secteur d'étude et circulation des poissons

Les zones amont et centrale ne comportant pas d'affluent notable, la fraie s'y déroule presque exclusivement dans le cours principal du Doubs. La fraie sur la zone aval peut avoir lieu à la fois sur le cours principal ou dans un affluent frayère, le ruisseau de Fuesse, toutefois situé en limite aval de cette zone.

Parallèlement, les barrages du Châtelot et du Refrain ne permettent pas la remontée de truites. La remontée du barrage de la Goule est très improbable aux stades juvéniles mais on ne peut totalement l'exclure pour des truites plus âgées. La dévalaison de truites sans mortalité est possible pour les truites passant en surverse les barrages du Refrain et de la Goule, mais elle est très improbable dans le cas du barrage du Châtelot. En liaison avec d'importantes hauteurs de chutes brutes (97 et 66 m), la survie des truites passant dans les débits turbinés des barrages du Châtelot et du Refrain est également peu plausible. La zone amont peut donc être considérée comme une zone pratiquement fermée, non colonisable par son amont et son aval.

La zone centrale l'est à un degré moindre car elle est ouverte aux dévalaisons issues de la zone amont (après traversée de la retenue et du barrage du Refrain) et selon la taille et le débit aux colonisations issues de l'aval. Contrairement aux deux unités précédentes, la zone aval est ouverte aux dévalaisons provenant des zones amont et centrale et elle est potentiellement accessible aux migrations vers l'amont issues de la boucle suisse.

On peut conclure que le Doubs franco-suisse n'est pas colonisable par des dévalants issus du Doubs en amont du barrage du Châtelot. La colonisation de la zone aval du Doubs franco-suisse par des truites de repeuplement issues de déversements non marqués dans la boucle suisse ne peut être totalement exclue. Cependant, comparativement aux phénomènes de dévalaison, les recolonisations de sites amont par des alevins de repeuplement sont généralement de faible ampleur comparativement à la colonisation du site même de déversement ou des zones situées juste en aval du déversement (CRESSWELL, 1981).

Aux stades juvéniles, les possibilités de mouvements entre le Doubs suisse et le Doubs franco-suisse sont de toute façon limitées par la présence d'un petit barrage situé en aval de la zone aval. Au stade adulte, les mouvements amont de grande amplitude concernent chez la truite surtout les géniteurs qui effectuent une migration de reproduction au cours de la période octobre à décembre (OVIDIO, 1999). Ce type de migration concerne peu les immatures (RAGON *et al.*, 1990) et, pour ce qui est des géniteurs, la migration est suivie d'un *homing* post-reproducteur rapide (OVIDIO, 1999).

Tableau II : tendances hydroclimatiques observées sur le secteur d'étude entre 1993 et 1999

	Incubation/émergence		Croissance printannière			Croissance estivale			Fraie automnale			
	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
1993										Hum	Sec	Hum
1994	Hum+	Moy	Moy	Hum	Moy	Moy	Sec+	Sec+	Moy	Sec	Moy	Moy
1995	Hum+	Hum+	Hum	Moy	Moy	Moy	Sec	Sec	Moy	Sec	Moy	Moy
1996	Moy	Sec	Moy	Sec	Moy	Moy	Moy	Moy	Sec	Moy	Moy	Hum
1997	Moy	Moy	Moy	Sec	Moy	Moy	Moy	Moy	Sec	Sec	Moy	Hum
1998	Moy	Moy	Moy	Moy	Sec	Sec	Sec+	Sec+	Moy	Moy	Moy	Moy
1999	Moy	Hum	Hum	Hum	Hum	Moy	Moy	Sec	Sec	Sec		

Hum+ mois très humide : débit moyen mensuel $> 2 \times$ le module
Hum : mois humide : débit moyen mensuel $1,6 \times$ le module
Moy : mois moyen : débit mensuel entre $0,4 \times$ le module et $1,6 \times$ le module
Sec : mois sec : débit moyen mensuel $0,4 \times$ le module
Sec+ : mois très sec : débit moyen mensuel $> 0,1 \times$ le module

MEYERS et al. (1992) montrent la faiblesse de l'amplitude des mouvements estivaux des truites communes sédentaires d'une rivière du Wisconsin. On peut donc faire l'hypothèse que la population en place en début automne et les captures par pêche à la ligne sont, dans le contexte du Doubs franco-suisse, peu influençables par les apports des parties situées en amont et en aval.

11-3. Hydrologie et variations hydroclimatiques

Les caractéristiques hydrauliques et hydrologiques de cette portion du Doubs sont déterminées à la fois par le régime karstique de la rivière et par l'artificialisation des débits engendrée par l'exploitation des trois ouvrages hydroélectrique (BOUVIER 1989-1997). À cause de la nature internationale du Doubs frontière, les débits réservés baignant les trois tronçons court-circuités sont pour l'instant très nettement inférieurs au dixième du module interannuel préconisé par la loi française comme valeur-plancher pour les rivières de ce gabarit. En outre, le fonctionnement en écluse engendre de brusques variations de niveau, tout en diminuant fortement le débit à l'aval de la restitution durant les phases de rétention d'eau (cf. § IV).

De façon à pouvoir interpréter les éventuelles variations interannuelles de l'impact de l'alevinage, les tendances hydroclimatiques globales ont été caractérisées par l'examen des débits moyens mensuels (tab. II et ann. I). Ces données proviennent de 4 stations limnigraphiques (fig. 1 et 2) et ont été fournies par 3 centres de mesures hydrologiques :

- la Rasse	Aval Châtelot	Diren Franche-Comté
- La Combe des Sarrasins	Aval Refrain	SHGN helvétique
- La Goule	Aval la Goule	SHGN helvétique
-Goumois	Aval du Theusseret	Diren de Bassin RMC

Selon cette vision synoptique du régime hydrologique, la période de fraie 93/94 a été marquée par une succession de crues qui s'est prolongée pendant la première partie de la phase d'incubation des œufs (pointe de crue à 180m³/s en janvier 1994). Les alevins de truites ont également connu une période de hautes eaux en avril 1994, au début de leur période de croissance. Les mois de juillet et d'août suivants se sont signalés par une sécheresse relativement accentuée.

Si la reproduction 94/95 s'est déroulée en eaux moyennes, l'année 1995 a été caractérisée par une forte hydrologie, en particulier durant la phase d'incubation puis d'émergence et de croissance initiales des alevins. Une pointe de crue de 260 m³/s a été enregistrée en janvier 1995. En revanche, l'étiage estival s'est révélé modéré.

La saison 95/ 96, après une pointe de crue en décembre 1995, a été marquée par des périodes d'étiage prononcé en hiver (février), au printemps (avril) et en automne (septembre). À la sécheresse automnale ont succédé des phases de hautes eaux en novembre et décembre 1996. L'année 1997 n'a connu de crue marquée qu'en décembre, à la suite d'un léger déficit en eau d'août à octobre, lui-même précédé d'une période de basses eaux enregistrée en avril. En 1998 l'étiage s'est étendu de mai à août tandis que des crues modérées émaillaient le dernier trimestre. Enfin, l'année 1999 a été marquée d'une succession de crues printanières (pointe à 288 m³/s en février 1999).

Parallèlement à ces variations naturelles, le degré d'artificialisation des débits a été modifié à l'aval du barrage du Refrain entre l'été 1994 (20 août) et l'été 1997 (20 juin). En effet, en raison de réparations dans la galerie de dérivation, cette installation n'a pas turbiné au cours de cette période, le débit amont passant par surverse au barrage (communication oral des agents EDF, réunion du 22/11/96). Le plan d'eau du Refrain est resté en eau, amortissant sans doute quelques peu les éclusées du Châtelot. Durant cette période, l'usine du Refrain n'a pas ajouté ses propres effets d'éclusées, sauf peut être au cours de période d'essai ou de manœuvres ponctuelles (cf. § 3-4.). La zone aval a donc connu 3 saisons de fraie (94-95, 95-96 et 96-97) et une **période de presque 3 ans dans des conditions hydrauliques moins perturbées** qu'en période habituelle d'exploitation.

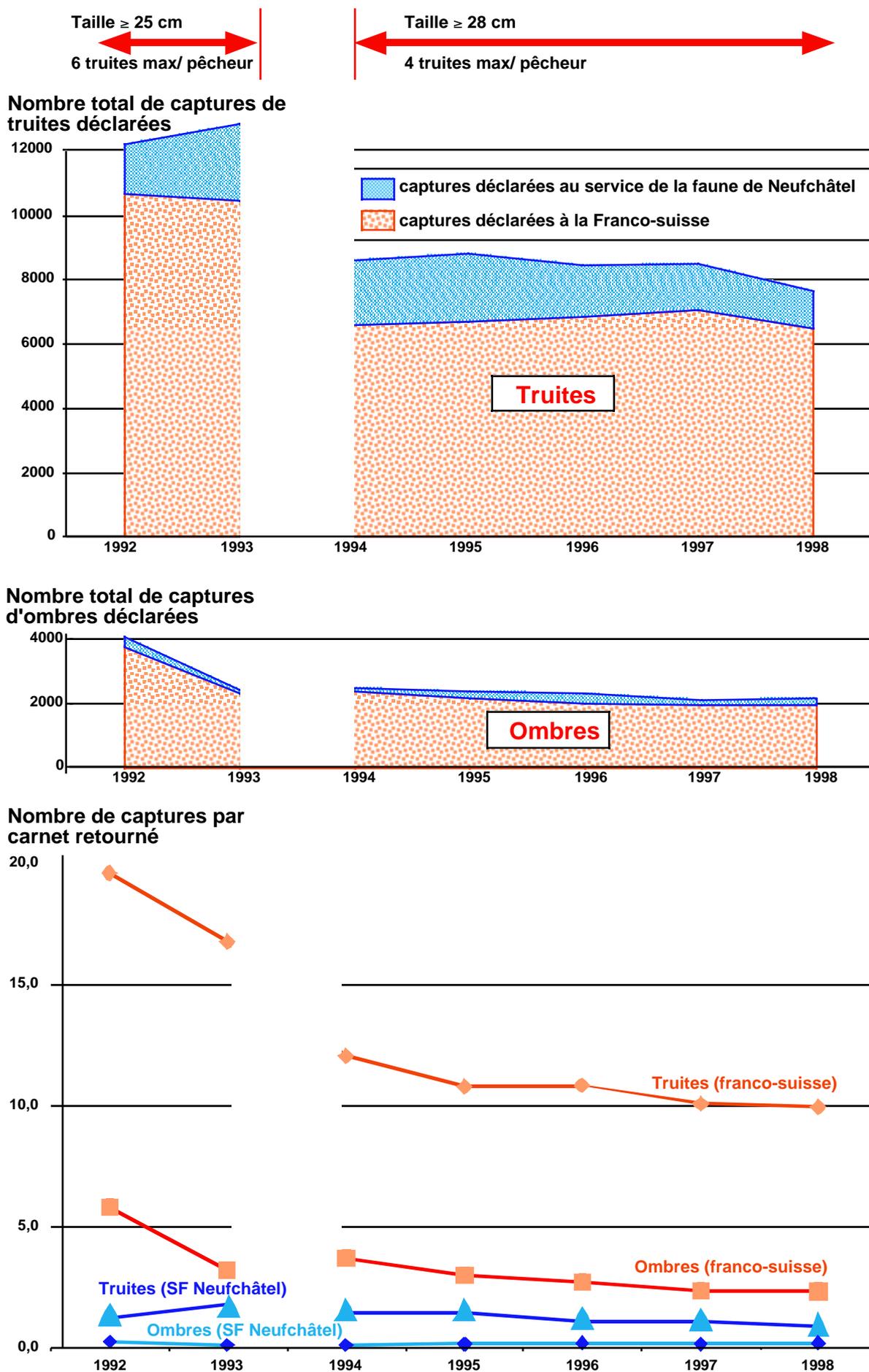
1-2. Pression de pêche et pratiques de repeuplement

12-1. Caractéristiques générales de la pression de pêche à la ligne

Sur le site d'étude, la pêche est gérée différemment en fonction des zones. La zone amont est gérée conjointement par plusieurs associations ; la taille minimale et le nombre maximal de captures journalières sont respectivement de 28 cm (depuis 1994) et de 6 prises par jour. Les zones centrales et aval sont gérées par une seule association franco-suisse, celle de Goumois. Comme sur la zone amont, la taille minimale de capture est de 28cm depuis 1994 (25cm avant 94). Par contre le nombre maximal de captures est passé de 6 par jour avant 1994 à 4 par jour depuis 1994.

Par ailleurs, les pêcheurs pratiquant sur ces 2 dernières zones, remplissent un carnet de pêche obligatoire où le nombre de prises journalières de truite et d'ombre sont répertoriées. Les données de statistiques de pêche sont recueillies à partir des carnets retournés à l'AAPPMA. L'essentiel de l'effort de pêche et des captures sont réalisées sur la zone aval qui constitue près des 3/4 des surfaces de zones courantes du parcours et parce que la zone centrale est située dans des gorges moins accessibles.

Figure 3 : capturés d'ombre et de truites déclarés à la Franco-Suisse et au service de la faune du canton de Neuchâtel



Le carnet de pêche a été introduit sur les zones centrales et aval à partir de 1992 (fig. 3). La double mesure (à partir de 1994) : diminution de 6 à 4 du quota journalier et passage de 25 à 28 cm (longueur totale) de la taille légale de capture semble avoir effectivement eu l'effet escompté de baisse du nombre de captures (fig. 3). Les captures déclarées sont passées du niveau 10 500 (17-20/pêcheur retournant son carnet) au niveau 7 000 et les captures moyennes par pêcheur sont passées de 17-20 à 10-12. Depuis 1994, les captures annuelles sont restées stables, oscillant entre 6 700 et 7 200, avec un effort de pêche déclaré stable (614 à 700 carnets retournés). Le poids moyen des captures a probablement augmenté, en relation avec l'augmentation de la taille minimale légale mais, en l'absence de données sur la structure de taille des captures, on ne peut quantifier la variation en biomasse. Pour les deux modes de gestion, les mois de plus fortes captures sont en mai-juin (ann. 2). Le taux de retour des carnets pour les saisons 97-98, plus particulièrement suivies, est de 70%.

12-2. Génétique et repeuplement : qualité des alevinages

Pour tenter de compenser les effets néfastes des ouvrages hydroélectriques sur le milieu et répondre à l'accroissement de la demande des pêcheurs, les gestionnaires de la pêche ont pratiqué d'importantes opérations de repeuplement en truites pendant plusieurs dizaines d'années. Plusieurs études génétiques (GUYOMARD 1989, LARGIADER et SCHOLL 1996) ont montré que la truite autochtone du Doubs est de forme méditerranéenne. Or la plupart des souches de repeuplement utilisées dans le Doubs français, franco-suisse et suisse au début et dans la phase d'intensification de cette pratique (entre le milieu du siècle et les années 1980) étaient originaires de stocks domestiques de forme atlantique.

Il s'est ensuite développé une pratique de repeuplement utilisant à des degrés divers des géniteurs prélevés dans le Doubs et ayant des robes zébrées avec 100% de points noirs, jugées caractéristiques par les gestionnaires de la truite sauvage autochtone du Doubs (DS=Doubs Supposé). Dans un premier temps, et c'est le cas des cohortes 1994-95-96 concernées par la présente étude, la part dominante des alevins était issue de géniteurs hybrides dits "demi-sang" (mâles ou femelles atlantiques domestiques X DS). Le plus souvent, c'est la femelle qui était atlantique. La tendance la plus récente est à l'accroissement des alevinages à partir de croisements mâle-DS X femelle-DS.

Actuellement, d'après LARGIADER et SCHOLL (1996), deux phénotypes distincts extrêmes de truite (*Salmo trutta*) pouvaient être observés sur la boucle suisse et la partie amont Doubs Franco-Suisse :

Photo 1 : truite appartenant au phénotype supposé typique du Doubs



Photo 2 : truite à l'allure hybride (zébrures et nombreux points rouges)



- * Le premier phénotype est caractérisé par 4 larges bandes sombres, bien visibles dans l'eau sur les spécimen vivants mais disparaissant rapidement après la mort, et la présence de petites taches noires irrégulières et intensément pigmentées (photo 1). Les larges bandes sombres ne deviennent généralement visibles qu'au cours du stade 2+ (3^{ème} année de vie) (MEZZERA *et al.*, 1997). Il n'y a pas de tache rouge ou très peu ($n < 5$ et petites et irrégulières). L'étude génétique d'échantillons de truites prélevés dans le Doubs franco-suisse (zone amont) et la boucle suisse dans la période 1991-94 a montré que, pour ce secteur, c'était parmi les truites présentant ce phénotype que l'on trouvait les poissons de souche méditerranéenne (LARGIADER et SCHOLL 1996).
- * L'autre phénotype ne présente pas les 4 larges bandes sombres et mais montre des ponctuations rouges et noires plus grosses, arrondies dont certaines sont cerclées d'un halo plus clair. Il existe par ailleurs de très nombreux phénotypes intermédiaires (photo 2). D'après les analyses génétiques de LARGIADER et SCHOLL (1996), ces formes correspondent, sur le secteur qui a été étudiés à des truites issues de souches atlantiques et à des hybrides entre les deux lignées.

12-3. Intensité et répartition des alevinages

Dans la période d'étude, les alevins relâchés proviennent de 4 piscicultures : la pisciculture de Rosureux (fédération des APPMA du Doubs), la pisciculture d'Appenans (M. Chauvet), la pisciculture de Môtiers (Canton de Neuchâtel) et la pisciculture de Vauchotte à Goumois (Canton de St-Ursanne). La pression d'alevinage totale sur le Doubs franco-suisse a légèrement fluctué autour de 550 000 alevins par an puisqu'elle est passée de 573 000 en 1994 à 541 000 en 1995 puis à 560 000 en 1996 (fig. 2). La nature et la densité des alevinages varient d'une zone à l'autre.

Pour la période 1994-96, les zones centrale et aval ont été essentiellement repeuplées avec des stades précoces : alevins vésiculés (non nourris) ou juste démarrés (nourris quelques jours), pour la plupart d'origine demi-sang. Les alevinages ont été effectués tout au long du parcours d'eau courante de 36 km, à partir de poissons provenant de 4 piscicultures (fig.1). Le ruisseaux de Fuesse était lui aussi aleviné chaque année avec 20 à 50 000 truitelles démarrées ou vésiculées.

Sur la zone aval, la densité d'alevinage a peu varié avec une valeur de 70-62-83 alevins vésiculés /100m² de zone courante, respectivement pour chacune des années 1994-95-96. Pour la zone centrale, comparativement à la zone aval, la densité d'alevinage a été inférieure (32 alevins vésiculés/100m²) en 1994, voisine (56 alevins vésiculés/100 m²) en 1995 et il n'y a pas eu d'alevinage en 1996. A l'inverse des 2 autres zones ce sont surtout des stades plus avancés (alevins démarrés et des truitelles de 6/8 cm) qui ont été déversés dans la zone amont (fig. 2).

1-3. Méthodes et modalités spatio-temporelles des mesures

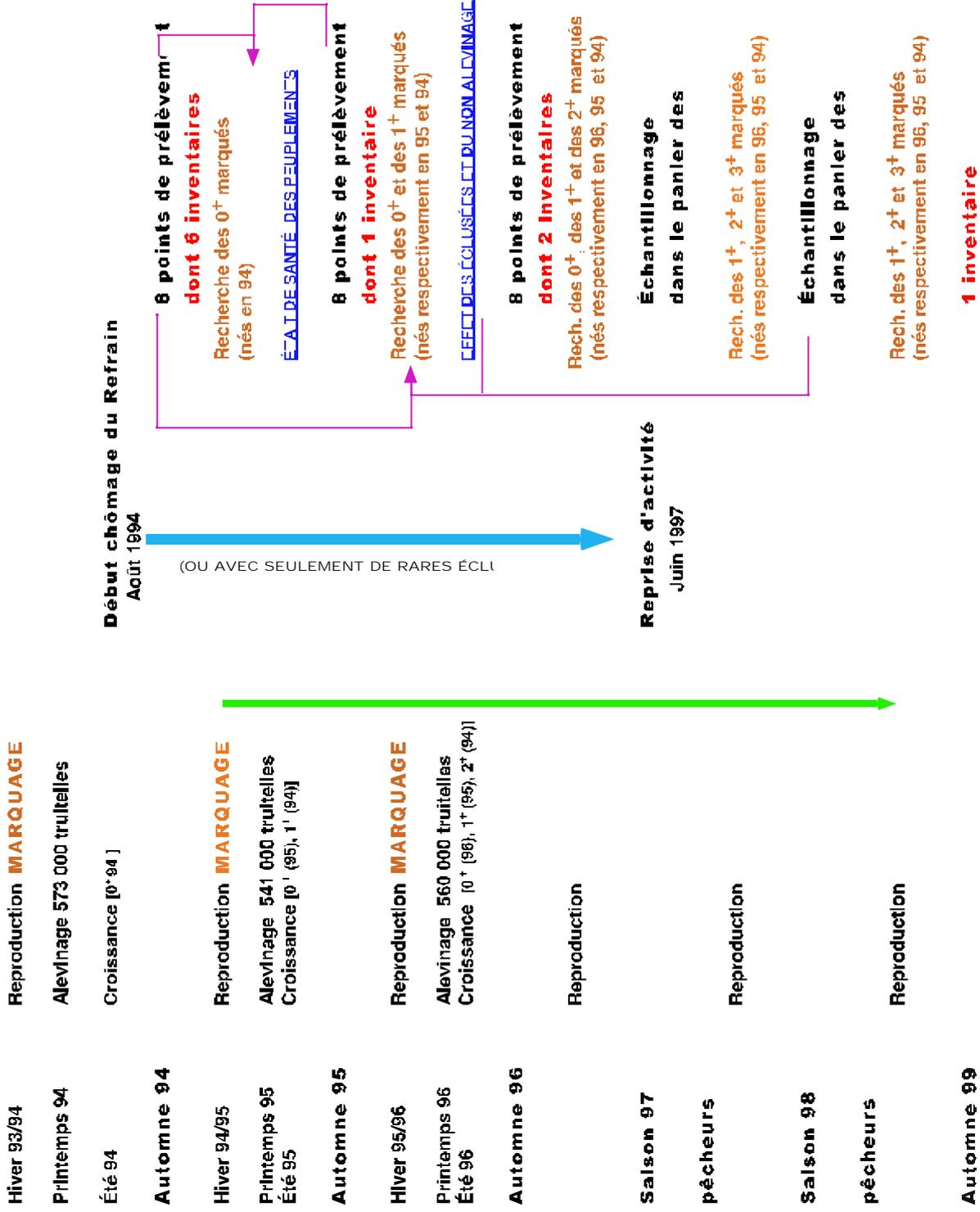
13-1 Stratégie global d'approche et d'étude

Pour atteindre les objectifs définis dans l'introduction de ce rapport en tenant compte de la structure du milieu et des caractéristiques des alevinages dont on mesure l'efficacité, la démarche de diagnose a été menée de 1994 à 1999 en suivant les 6 étapes décrites ci-dessous (fig. 4) :

- 1) En janvier et février des années 1994, 1995 et 1996, la totalité des alevins et truitelles destinées à être déversés sur le parcours Franco-Suisse du Doubs, entre le barrage du Châtelot et la borne frontière de Fuesse, **a été marquée** chimiquement au stade œufs et/ou alevins vésiculés, en pisciculture, suivant le procédé décrit au § 2-2 ci-dessous. L'opération a été réalisée sur les 4 sites produisant les alevins (fig. 1).
- 2) Des pêches électriques d'inventaire ou de sondage/récupération ont été effectuées en septembre 1994, en octobre, 1995 et en octobre 1996 dans un double but.
 - D'une part, ces différentes opérations ont permis de capturer **des échantillons de truites** appartenant aux différentes classes d'ages concernées par les marquages successifs : 0+ en 94, 0+ et 1+ en 95, 0+, 1+ et 2+ en 96.
 - D'autre part, les inventaires réalisés en 1994 et en 1995 ont servi à analyser la structure **quantitative** des peuplements piscicoles de plusieurs secteurs soumis à des degrés d'artificialisation des débits différents.
- 3) Les truites prélevées ont été examinées en laboratoire et la **proportion de sujets provenant de pisciculture a été mesurée** pour chaque station pêchée.
- 4) Les données sur les taux de marquage ont été **analysées et interprétées** en tenant compte, en plus des modalités des alevinages, de la **structure quantitative des peuplements** piscicoles et de l'intensité des perturbations subies par chaque secteur.
- 5) Pour vérifier si les truites alevinées s'ajoutaient ou se substituaient aux poissons nés dans la rivière, un secteur n'a pas été aleviné de 1995 à 1999. Les pêches d'inventaire réalisées sur des sites témoins en 1994, 1996 et 1999 étaient destinées à mesurer cet effet de non-alevinage.
- 6) Pour contrôler l'évolution du taux de marquage des truites avec le vieillissement des cohortes, des échantillons de truites "de maille" capturées à la ligne ont été analysés en 1997 et en 1998.

Figure 4 : stratégie d'étude des peuplements piscicole du Doubs franco-suisse et de l'efficacité des alevinage en truite

Calendrier Populations de truites Milieu Investigations



13-2. Marquage des poissons alevinés

Principe

Tous les poissons alevinés au cours des années 1994, 1995 et 1996 ont été repérés à l'aide d'un **marquage vital par incorporation osmotique de tétracycline** lors du développement embryonnaire et/ou des alevins vésiculés. Cette technique a été développée à l'origine pour marquer les œufs de truites à la fécondation (Weber et Ridgway 1967, Meunier 1972, Ruhlé et Grieder 1989). Puis elle a été modifiée pour être appliquée à des marquages à des stades plus tardifs, d'abord pour des anguilles au stade civelles (ALCOBENDAS et al. 1991) puis à nouveau pour des salmonidés (ROJAS BELTRAN *et al.*, 1995, CHAMPIGNEULLE et ROJAS BELTRAN, 2000).

Ce procédé rend possible le suivi d'alevinages à partir de sujets déversés à des stades précoces. Comme il s'agit d'une méthode de marquage de masse, il a permis d'identifier tous les alevins déversés dans le Doubs franco-suisse. Les non marqués proviennent du recrutement naturel si l'hypothèse d'apports nuls ou très limités de truites de repeuplement par les portions adjacentes est faite (cf. § 22-3). Par conséquent, dans la suite du texte, on adoptera l'équivalence : truite marquée=truite issue du repeuplement et truite non marquée=truite issue du recrutement naturel.

Description sommaire du procédé (Rojas-Beltran et al. 1995)

Le marquage a été réalisé à un stade très précoce (surtout alevins vésiculés et une partie au stade œuf en 1994). Le marquage a été effectué par balnéation dans une solution salée (5% de NaCl) contenant 1% de chlorhydrate de tétracycline. Le temps de balnéation a été de 10 à 20 mn au stade œuf en fin d'incubation et de 3 (premier bain) à 3,5 mn (bains ultérieurs) au stade d'alevin vésiculé.

Le produit pénètre par osmose et se fixe sur les otolithes (petites pièces osseuses de la tête, constituants de l'oreille interne) lors de leur calcification et y laisse une marque chimique. Un lot témoin des alevins marqués en 1994 a été gardé en pisciculture, puis examiné un peu après marquage et plus tardivement en fin de quatrième et de cinquième année (taille de 45 à 55 cm). Les contrôles de marquage réalisés sur ces lots témoins indiquent 100 % de rétention des marques.

Les individus capturés ultérieurement dans le milieu naturel **doivent être sacrifiés** si l'on veut vérifier s'ils ont été marqués : les otolithes sont prélevées pour examen en laboratoire. Après polissage et montage, ces pièces osseuses sont observées sous un microscope à fluorescence : la tétracycline, qui est la substance servant de marqueur, a en effet la particularité d'émettre une fluorescence jaune ou bleue, absente dans le cas des individus nés dans le milieu naturel (photo 3).

En résumé, toutes les truitelles déversées (quel que soit leur stade de déversement) ont subi un "fluoro-marquage" des os de leur oreille interne. Un lot de truites marquées a été conservé en pisciculture afin de servir de témoin.

Intérêt spécifique de ce type de marquage :

Ce type de marquage présente plusieurs avantages décisifs :

- L'identification des individus marqués est fiable.
- Il autorise le marquage d'œufs et d'individus de très petites tailles (impossible ou très limité dans le cas des procédés par marques internes ou externes), ce qui permet de suivre le devenir des alevinages réalisés à n'importe quel stade (œufs en boîte Vibert, alevins vésiculés, truitelles...).
- Le repérage d'une très grande quantité d'alevins est réalisable. Dans le cadre de cette étude, la totalité des alevinages réalisés sur le tronçon du Doubs Franco-Suisse a été marquée, soit plus de 540 000 poissons par an, ce qui permet d'obtenir pour les résultats une bonne précision assortie d'un faible risque d'erreur statistique.
- Les marques restent visibles plusieurs années, mais plus la marque est ancienne, plus la préparation des otolithes avant la lecture est difficile (ponçage et polissage progressifs pour atteindre le centre de l'otolithe, où la marque est visible).

13-3. Inventaires des peuplements

Localisation des sites d'inventaires

Afin de pouvoir interpréter les résultats relatifs (proportions des truitelles provenant d'alevinage) obtenus par la lecture des otolithes, il nous a paru indispensable de réaliser des inventaires quantitatifs qui fournissent des estimations quantitatives absolues (densités et stock). Dans cette optique, il convenait de tenir compte des hétérogénéités spatiales caractérisant le Doubs franco-suisse et qui sont rappelées au § 1-2.

Par conséquent, les sites de prélèvement ont été choisis de façon à recouvrir trois de ces 4 catégories hydromorphologiques (tab. III). Suivant ce principe, **6 inventaires** par pêches électriques exhaustives **à deux passages** (une électrode tous les 4 mètres, soit de 6 à 12 électrodes de front, *photo 4*) ont été réalisés en septembre 1994 sur les secteurs suivants, cités d'amont en aval :

Photo 3 : otolithe de truite présentant deux marques fluorescentes résultant d'un double marquage au stade oeuf et au stade alevin vésiculé

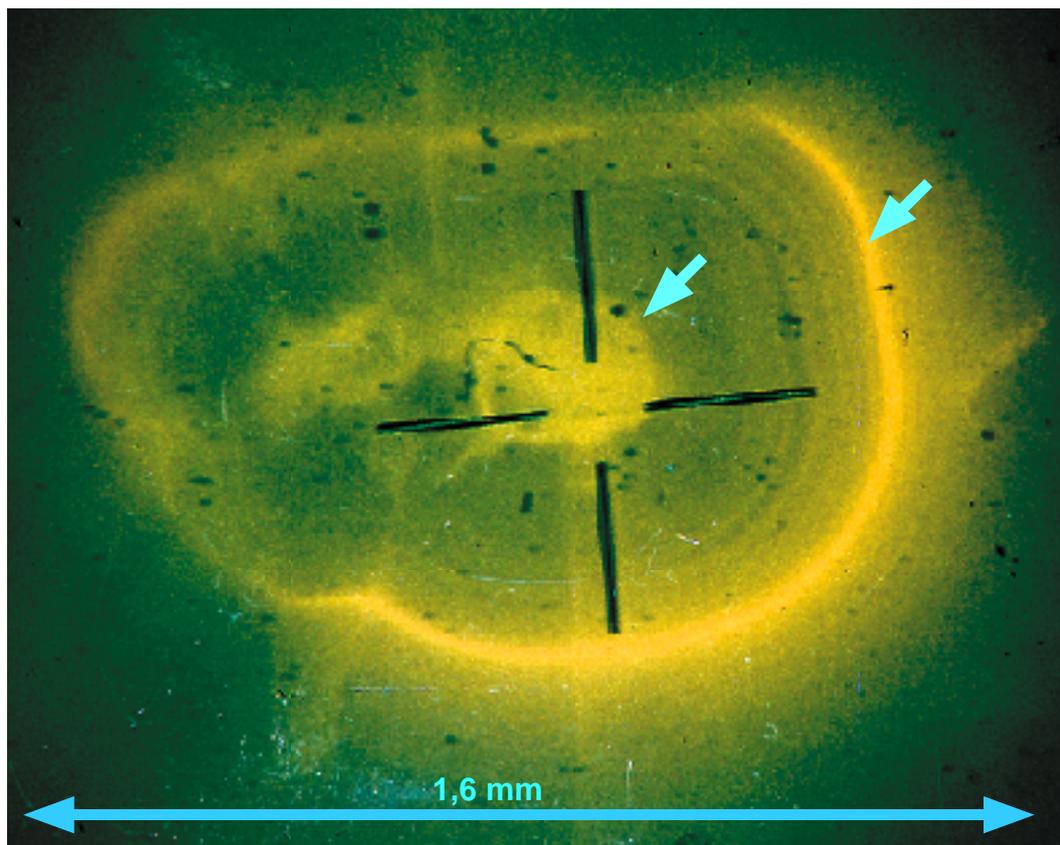


Photo 4 : pêche électrique exhaustive à 2 passages : alignement de dix anodes



N°	Stations d'étude	L. m	I. m	surf. m ²	1994 septembre	1995 octobre	1996 octobre	1999 septembre
0	Les Forges du Pissou début TCC châtelot	170	13	2040		inventaire échantillons	échantillons	
1	Le téléphérique fin TCC Châtelot	117	13	1521	inventaire échantillons	échantillons		
2	Les Planchettes 0,5 km aval restitution Châtelot	97	14	1358	inventaire échantillons	échantillons		
3	Les Échelles de la Mort fin TCC Refrain	85	17	1445	sondage échantillons	échantillons	sondage échantillons	
4	Le Câble 1,5 km aval restitution Refrain	210	30	6300	inventaire échantillons	échantillons	inventaire échantillons	inventaire
9	Amont la Goule	-	-	-			échantillons	
5	Les Seignottes 0,5 km aval restitution La Goule	86	31	2666	inventaire échantillons	échantillons	inventaire échantillons	
6	Moulin du Plain (Goumois)	100	35	3500	inventaire échantillons	échantillons	échantillons	
7	Le Doubs à Fuesse	-	-	-	échantillons	échantillons	échantillons	
8	Ruisseau de Fuesse	-	-	-	sondage échantillons			

L. : longueur des stations

I. : largeur moyenne

surf. : surface prospectée

Tableau III : listes des stations échnatilonnées et des inventaires réalisé sur le Doubs Franco-Suisse entre 1994 et 1999

- Tronçon court-circuité du barrage du Châtelot à l'amont immédiat de l'usine électrique.
- Les Planchettes à l'aval immédiat de l'usine électrique : forte influence des éclusées.
- Tronçon court-circuité du barrage du Refrain (Échelle de la mort).
- Le Câble (1,5 km à l'aval de la restitution du Refrain) : effet limité des éclusées.
- Les Seignottes (aval du barrage du Theusseret) : forte influence des éclusées.
- Le Moulin du Plain au "parcours mouche" : effet limité des éclusées.

En raison de mauvaises conditions hydrologiques régnant à la fin de la campagne de prélèvement, seul **1 sondage** a pu être réalisé sur le Doubs à Fuesse, considéré comme "subnaturel". Dans ce cas, seul le prélèvement d'un échantillon de truitelles a pu être effectué. Enfin, dans le cas du ruisseau de Fuesse (traité comme un système séparé) le stock de truitelles a pu être évalué grâce à la récupération des truitelles effectuée en novembre 1994 dans ce ruisseau géré, pour l'instant, comme un ruisseau pépinière.

En revanche le tronçon court-circuité du Châtelot, à la fois long et hétérogène, a été prospecté une deuxième fois par inventaire en 1995. Ces inventaires par pêche électrique ont servi à la fois à prélever des échantillons de truites et à analyser la structure quantitative des peuplements et des populations de truites et d'ombre.

Méthode d'appréciation de la qualité des peuplements

Les bilans de qualité des peuplements de poissons effectués ici sont basés sur des comparaisons (en termes de densités numériques et pondérales) entre les peuplements observés et les peuplements "référentiels" qui seraient associés à chaque type écologique, en l'absence de toutes dégradations.

Le type écologique d'un tronçon de cours d'eau, déterminé selon l'approche définie par Verneaux (1973-1976), constitue une expression synthétique de la position du milieu étudié le long de la structure longitudinale du modèle cours d'eau. Cette notion est plus schématiquement approchée par la zonation piscicole de Huet, qui est aussi plus connue des pêcheurs (zones à truites, à ombres, à barbeaux, à brèmes...).

En effet **le long d'un cours d'eau, les paramètres physico-chimiques hydromorphologiques et trophiques auxquels sont sensibles les poissons changent** : en fonction de la combinaison de ces facteurs du milieu, le **peuplement-type** évolue lui aussi. Pour le secteur étudié, ces niveaux typologiques varient entre B3+ (Grand'Combe des bois) et B5 (Goumois), ce qui correspond à une amplitude allant de la zone supérieure à truite au début de la zone ombre (Verneaux 1973).

Pour chaque type écologique, calculé en fonction des caractéristiques du milieu (Verneaux 1977), le **peuplement référentiel** associé indique quelle devrait être l'abondance des espèces. Les densités numériques observées lors des inventaires réalisés (résultats bruts en ann. 3) ont été converties en **classes d'abondance propres à chaque espèce** dans le dessin de faciliter les comparaisons et de rendre les chiffres plus significatifs (Verneaux 1973) :

0,1	: présence sporadique	3	: moyenne
1	: très faible,	4	: forte
2	: faible,	5	: très forte.

En prenant en compte **la totalité des espèces**, une évaluation de la **valeur globale du peuplement** peut ainsi être proposée pour chaque station : elle servira à éclairer et à préciser le diagnostic effectué sur les populations salmonicoles. Cet état de santé est exprimé par 5 classes (peuplement nul, très altéré, altéré, sub-référentiel, référentiel). En outre, sur certaines stations, l'évolution des peuplements a pu être visualisée par des comparaisons avec des inventaires antérieurs, lorsque ces données existaient (fig. 5 à 11)

Approche de la structure des populations de truites

En complément de cette appréciation de la qualité globale des peuplements, une analyse plus fine de la structure des populations de truites échantillonnées a été réalisée. Pour cela les densités numériques des différents stades puis les biomasses totales observées pour cette espèce ont été comparées avec des valeurs référentielles (CSP DR 5 1995-a). En particulier, comme le Doubs franco-suisse est une rivière à truite de grande dimension, à fort débit et dont la morphologie des fonds n'a pas été bouleversée (hors des retenues hydroélectriques), **les biomasses salmonicoles devraient dépasser 350 kg/ha.**

Ce registre de valeurs correspond en effet aux meilleures rivières à truite du bassin du Rhône : la Loue dans le Doubs, l'Ain dans le Jura, certaines stations de la Bienne, la Bourne dans le Vercors ... De telles densités ont pu également être observées en 1985 sur le Doubs apical en amont de Pontarlier, qui abritait par exemple une biomasse de 531 kg/ha au niveau de Gelin (SRAE Fr.-Comté 1986). Sur son cours supérieur, le Doubs est moins large que sur sa partie franco-helvétique (15 à 30 m au lieu de 20 à 45 m), mais il est associé à des types écologiques équivalents ou proches (B3 à B4 au lieu de B3 à B5).

13-4. Analyse du taux de truites marquées.

Prélèvements par pêches électriques de 0+, 1+ et 2+ "en place"

Sur chaque site, il avait été choisi de prélever au moins 60 truitelles 0+ (au mieux une centaine) par pêche électrique. En échantillonnant ce nombre minimum, on garantit à l'estimation de la proportion d'individus marqués un intervalle de confiance **absolu** aux alentours de 10 points de pourcentage (cf. tab. IV ci-dessous). Ces valeurs ont été calculées à l'aide des formules indiquées par Scherrer (1983).

Effectif de l'échantillon	Intervalle de confiance <u>absolu</u> au seuil de risque de 5%	Intervalle de confiance <u>absolu</u> au seuil de risque de 1%
<i>400</i>	± 5 %	± 6 %
100	± 10 %	± 12,5 %
60	± 12,5 %	± 16 %
30	± 17,5 %	± 23 %

Tableau IV : relation entre la taille de l'échantillon et l'amplitude de l'intervalle de confiance associée à l'estimation de la proportion d'individus marqués dans la population correspondante.

Exemple 1 : si, pour un tronçon donné, on trouve 40 truitelles marquées sur 100 prélevées, on peut estimer que la proportion de truitelles provenant d'alevinage varie entre 30 et 50% avec 95 chances sur 100 de ne pas se tromper (cf. valeurs en **caractères gras** du tableau).

Exemple 2 : si, pour un tronçon donné, on trouve 20 truitelles marquées sur 400 prélevées, on peut estimer que la proportion de truitelles provenant d'alevinage varie entre 14 et 26 % avec 99 chances sur 100 de ne pas se tromper (cf. *valeurs en italique* du tableau).

Sur certains sites où la très faible densité de truitelles n'a pas permis d'atteindre un effectif suffisant, les échantillons ont parfois dû être regroupés pour fournir des résultats significatifs au point de vue statistique. En revanche, les résultats acquis chaque année sur l'ensemble du Doubs franco-suisse sont associés à des effectifs assez grands et donc à des intervalles de confiance très satisfaisants (cf. § 3-3).

En octobre 1994, les secteurs d'étude ont fait l'objet d'un inventaire par pêche électrique (exhaustive à 2 passages). Les alevins potentiels de l'année (longueur totale <14 cm) ont été rassemblés dans un vivier dans lequel un tirage aléatoire a été effectué de manière à recueillir un échantillon représentatif de la population de 0+ des stations. En octobre 1995 les secteurs d'étude n'ont fait que l'objet de pêche de sondage en vue de recueillir un échantillon de 0+ et de 1+. En octobre 1996, un échantillon de 0+, 1+ et 2+ potentiels a été recueilli.

Les déterminations d'âge ont cependant révélé quel seul un faible nombre de truites 2+ a effectivement été échantillonné. Les truites ont été mesurées et pesées. En 1996, le sexe et l'état de maturité sexuelle ont été déterminés sur tous les individus échantillonnés en comparant les gonades observées à des planches de référence

Prélèvements de truites capturées à la ligne (taille>27 cm)

Un suivi a des taux de marquage des truites capturée à la ligne été réalisé du milieu de la saison de pêche 1997 jusqu'à la fin de la saison de pêche 1998. Cette approche a été focalisée sur les zones centrale et aval car elles ont le même mode de gestion (mêmes stades et origines de repeuplement, même réglementation par pêche et même carnet de pêche et recueil des statistiques de captures). Un suivi additionnel limité a été réalisé au cours de la saison 1998 dans la zone amont.

Le suivi de la contribution et des caractéristiques des truites marquées et non marquées capturées dans la pêche a été réalisé à partir d'échantillons récoltés selon le même protocole par des pêcheurs volontaires et par un garde échantillonnant le panier de pêcheurs. Les informations recueillies sur les truites capturées ayant la taille légale minimale de 28 cm ont été reportées sur un carnet spécifique (ann. 4).

Les truites capturées ont été mesurées (longueur totale), leur sexe et état de maturité sexuelle ont été évalués par comparaison à des planches de référence. Le n° du secteur est repéré à partir d'une carte représentant l'ensemble de la zone de pêche. Leur tête a été conservée pour extraction et analyse des otolithes. Des écailles ont été prélevées pour déterminer l'âge de chaque individu.

Parallèlement, la robe des truites pêchées a été sommairement caractérisée en indiquant si des points rouges étaient présents ou non et si la robe au moment de la capture était zébrée ou non. **En outre, l'adipeuse a été prélevée par précaution afin de permettre le cas échéant : 1) un point de référence de la situation génétique dans l'hypothèse d'un changement de mode de gestion du Doubs franco-suisse, 2) d'étudier la composition génétique des truites pêchées selon la zone, la robe et l'âge et taille.**

Le suivi a été réalisé du milieu de la saison de pêche 1997 jusqu'à la fin de la saison de pêche 1998. Le suivi des marqués dans la pêche a surtout été focalisé sur les zones centrale et aval car ces deux zones ont le même mode de gestion (mêmes stade et origines de repeuplement, même réglementation par pêche et même carnet de pêche et recueil des statistiques de captures). Un suivi additionnel limité a cependant été réalisé au cours de la saison 1998 dans la zone amont.

Prélèvement et analyse des otolithes, détermination de l'âge

La tête est disséquée jusqu'à faire apparaître le plancher des capsules auditives. Ce dernier est ensuite ouvert pour accéder aux otolithes *sagittae*. Les 2 *sagittae* sont prélevés avec des pinces fines et débarrassés des matières organiques résiduelles. Chaque otolithe est collé séparément sur une lame de verre avec une thermocolle (Crystalbond AREMCO) chauffée à 210°C.

Les otolithes sont polis sur des plaques de granulométrie différente, la finition s'effectuant avec une solution d'alumine hydratée (1 à 3 microns). L'évolution du polissage pour atteindre et ne pas dépasser le centre de l'otolithe a été suivie par plusieurs contrôles au microscope. Les otolithes polis ont été observés avec un microscope Zeiss Axiolab équipé d'une lampe à vapeur de mercure (HBO 50) et d'un jeu de filtres Zeiss n° 9 pour l'épifluorescence (excitation bleu 450-490, FT510, émission LP520).

Afin de connaître la cohorte d'appartenance des truitelles examinées, leur âge a été déterminé par otolithométrie et scalimétrie. Les otolithes ont été lus au microscope soit polis en lumière transmise soit entiers sur fond noir en lumière réfléchi. Les écailles ont été nettoyées au peroxyde de sodium (Na_2O_2), montées entre 2 lames et lues avec un lecteur de microfiches.

1-4. Méthodes d'analyse statistiques des données

Les tests utilisés sont :

- Chi deux ; test exact de Fisher (symbolisé TEF dans le texte) pour comparer deux proportions dans le cas d'effectifs petits ;
- test de comparaison des rangs de Mann Whitney (symbolisé MW dans le texte) pour deux échantillons indépendants ;
- test de Kruskal et Wallis (symbolisé KW dans le texte), équivalent non paramétrique de l'analyse de la variance dans les comparaisons de 3 échantillons et plus.
- Test Z (grands échantillons) ou test t (petits échantillons) pour comparer des tailles moyennes, car cette variable suit une loi normale (Sherrer 1986).

Dans le cas d'un rejet d'identité, les rangs moyens ont été comparés deux à deux (SPRENT, 1992). Les intervalles de confiance des pourcentages ont été calculés en se référant aux tables de BEYER (1985) issues des formules associées à la loi binomiale (Sherrer 1985).

Lorsque les effectifs étaient trop petits ou quand il paraissait judicieux de tester les effets de la sectorisation en trois grandes zones ou du degré d'artificialisation, les résultats ont été regroupés. Pour donner une image d'ensemble, on a ensuite utilisé la méthode de la moyenne stratifiée et de son écart-type associé (Sherrer 1989). Cette approche consiste à pondérer les résultats observés sur chaque subdivision par le pourcentage du linéaire qu'elle représente.

2. Peuplements piscicoles et populations de truites

Les résultats des analyses ichtyologiques sont d'abord présentés pour les peuplements dont la structure reflète l'état **global** des différents tronçons étudiés. Puis la densité et la structure des populations de truites et d'ombres sont analysées, à la lumière des observations précédentes. Ces analyses allant du global au particulier permettront d'interpréter plus finement les taux de marquages qui seront considérés au chapitre suivant. Elles contribueront également à circonscrire les facteurs limitant le recrutement des truitelles mais aussi et surtout la production des truites de taille capturable.

2-1. Liste des espèces capturées

Au cours des inventaires réalisés dans les années 70 (Verneaux 1973), de 1985 à 1986 (SRAE Fr.-Comté 1986), puis de 1994 à 1999 (CSP DR5), 15 espèces ont pu être capturées. Les codes trois lettres employé pour désigner les espèces sur les histogrammes sont explicités sur le tableau V présentés ci-dessous.

CODE	Nom français	Nom latin	IQE	IQH
CHA	CHABOT	<i>Cottus gobio</i>	70	91
TRF	TRUITE FARIO	<i>Salmo trutta fario</i>	45	88
VAI	VAIRON	<i>Phoxinus phoxinus</i>	55	77
LOF	LOCHE FRANCHE	<i>Nemacheilus nebulosus</i>	30	85
OBR	OMBRE	<i>Thymalus thymalus</i>	70	88
BLN	BLAGEON	<i>Leuciscus souffia</i>	60	79
CHE	CHEVESNE	<i>Leuciscus cephalus</i>	30	78
APR	APRON	<i>Zingel asper</i>	85	95
GOU	GOUJON	<i>Gobio gobio</i>	45	74
VAN	VANDOISE	<i>Leuciscus leuciscus</i>	55	63
BRO	BROCHET	<i>Esox lucius</i>	45	95
PER	PERCHE	<i>Perca fluviatilis</i>	50	76
GAR	GARDON	<i>Rutilus rutilus</i>	20	46

Tableau V : liste des espèces capturées sur le Doubs franco-helvétique en 1970, en 1985-86 et de 1994 à 1999, par ordre d'apparition typologique d'amont en aval ; les codes CEMAGREF (3 lettres) sont indiqués ainsi que, à titre indicatif, les indices de sensibilité (sur 100) à la qualité de l'eau (IQE) et de l'habitat (IQH), définis d'après Verneaux (1981) et Grandmottet (1983), modifiés par Degiorgi et Raymond (1994-1995).

2-2. Structure des peuplements piscicoles de la zone amont

22-1. Tronçon court-circuité par le Châtelot : portion la plus aval

Niveau typologique : B3+ Zone supérieure à truites

Gestion hydraulique : secteur soumis à un **débit réservé**

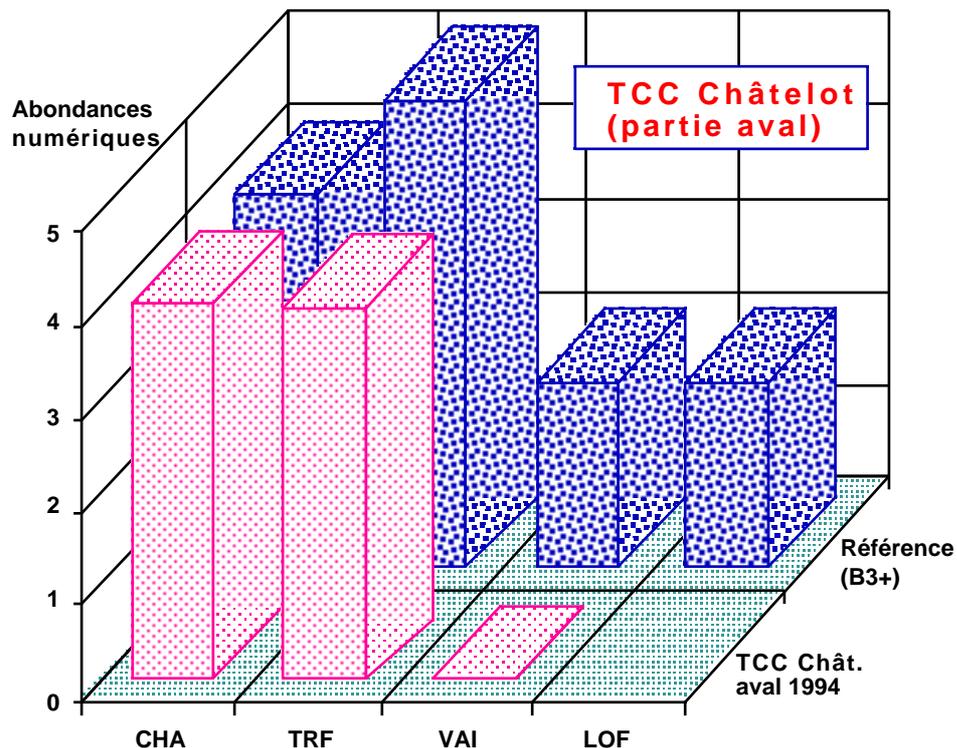


Figure 5 : structure du peuplement observé en 1994 sur l'aval du tronçon court-circuité du Châtelot

Densité pondérale de truites :	Observée	449 kg/ha
	Ramenée à la surface "originelle" :	166 kg/ha
	Théorique	> 350 kg/ha

Diagnostic global : peuplement **perturbé et réduit**

Les **déficits numériques flagrants** en **vairons** et en **loches**, moins nets en ce qui concerne les truites, font suspecter des **épisodes de débit très faibles** qui s'avéreraient néfastes à ces deux "petites" espèces en exondant des habitats de bordures qui leur servent de refuges, surtout aux stades juvéniles (leur reproduction intervenant au mois de juin, leurs alevins se développent durant l'été).

La **densité pondérale de truite** atteint en revanche le registre des valeurs optimales. Cependant, l'échantillon est composé essentiellement de truitelles de 2 ou 3 étés n'atteignant pas la maille (tab. VI). La faiblesse du nombre de truitelles de l'année, comme d'ailleurs celle du nombre de chabots juvéniles, peut s'expliquer par le phénomène invoqué dans le cas du vairon et de la loche. Le nombre de truites adultes ramené au mètre linéaire n'est que moyen. En outre, la production de ce parcours court-circuité est réduite d'environ 40 à 60% par rapport à celle qui serait associée à ce même secteur en l'absence de barrage. En effet, la biomasse de poissons est en relation avec la surface de la rivière diminuée de plus d'un tiers à cause de l'exploitation hydroélectrique.

La bonne densité des truitelles pourrait traduire un effet "**refuge**" joué par ce site en étiage sévère, lorsque la maigreur du débit réservé se fait sentir. En effet, cette station d'étude, située en fin du secteur court-circuité, présente de très bonnes composantes d'habitat à truites (blocs, sous-berges...) et bénéficie d'apports hydrologiques latéraux qui se cumulent tout au long de ce tronçon et "compense" quelque peu la diminution du débit grevé par la prise d'eau. Cette observation n'étant valable que pour la portion la plus aval du tronçon considéré, il paraissait intéressant d'en prospecter la portion amont.

22-2. Les Forges du Pissou (amont du TCC Châtelot), en 1995.

Niveau typologique : B3+ Zone supérieure à truites

Gestion hydraulique : secteur soumis à un **débit réservé**

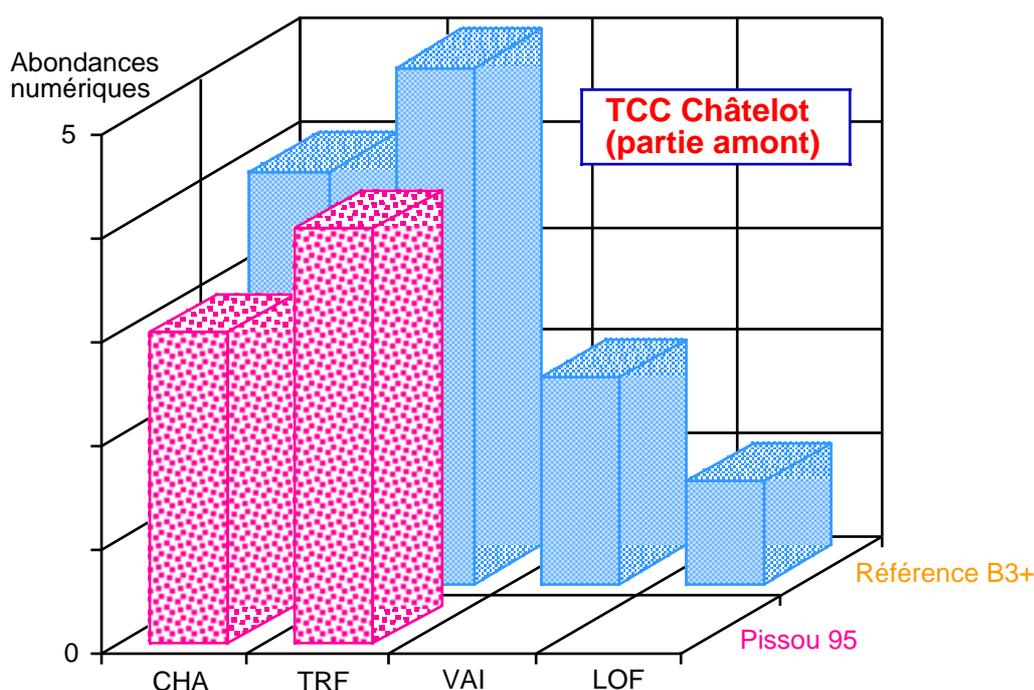


Figure 6 : structure du peuplement observé en 1995 sur l'amont du tronçon court-circuité du Châtelot

Densité pondérale de truites :	Observée	159 kg/ha
	Ramenée à la surface "originelle" :	86 kg/ha
	Théorique	> 350 kg/ha

Diagnostic global : peuplement **perturbé et réduit**

L'image du peuplement échantillonné aux Forges du Pissou ressemble beaucoup à celle qui a été obtenue en 1994 dans la partie avale de ce tronçon court-circuité (cf. ci-dessous). En effet, la densité numérique des truites apparaît appréciable tandis que les petites espèces d'accompagnement sont déficitaires par rapport aux abondances optimales (fig. 6). Cette tendance doit être rapproché de l'insuffisance du débit réservé : 0,250 m³/s dans le cas du Châtelot, pour un module dépassant 20 m³/s (SRAE Fr.-Comté 1986, DIREN Fr.-Comté 1994).

Même si la densité en truite semble notable, l'examen de la structure taille fréquence de l'échantillon montre la forte prédominance des truites dont la taille est inférieure à 22 cm et qui correspondent essentiellement à des individus de 1 et de 2 étés (ann. 5). Les individus de 3 étés supposés sont au contraire très déficitaires, y compris ceux dont la taille, supérieure à 22 cm, reste inférieure à 27 cm. Les truites de mailles sont au nombre de 1 tous les 7 mètres linéaires. Cette densité linéaire est faible compte tenu de la largeur du lit mineur naturel (plus de 20 mètres) et surtout étant donnée l'exceptionnelle diversité de l'habitat de ce secteur. Cette tendance se traduit par une densité pondérale moyenne (150 kg/ha), nettement inférieure au potentiel qui dépasse 250 kg/ha pour le type écologique rencontré (B3+).

En ce qui concerne les truitelles d'un été, on observe une allure bimodale de l'échantillon qui présente deux modes : un vers 8-9 cm et un vers 10-11 cm. Cette tendance est compatible avec l'hypothèse d'une vitesse de croissance différentes des individus lors de leur premier été selon qu'ils proviennent d'alevinage ou de reproduction naturelles (cf. également ci-dessous § 3).

Enfin il convient de bien apprécier le "manque à produire" qui pénalise lourdement le stock absolu de truites du fait de l'insuffisance du débit réservé. En effet, les chiffres considérés ici sont des densités surfaciques. Or, d'après morphologie et largeur du lit mineur naturel, la surface actuelle est réduite de moitié par rapport au lit originel en étiage. Par conséquent, si les usiniers délivraient un débit minimum équivalent à l'étiage naturel, non seulement chaque unité de surface serait plus productive, mais l'aire totale de production de la rivière serait en outre multipliée par 2.

22-3. Les Planchettes : 400 m en aval de la restitution du barrage du Châtelot.

Niveau typologique : B4- Zone supérieure à truites

Gestion hydraulique : secteur soumis à d'importantes variations de niveaux d'eau, de surfaces mouillées, de vitesses de courant (dus aux **éclusées**).

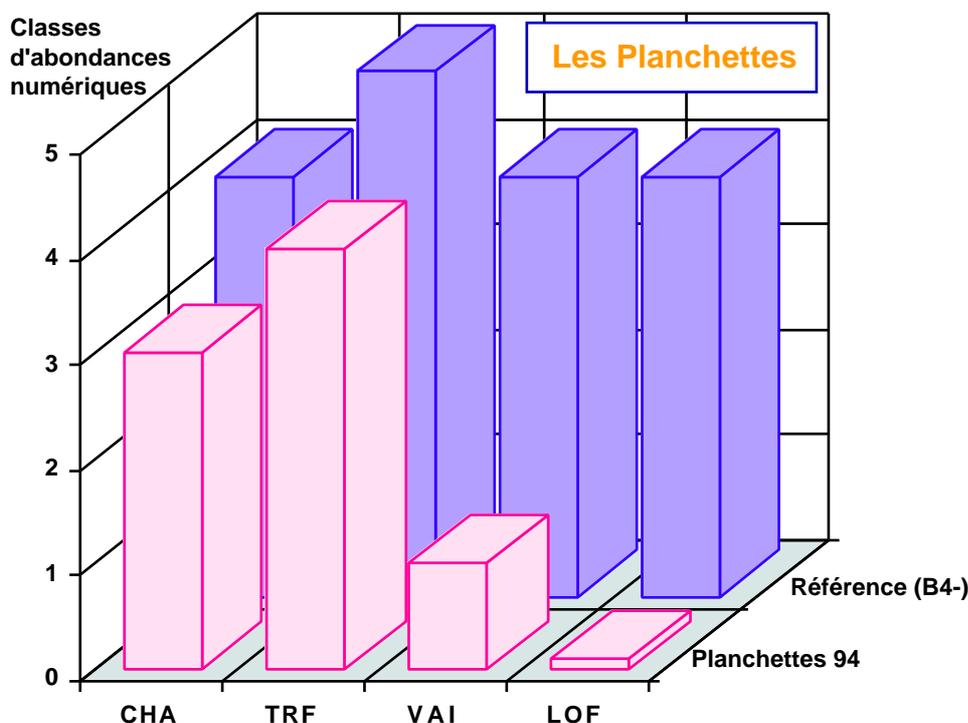


Figure 7 : structure du peuplement observé en 1994 sur le secteur des Planchettes

Densité pondérale de truites :	Observée	177 kg/ha
	Théorique	>350 kg/ha

Niveau d'altération global : peuplement **altéré**

Le peuplement est ici beaucoup plus altéré que celui de la station précédente pourtant très proche. L'impact très négatif des brusques variations artificielles de débit (éclusées) se fait ici sentir (mortalité des alevins et des œufs, des invertébrés, des végétaux aquatiques...). On remarque que les **abondances en truites et en chabots** ne sont plus conformes au type théorique, tandis que la biomasse de truites est divisée par 2,5. Les populations de **vairons et de loches** sont elles aussi très **altérées**.

2-3. Structure des peuplements piscicoles des zones centrale et aval

23-1. Tronçon court-circuité du Refrain : 500 m à l'amont de l'usine

Niveau typologique : B4 Zone moyenne à truites

Gestion hydraulique : Secteur soumis à un **débit réservé**

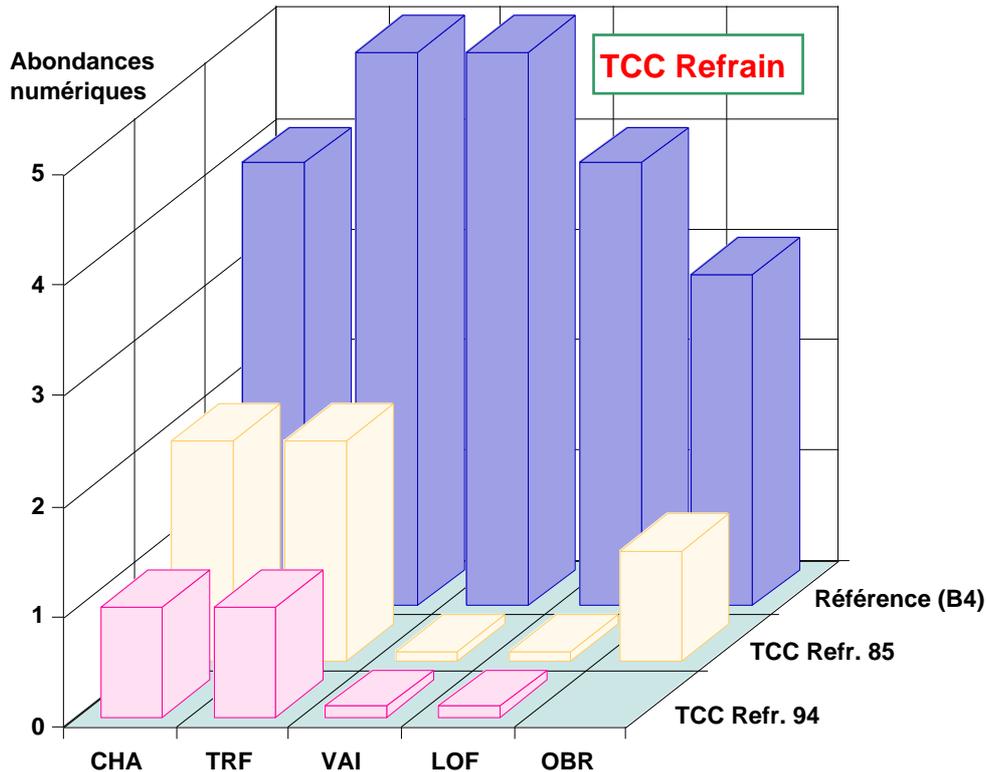


Figure 8 : structure du peuplement observé en 1985 et 1994 sur le tronçon court-circuité du Refrain

Densité pondérale de truites :	Observée en 1985	63 kg/ha
	Observée en 1994	25 kg/ha
	Théorique	> 350 kg/ha

Niveau d'altération global	en 1985 : peuplement altéré
	en 1994 : peuplement très altéré

La morphologie de la station est associée à un bon **habitat potentiel**, tant pour la truite que pour les autres poissons électifs du type. La bonne représentativité des substrats minéraux de grande taille (galets blocs) et l'importance des caches sont **en inadéquation** avec les **résultats** très **alarmants** obtenus lors de l'inventaire. Ce mauvais état de santé du peuplement doit donc être mis en relation avec le débit réservé très insuffisant du barrage du Refrain. La comparaison avec les résultats de 1985 montre que **le peuplement**, pourtant déjà altéré, **a subi une importante dégradation depuis 10 ans.**

23-2. Le Câble : environ 1,5 km en aval de l'usine hydroélectrique du Refrain.

Niveau typologique : B5- Zone à truite moyenne

Gestion hydraulique : Impact des éclusées relativement modéré

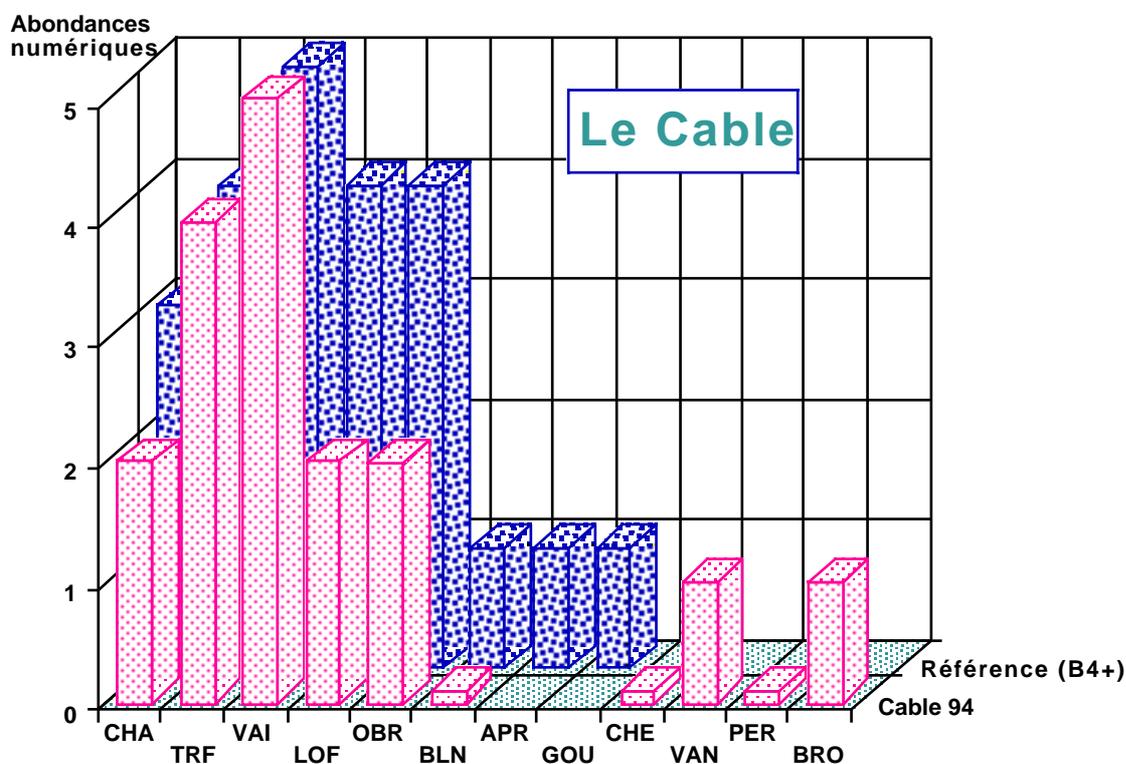


Figure 9 : structure du peuplement observé en 1994 sur le secteur du Câble

Densité pondérale de truites : Observée 211 kg/ha
Théorique > 350 kg/ha

Niveau d'altération global : peuplement **sub-référentiel à perturbé**

Cette station présente un peuplement plus harmonieux : la **diversité de la mosaïque** d'habitats semble **compenser** les variations artificielles du débit. L'alternance des mouilles et des radiers combinée à la diversité des largeurs, et à la présence de bras secondaires ménage des refuges aux poissons et limite l'impact de la variation rapide des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement sur ce site, suffisamment en aval de la restitution. **L'amortissement** des effets des éclusées permettrait **aux individus les plus mobiles de subsister** sur ce tronçon.

Cependant on observe tout de même un **déficit de la biomasse de truite** ainsi qu'une **pauvreté relative en petites espèces inféodées au fond** (chabot, loche). La population d'ombre ne comporte que des juvéniles. Enfin, sur ce tronçon, il a également été observé fréquemment des mortalités de truitelles à un stade plus juvénile, et donc moins mobile.

Cet **effet** des **marnages**, ici pernicieux, **combiné** à la dégradation de la qualité des eaux (excès de nutriment se traduisant aussi par le "**syndrome algal**", DIREN Fr.-Comté 1987-1994) explique probablement **la disparition de l'apron**, espèce benthophile* élective du type, jadis présente. En revanche, ce dysfonctionnement trophique, ajouté au réchauffement provoqué par les retenues amont, profite à des espèces moins sensibles, fréquentant normalement des types plus basaux (perche et brochet).

23-3. Les Seignottes : à 200 m environ en aval du barrage du Theusseret.

Niveau typologique : B5- Zone moyenne à truites

Gestion hydraulique : Impacts des **éclusées** sensibles.

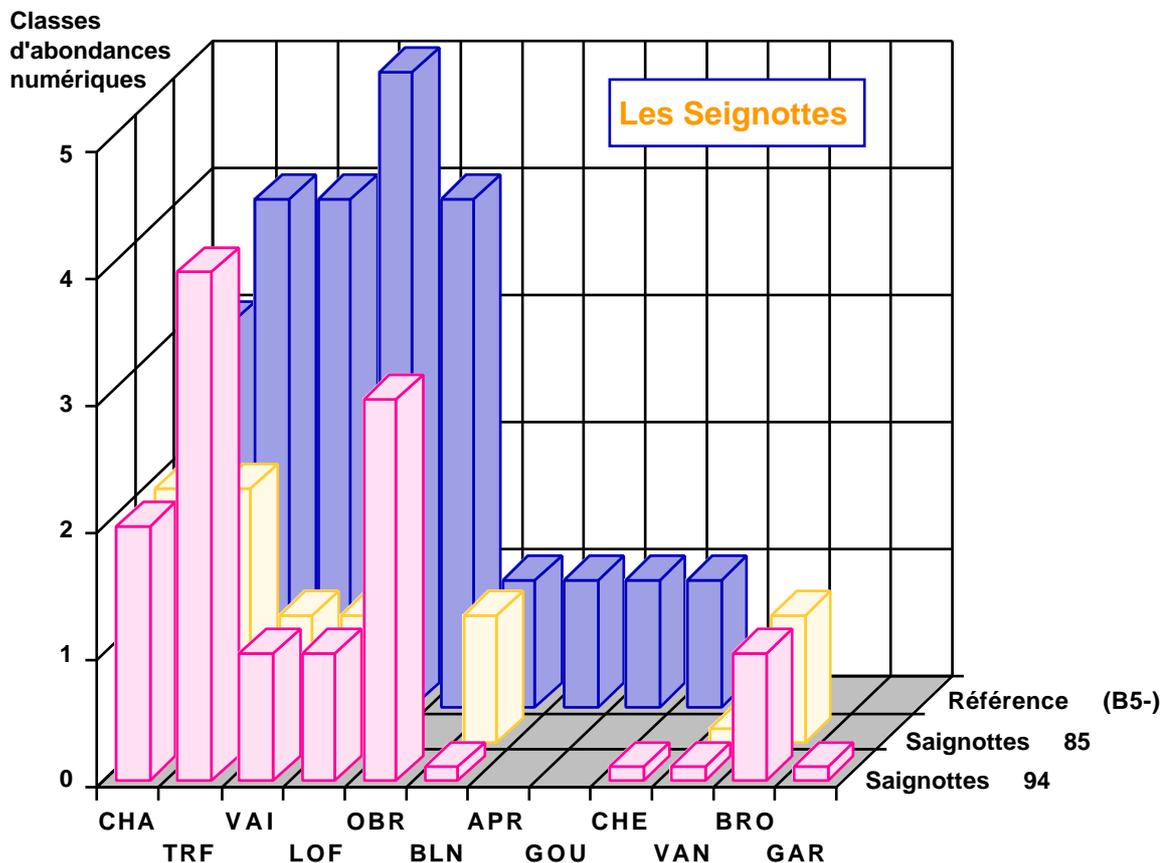


Figure 10 : structure du peuplement observé en 1985 et 1994 sur le secteur des Seignottes

Densité pondérale de truites :	Observée en 1985	108 kg/ha
	Observée en 1994	120 kg/ha
	Théorique	> 350 kg/ha

Niveau d'altération global en 1994 comme en 1985 : peuplement **perturbé**

* Benthophile : qui présente des affinités pour les fonds

Le peuplement de cette station a bénéficié d'une légère amélioration entre 1985 et 1994 mais reste notablement perturbé. En effet, on observe un déficit important pour petites espèces. En outre, si la population de truites atteint une densité numérique normale, la biomasse associée reste très déficitaire. Parallèlement, l'échantillon d'ombres est composé presque exclusivement de juvéniles (1 seul ombre dépassant la taille légale sur 48 captures)*. Enfin pour les mêmes raisons que pour le site du Câble, le déficit des espèces sensibles s'accompagne de l'apparition d'espèces plus tolérantes et électives de niveaux typologiques plus basaux (ici : brochet, gardon).

Ces tendances peuvent s'expliquer par la proximité de la restitution du débit turbiné de la Goule, ainsi que par la morphologie resserrée de la rivière sur ce secteur. Pour ces raisons, les éclusées provoquent des variations de hauteurs d'eau et de vitesse d'écoulement plus importantes sur ce site.

23-4. Le Moulin de la plaine ("parcours mouche")

Niveau typologique : B5 Zone à ombre (fin de la zone moyenne à truite)

Gestion hydraulique : Impact des éclusées relativement modéré.

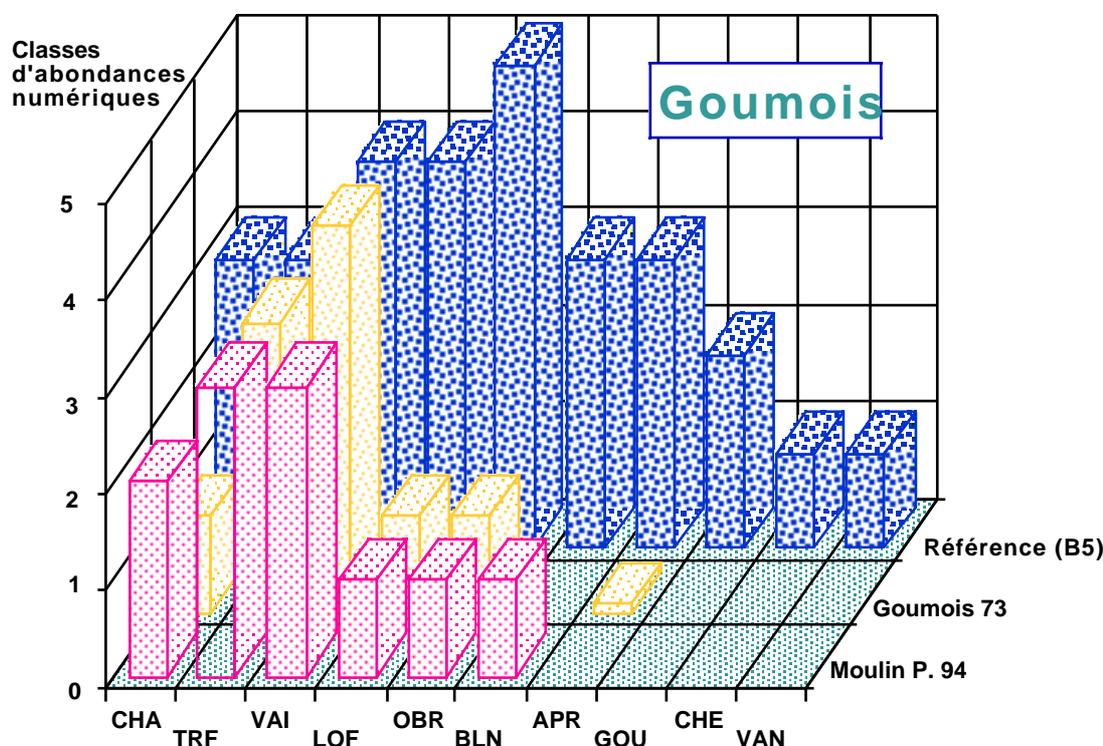


Figure 11 : structure du peuplement observé en 1973 et 1994 sur le secteur de Goumois

*

L'absence d'ombre dans l'échantillon de 1985 peut être due soit à un effort d'échantillonnage moindre soit aux variations d'efficacité du recrutement accentuée par l'artificialisation des débits.

2-4 Structures des populations de truites

24-1. Définition de trois stades de développement

Pour chaque station, les densités relatives des différentes classes d'âges des truites (ou du moins de trois stades clés du développement de cette espèce) ont été comparées puis confrontées à des valeurs référentielles. Cette analyse affine le bilan global des peuplements, en considérant les déséquilibres des différentes classes de taille pour la truite fario. Il sera alors possible de mieux comprendre la nature des facteurs limitant le développement des populations

24-2. Répartition quantitative selon les trois stades du cycle de vie

Les truites de moins de 13 cm correspondent aux poissons de l'année (0⁺), les truites entre 13 et 27 cm sont des juvéniles et les poissons de plus de 27 cm sont des adultes c. à d. des géniteurs susceptibles de participer à la prochaine reproduction. La répartition des effectifs entre ces trois classes varie beaucoup d'un secteur à l'autre (tab. VI).

Stations	Nombre de truites par surface et par linéaire de cours d'eau								
	<13 cm			13-26,9 cm			>27 cm		
	Nb/10a	Nb/km	±	Nb/10a	Nb/km	±	Nb/10a	Nb/km	±
TCCChâtelot am.	185			40			16		
av.	24	308	0%	284	3692	1%	45	585	0%
Les Planchettes	17	238	0%	92	1288	34%	26	364	35%
TCC Refrain	15	255	27%	13	221	15%	6	102	17%
Le Câble	216	6120	52%	81	2295	40%	17	482	12%
Les Seignottes	86	2548	5%	103	3051	12%	8	237	13%
Le Moulin du P.	20	701	30%	11	381	5%	35	1211	2%

Tableau VI : densités (surfaiques et linéaires) des truites capturées, réparties en trois classes de taille ; les données utilisées sont des estimations **fiabiles** obtenues pour chaque classe par l'application de la méthode Carle et Strub (1973 in Gerdeaux 1987).

Cependant, on observe sur presque tous les secteurs une faible densité des truitelles de l'année. En effet, les secteurs référentiels des rivières calcaires de même type écologique abritent plus de 200 truitelles pour 1000 m² (données DR sur une quarantaine de références).

Le déficit constaté ici **dépasse** donc **80%** dans la plupart des cas, en dehors des sites des Seignottes et du Câble. Dans ce dernier cas, il convient de souligner la mauvaise précision des mesures (52% pour les truitelles) mais surtout de rappeler que la morphologie de ce secteur est particulièrement favorable aux juvéniles.

En outre, ces **résultats sont légèrement faussés à la hausse en raison des modalités d'alevinage**. En effet, une partie des poissons a été déversée au stade "truitelle" de 6/8 cm assez tardivement entre les mois de juillet et d'août, et les opérations de pêches électriques ont été réalisées juste après. Cet artefact risque d'avoir également faussé (à la hausse elle aussi) l'estimation de l'impact d'alevinage (le taux de survie).

Les **densités de juvéniles** de 2 et 3 étés paraissent "**nivelées**" vers des **densités moyennes** à l'exception de la portion finale du TCC du Châtelot. Sur ce dernier site, la forte densité pour la classe d'âge considérée, peut être interprétée par le rôle de refuge joué par ce site. Cet effet est d'ailleurs sans doute intermittent puisque les petites espèces peu mobiles sont en faible abondance (§ 3-1) de même, d'ailleurs, que les truites adultes.

Les **déficits en truites "de mailles"** sont d'ailleurs **flagrants** sur l'ensemble du cours étudié (tab. VII). En effet, les rivières à truites référentielles de notre région piscicole abritent généralement plus d'une truite de maille au mètre linéaire alors qu'elles sont soumises à la pression de pêche (cas des hautes vallées de la Loue, de l'Ain, de la Bienne, de la Bourne). Dans le cas du **Doubs franco-suisse** qui, étant donné ses dimensions et sa morphologie, devrait largement **supplanter ce seuil minimal**, seul le site du Moulin du Plain parvient à ce niveau de production : on remarquera qu'il s'agit justement d'un **parcours à forte pression de pêche**.

Stations	Déficits observés		
TCC Châtelot amont aval			Géniteurs
	Alevins		Géniteurs
Les Planchettes	Alevins	<i>Juvéniles</i>	Géniteurs
TCC Refrain	Alevins	Juvéniles	Géniteurs
Le Câble		<i>Juvéniles</i>	Géniteurs
Les Seignottes	Alevins		Géniteurs
Le Moulin du P.	Alevins	Juvéniles	

Tableau VII : *synoptique des déficits constatés pour les trois stades du cycle vital des populations de truites des sites échantillonnés :*

en caractères gras	:	déficit accentué
en caractères standard	:	déficit net
en caractères <i>italique</i>	:	léger déficit

Par conséquent **toutes les stations présentent des déséquilibres** dans la structure de leur population associée, mais **à des stades différents**. Les relevés limnigraphiques effectués à l'aval du Doubs franco-helvétique montrent d'ailleurs que **les variations de niveau d'eau touchent l'ensemble du parcours** (SRAE 1986). Selon la morphologie locale, le degré d'artificialisation des débits et la distance aux ouvrages, les facteurs limitants changent d'expression et affectent des stades différents. Pour faire le bilan de la production salmonicole, il convient donc de raisonner sur l'ensemble du parcours, tout en tenant compte des différences observées entre les unités hydrauliques et leur subdivision.

24-3. Aperçu dynamique

Il serait intéressant de pouvoir suivre l'évolution temporelle des densités de chaque cohorte. D'une part, il serait alors possible de mieux cerner les processus qui conduisent à des chutes d'abondance lors du passage d'un stade du cycle vital à l'autre. En effet, il convient de se rappeler que les exigences spatiales des poissons et de la truite en particulier changent tout au long de leur cycle de développement (Grandmottet 1983). D'autre part, cette approche permettrait de distinguer les fluctuations inter-annuelles "naturelles" de la densité des stocks d'avec l'impact négatif, lui-même stable ou fluctuant en fonction des conditions climatiques, de la gestion des aménagements hydroélectriques.

Pour atteindre ces objectifs, la répétition de cette série d'inventaires serait nécessaire pendant au moins trois années successives. Une analyse allégée a été ainsi réalisée sur les stations du Câble et des Seignottes mais en suivant une maille temporelle plus lâche (cf. § V). À défaut d'un suivi trisannuel, les inventaires réalisés en 1985 sous l'égide du SRAE Fr.-Comté montraient des tendances comparables et des dysfonctionnements similaires de la production salmonicole (tab. VIII).

Fonctionnement hydraulique	0+/10a 1985	0+/10a 1994	Biomasse (kg/ha) 1985	Biomasse (kg/ha) 1994
TCC du Châtelot am.	-	185	-	150
av.	28	24	240	469 (166)*
TCC du Refrain	17	15	63	25
Planchettes (éclusées du Châtelot)		17	-	177
Côte de Fromont (éclusées du Refrain)	7	-	23	-
Les Seignottes (éclusées de la Goule)	45	86	109	120

Tableau VIII : comparaison de la densité des juvéniles et de la biomasse des populations de truites échantillonnées en 1985 puis en 1994 sur des sites soumis à débits réservés et à écluses sur le Doubs franco-suisse (données 1985 in SRAE Fr.-Comté 1986).

*

166 kg/ ha : biomasse ramenée à la surface originelle arrosé par la totalité du débit du Doubs.

On observe en effet, entre les deux années, le **même ordre de déficit** affectant les **densités de truitelles de l'année**, pour tous les sites considérés, ainsi que pour la **biomasse** toutes classes d'ages confondues sauf pour le TCC du Châtelot. Rappelons que, pour ce dernier secteur, la forte valeur observée en 1994 peut probablement s'expliquer par l'effet "refuge" du tronçon prospecté (cf. §3-1).

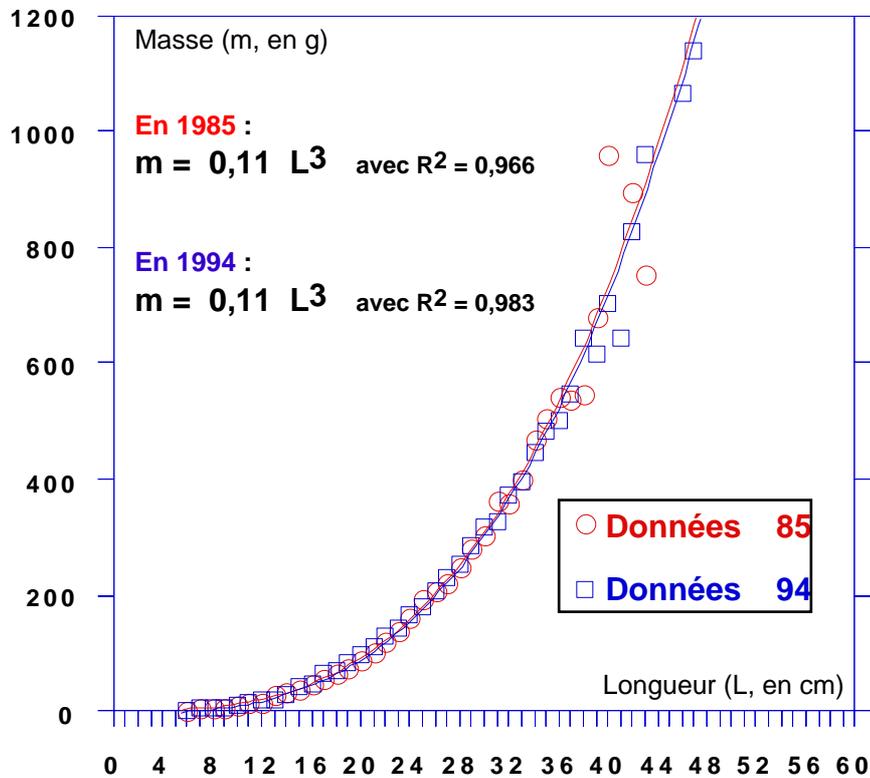


Figure 12 : comparaison des courbes "taille-poids" observées en 1985 et en 1994 sur plusieurs sites du Doubs franco-helvétique ; on observe l'égalité des coefficients de condition obtenus en calculant la régression du type $m = a L^3$ où : m est la masse

L est la longueur

a est le coefficient de condition

D'après Moreau et Legendre (1979), ce coefficient, et surtout ses variations d'une année à l'autre, permettent d'évaluer l'état de santé des individus considérés.

La **similarité des déséquilibres** constatés sur ces deux séries de données induit à penser que **l'impact négatif des ouvrages hydroélectriques** est considérablement **plus important** que l'effet des **variations climatiques naturelles**. Cette observation reste à vérifier et à préciser lors d'inventaires quantitatifs ultérieurs. Cependant, la stabilité de l'état de santé des populations, qui stagne à un niveau de production nettement inférieur au potentiel, est également corroborée par la comparaison des coefficients de condition mesurés en 1985 et en 1994 à partir des relations taille poids (cf. fig. 12).

En résumé

La dynamique de production salmonicole semble perturbée en plusieurs stades du cycle vital de la truite, selon les secteurs considérés. En revanche, le déficit de production finale paraît se répéter globalement d'une année à l'autre, même si les mécanismes intermédiaires concourant à cet état des choses sont probablement influencés par les variations naturelles inter-annuelles.

Ces résultats sur l'état des peuplements et sur les structures des populations doivent être gardés à l'esprit lors des examens du résultat des marquages. En retour, les informations obtenues par ces investigations supplémentaires permettront de préciser cette diagnose sur le fonctionnement de la production salmonicole.

24-4. Estimation de l'intensité de la pression de pêche

Le potentiel de géniteurs peut être affecté soit par les altérations du milieu soit par l'exploitation par pêche et en liaison avec les relations taille-maturité propres aux divers composants de la population. Il est important de s'assurer qu'il n'est pas un facteur limitant c'est-à-dire qu'il est suffisant pour assurer la saturation de la capacité d'accueil du milieu jusqu'au stade alevin ou bien qu'à l'inverse il n'y a pas de surdensité de géniteurs sur les frayères encore opérationnelles entraînant de fortes mortalités par surcreusement. Le potentiel initial nécessaire d'œufs déposé sera d'autant plus grand qu'il devra compenser des pertes importantes en incubation et/ou aux stades précoces.

Le coefficient **écotrophique** est le rapport entre les captures et la production de la population (WATERS 1992). Cet auteur indique qu'en première approximation, la production peut être estimée par la biomasse moyenne dans le cas d'une population de truites ayant 5-8 classes d'âge, ce qui est le cas de celle du Doubs. Dans le cas des deux zones centrale et aval du Doubs, en prenant 8 000-10 000 comme estimation du nombre de truites capturées et comme poids moyen 0,3 kg, la biomasse pêchée peut être estimée à 2 100-3 000 kg. La surface de la zone courante concernée étant voisine de 100 ha, la récolte serait comprise entre 21 et 30 kg/ha.

D'après les inventaires réalisés (CSP, 1995) la biomasse moyenne automnale varie entre 60 et 210 kg/ha, avec une moyenne à 110 kg/ha dans les zones courantes du Doubs. La récolte sur les zones centrale et aval apparaît donc compatible avec la capacité de production de la zone concernée avec un coefficient écotrophique compris entre 0,20-0,3 qui rentre dans la gamme 0,25-0,5 considérée par WATERS (1992) comme une exploitation équilibrée dans le cas de rivières ayant une bonne production annuelle (voisine de 100kg/ha).

La stabilité interannuelle des captures totales et des captures moyennes par carnet retourné suggère que l'exploitation actuelle est relativement bien équilibrée vis-à-vis de la ressource générée par le mode de gestion actuel des zones centrale et aval du Doubs franco-suisse. L'exploitation est forte, mais la stabilité des captures suggère que, sur les zones centrale et aval, elle n'atteint pas le stade de surexploitation.

La situation pourrait être différente sur la zone amont pour laquelle une diminution des captures est observée depuis plusieurs années, mais sans que l'on puisse en déduire avec certitude un problème de surexploitation ou de baisse de la production. En effet, il n'est pas possible de ramener le nombre de prises à un effort de pêche comparable puisque les carnets utilisés sur cette zone servent sur plusieurs rivières et que les durées relatives des actions de pêches ne sont pas spécifiées. Or, il se pourrait que la répartition de l'effort de pêche exercé par les pêcheurs de Neufchâtel sur les différentes rivières couvertes par ce carnet ait changée depuis quelques années (comm. pers. A. FICHTER).

Par conséquent, les populations de truites de l'ensemble du Doubs frontière souffrent d'un déficit de densité affectant plus particulièrement un ou plusieurs stades de développement de cette espèce. L'amplitude de ce déficit est globalement proportionnelle au degré d'artificialisation hydraulique. Dans le cas des tronçons court-circuités, il concerne surtout les truites adultes, et dans une moindre mesure les immatures de plus d'un été. Dans le cas des tronçons soumis à forte influence des éclusées les densités de juvéniles de l'année apparaissent également sous-numéraires par rapport au potentiel optimal.

3. Estimation de l'impact des alevinages

3-1. Principe de l'estimation de l'impact d'alevinage

Sur chaque secteur inventorié, tout ou partie des truitelles de l'année capturées ont été prélevées **pour examen des otolithes**. Comme il avait été choisi, pour la première année de l'opération, de réaliser des inventaires quantitatifs, les effectifs de ces sous-échantillons sont, lors des prélèvements réalisés en automne 1994, inégaux et proportionnels à l'abondance des juvéniles en place (ann. 6). Au cours de cette première année, de simples prélèvements, sans inventaire simultané, ont également été réalisés sur le ruisseau de Fuesse et sur le Doubs en aval de sa confluence avec ce cours d'eau.

Lors des 2 campagnes de prélèvement suivantes, en septembre 1995 puis en octobre 1996 des effectifs plus importants et plus réguliers de 0+ ont été échantillonnés. En 1995 et en 1996, des 1+ ont été également été prélevés, ainsi que des 2+ en 1996. Dans chaque cas, la proportion d'individus marqués sur le nombre total capturé permet d'estimer **l'impact d'alevinage** (IA) pour le secteur considéré, c. à d. la proportion de truitelles provenant d'introduction par rapport au total observé :

$$IA = [\text{nb}(0^+) \text{ provenant d'alevinage} / \text{nb}(0^+) \text{ total capturé}]$$

En raison des variabilités dues aux phénomènes probabilistes inhérents aux opérations d'échantillonnage, qui sont des tirages aléatoires, cette estimation est assortie d'une marge (ou intervalle) de sécurité qui encadre la valeur la plus probable* (cf. § 2-3). La valeur de cet intervalle de sécurité associée à chaque estimation a été calculée suivant les formules citées par Sherrer (1983).

Dans un premier temps, les résultats sont fournis bruts pour chaque secteur et pour chacune des trois cohortes qui ont été marquées (ann. 6). Puis des regroupements sont effectués de façon logique en fonction d'une part du type de fonctionnement hydraulique caractérisant les différents sites de prélèvements et d'autre part en fonction de la sectorisation induite par l'implantation des ouvrages. Enfin les variations temporelles sont analysées pour caractériser les tendances évolutives des taux de marquage avec le vieillissement des cohortes.

* A titre d'exemple, si on dispose d'un sac de 1000 boules dont 400 noires et 600 blanches, et si on réalise plusieurs tirages de **n** boules, le rapport noires/ blanches de 95 tirages sur 100 va "fluctuer" autour de 40% en variant selon des écarts (ou : dans un intervalle) dont l'amplitude sera proportionnelle au nombre **n** de boules prélevées à chaque tirage, en suivant une loi statistique connue appelée "loi binomiale".

3-2. Contribution du repeuplement à chacune des 3 cohortes

ZONE Station		Cohorte 1994 % 0+ (n*/ntot) I.C. 95% (% 1+)	cohorte 1995 % 0+ (% 1+)	cohorte 1996 % 0+ (% 1+)
ZONE AMONT				
Chatelot	TCC	60,0% a (15/25) 38,6-78,9 % (68,9%) NS	53,3% a (73/137) 58-77% (22,9%) S**	42,1% a (24/57) 29,2-56,0%
ZONE CENTRALE				
Refrain	TCC	37,5% (3/8) 10-87 % (-)	(30,4%)	0% (0/78) non aleviné
Cable	ELE	27,1% b (26/96) 18-37 % (28,6%) NS	37,7% a (15/35) 21,5-55,1% (3,2%) S***	0% (0/95) non aleviné
ZONE AVAL				
Seignottes	FIE	49,6% a (67/135) 41-58% (21,1%) S*	36,6% a (22/60) 24,8-50,5% (0,0%) S*	38,5 %a (47/122)30,0-48,0%
Moulin du Plain	ELE	45,0% a (27/60) 32-58% (-)	44,8% a (26/58) 31,5-58,1% (0,0%) S**	17,1 % b (14/82) 9,8-27,3%
Doubs à Fuesse	SN	25,9% b (15/58) 15-39% (14,3%) NS	35,8% a (19/53) 22,7-49,4% (7,7%) S*	7,5 % b (7/93) 3,1-15,0%

Pour une station donnée, (NS) : différence non significative, $p > 0,05$ entre le taux de marqués au stade 0+ et le taux de marqués au stade 1+; S: différence significative au seuil 0,05 (*), 0,01 (), 0,001 (***). Dans une colonne donnée, les pourcentages de 0+ marqués n'ayant pas une lettre commune diffèrent significativement.**

Tableau IX : *pourcentage de truites marquées parmi les 0+ (% en gras) et les 1+ (% entre parenthèses) dans la population automnale en place échantillonnées par pêche électrique.*

32-1. Contribution du repeuplement pour la cohorte 1994

Population en place : 0+, 1+, 2+ (tab. IX-X, ann.7)

L'impact de l'alevinage mesuré au stade 0+ dans la population en place à l'automne 1994 est moyen à fort, variant selon les stations échantillonnées entre 25,9 et 60,0%. Le taux de marqués le plus élevé est observé à la Station du Châtelot. Les taux de marqués sur deux des trois stations les moins hydrauliquement perturbées : le Câble (27,1 %) et Doubs à Fuesse (25,9%) sont significativement plus faibles (Chi deux ou TEF ; $P < 0,05$) que ceux observés sur les autres stations. Sur ces dernières, le taux de marqués varie entre 45,0 et 60,0 sans différence significative inter-station (tab. IX).

L'impact de l'alevinage de la cohorte 1994 sur la quantité de 1+ en place à l'automne 1995 varie selon les stations échantillonnées entre 14,3 et 68,9%. Sur les stations Châtelot et Câble, le taux de 1+ marqués n'est pas statistiquement différent (Chi deux, $P > 0,05$) de celui calculé au stade 0+ pour ces mêmes stations (tab. IX). En revanche, sur les stations de la zone aval des Seignottes et de Fuesse, le taux de marqués mesuré au stade 1+ a baissé d'environ de moitié comparativement aux taux de marqués mesuré au

stade 0+ (tab. IX, ann. 7). La différence n'est cependant statistiquement significative (TEF, $P < 0,05$) que sur la station des Seignottes pour laquelle le taux de marqués est passé de 49,6 à 21,1%.

La contribution de l'alevinage mesurée au stade 2+ dans la population en place à l'automne 1996 sur la station du Châtelot est, avec une valeur de 36,4%, significativement plus faible (TEF, $P < 0,05$) que celui de 68,9% mesuré au stade 1+ (ann. 7). C'est sur la station du Châtelot en amont que le taux de truites issues du repeuplement aura été le plus fort sur l'ensemble des 3 classes d'âge dans la population automnale en place. La contribution de l'alevinage s'est totalement effondrée sur les zones centrale et aval puisqu'il est nul dans le cas de 4 stations sur 5 (ann. 7). Cependant, en liaison avec la petite taille des échantillons, il n'y a pas de différence significative (TEF, $P > 0,05$) entre le taux de marqués au stade 2+ et celui observé au stade 1+ sur les zones centrale et aval.

Pour l'ensemble regroupé des truitelles échantillonnées sur la zone centrale (tab. X), le taux de marqués est identique (Chi deux, $P > 0,05$) aux stades 0+ (27,9%) et 1+ (28,6%). Par contre, il baisse fortement (10,0%) au stade 2+, mais, en liaison avec le faible nombre de truites 2+ échantillonnées, ce taux n'est pas significativement différent (TEF, $P > 0,05$) du taux de 1+ marqués (tab. X). Pour l'ensemble regroupé des truitelles échantillonnées sur la zone aval, le taux de marqués est élevé (43,1%) au stade 0+. Au stade 1+ le taux de marqués est significativement (Chi deux, $P < 0,05$) plus faible (21,4%) qu'au stade 0+. Le taux de marqués s'effondre (0,0%) significativement au stade 2+ comparativement au stade 1+ (TEF, $P < 0,05$).

Captures par pêche à la ligne : 3+, 4+ (tab. X, ann. 7, 10, 11).

La contribution de l'alevinage dans la pêche pour la cohorte 1994 n'a pas été évaluée au stade 2+. La contribution des marqués dans les captures par pêche des 3+ échantillonnés en milieu et fin de saison 1997 sur les zones centrale et aval est identique (22,2%). Pour la zone centrale, ce taux n'est pas significativement différent (TEF, $P > 0,05$) de celui observé aux stades 0+, 1+ et 2+ dans la population en place sur la zone. Pour la zone aval, le taux de marqués dans les 3+ pêchés est identique à celui observé pour les 1+ de la population en place. Par contre avec une valeur de 22,2%, il est significativement supérieur (TEF, $P < 0,05$) à celui (0%, 0/27) observé parmi les 2+ échantillonnés dans la population en place.

Le taux de marqués est nul parmi les 4+ pêchés échantillonnés sur les zones amont et centrale, cependant le nombre de captures observées est faible (13 au total). Pour la zone aval, le taux de marqués parmi les 4+ pêchés est significativement (TEF, $P < 0,05$) plus faible (3,2%) comparativement à celui de 21,4% observé au stade 3+.

Cohorte Zone	Population automnale en place	Population automnale en place	Population automnale en place	Pêche à la ligne	Pêche à la ligne	Pêche à la ligne
1994	0+	1+	2+	2+	3+	4+
Amont	60,0 (15/25) a	68,9 (51/74) NS a	36,4 (4/11) S* A		—	0,0 (0/7) a
Centrale	27,9 (29/104) b	28,6 (4/14) NS b	10,0 (1/10) NS Ab		22,2 (2/9) NS A	0,0 (0/6) NS A
Aval	43,1(109/253) a	21,4 (6/28) S* b	0,0 (0/27) S* B		22,2%(6/27) S* A	3,2 (1/31) S* A
1995						
Amont	53,3 (73/137) a	22,0 (9/41) S*** A		—	9,7 (3/31) a	
Centrale	37,7 (13/35) ac	10,5 (9/86) S** a (b?)		27,3 (3/11) NS a	5,3 (1/19) NS A	
Aval	39,2 (67/171) bc	2,7 (1/36) S*** B		45,8(22/48) S*** a	21,2 (11/52) S** A	
1996						
Amont	42,1% (24/57) a			12,5%(1/8) a NS		
Centrale Non alevinée	0,0 (0/173)			25,0 (5/20) a ?		
Aval	22,9 (68/297) b			42,6(26/61) a S*		

Pour une cohorte et une cohorte donnée. (NS): différence non significative ($p>0,05$) entre le taux de marqués dans l'échantillon concerné et l'échantillon précédente sur la même ligne; (S): différence significative au seuil 0,05 (*), 0,01 (**), 0,001 (***). Pour une cohorte donnée et dans une colonne donnée, les pourcentages n'ayant pas de lettre minuscule commune sont significativement différents (Chi 2ou test exact de Fisher, $P<0,05$).

Tableau X : évaluation zone par zone et cohorte par cohorte de la contribution (en %) de l'alevinage et du recrutement naturel.

32-2. Contribution du repeuplement pour la cohorte 95

Population en place (0+, 1+) (tab. IX et X, ann. 8)

Pour la cohorte 1995, année à forte hydrologie (tab. II) on observe une contribution assez forte de l'alevinage dans toutes les stations puisque le taux de 0+ marqués varie entre 35,8% et 53,3% (tab. IX). Les taux de marqués ne diffèrent pas entre les stations prises dans leur ensemble (Chi deux ; ddl=5 ; $P>0,05$). Comme en 1994, le taux de 0+ marqués le plus élevé est observé dans la station du Châtelot sur la zone amont, **la plus hydrauliquement perturbée et repeuplée avec des truitelles de 4/8 cm.**

La population automnale en place de cette cohorte, contrairement à celle de 94, montre dès le stade 1+ une très forte baisse du taux de marqués comparativement au stade 0+. Cette baisse est statistiquement significative sur chacune des stations (tab. IX, ann. 8). Les plus fortes valeurs (22,0 et 30,4%) de 1+ marqués sont observées dans les 2 stations en débit réservé, respectivement Châtelot en zone amont et Refrain en zone centrale. Ces taux ne diffèrent pas entre eux (TEF, $P>0,05$) et ils sont significativement plus élevés (TEF, $P<0,05$) que ceux observés sur les 4 autres stations. Sur ces dernières, les taux de marqués sont faibles (0 à 7,7%) et ne diffèrent pas significativement entre eux. Sur la zone centrale, le taux de 1+ marqués élevé (30,4%) du TCC du Refrain contraste avec le faible taux de marqués (3,2%) sur la station du Câble où l'effet des éclusées est limité.

Pour l'ensemble des truitelles échantillonnées en zone centrale, le taux de marqués s'effondre significativement (Chi^2 ; $P<0,01$) entre les stades 0+ (37,7%) et 1+ (10,5%). Pour l'ensemble des truitelles échantillonnées en zone aval, le taux de marqués s'effondre significativement (Chi^2 ; $P<0,001$) entre le stade 0+ (39,2%) et le stade 1+ (2,7%).

Captures par pêche à la ligne : 2+, 3+ (tab. X, ann. 8, 10, 11)

Le taux de marqués parmi les 3+ pêchés échantillonnés en 1998 sur la zone amont est de 9,7%. Il est très significativement inférieur (Chi deux, $P<0,001$) au taux de marqués observé dans la population en place aux stades 0+ (53,3%). Il est inférieur au taux de marqué (22,0%) au stade 1+, mais la différence n'est pas significative (TEF, $P>0,05$).

Le taux de marqués parmi les 2+ pêchés échantillonnés en 1997 sur la zone centrale est de 27,3%. Il est plus élevé, mais non statistiquement différent (TEF ; $P>0,05$) du taux moyen de marqués de 10,5% observé parmi l'ensemble des 1+ échantillonnés dans la population automnale en place sur la zone centrale. Il est inférieur de 10% mais non statistiquement différent du taux de marqués au stade 0+ (37,7%). Le taux de marqués parmi les 3+ pêchés en 1998 en zone centrale est de 5,3%. Il est plus faible que celui qui a été observé parmi les 2+ pêchés, mais il n'en diffère pas significativement (TEF, $P>0,05$).

Le taux de marqués parmi les 2+ pêchés échantillonnés en 1997 sur la zone aval est élevé (45,8%). Il n'est pas significativement (Chi^2 , $P > 0,05$) différent du taux de 39,2% de marqués observé dans la population en place au stade 0+. Par contre il s'avère très significativement supérieur (TEF, $P < 0,001$) au taux de 2,7% observé au stade 1+ pour l'ensemble des 1+ échantillonnés dans la population en place sur la zone aval. Le taux de marqués parmi les 3+ pêchés échantillonnés sur la zone aval est de 21,2%. Il est significativement (TEF, $P < 0,01$) inférieur au taux de marqués (45,8%) observé parmi les 2+ pêchés échantillonnés sur la zone aval.

Le taux de marqués parmi les 2+ (45,8%) et 3+ (21,2%) pêchés sur la zone aval est plus élevé que celui des truites de même âge pêchées sur les zones centrale (27,3% des 2+ et 5,3% des 3+) et amont (9,7% des 3+) ; les chiffres ne sont cependant pas significativement différents. Par contre, au stade 1+, à l'inverse, le taux de marqués était significativement supérieur (TEF; $P < 0,05$) sur la zone amont (22,0%) comparativement à la zone aval (2,7%).

32-3 Contribution du repeuplement pour la cohorte 96

Population en place : 0+ (tab. IX et X, ann. 9)

Le pourcentage de 0+ marqués (cohorte 1996) présents dans les stations des zones alevinées en 1996 (Amont et Aval) varie entre 7,5 et 42,1%. En 1996 et en 1994, les taux de marqués les plus élevés sont observés dans les stations les plus perturbées hydrauliquement. Pour les stations du Châtelot et des Seignottes, les taux de marqués sont tous 2 voisins de 40 % et ne diffèrent pas significativement entre eux (Chi^2 , $P > 0,05$).

Les taux de marqués diffèrent significativement (Chi^2 , $\text{ddl}=2$, $P < 0,001$) dans l'ensemble des 3 stations de la zone aval. Le taux de 0+ marqués décroît nettement en fonction du degré de perturbation hydraulique : Seignottes (38,5%), Moulin du Plain (17,1%), Doubs à Fuesse (7,5%). La décroissance du taux de marquage est significative entre la première station et les deux suivantes (Chi^2 , $P < 0,01$) mais pas entre les deux dernières stations. Dans la population automnale de 0+ en place, pour un échantillon important de 173 0+ contrôlés sur les deux stations (Refrain et Câble) de la zone centrale non repeuplée en 1996, il n'y a eu aucun alevin marqué retrouvé.

Captures par pêche à la ligne : 1+, 2+ (tab. X, ann. 9,10, 11)

La présence de trois 1+ parmi les truites pêchées démontre l'existence d'individus à croissance très rapide entrant très précocement dans la pêche. Il y avait parmi eux 2 marqués. Le taux de marqués parmi les 2+ pêchés échantillonnés en zone amont est de 12,5% mais l'échantillon est petit (8).

Malgré l'absence de déversement sur la zone centrale pour la cohorte 1996 et de colonisation précoce à partir des zones adjacentes, suggérée par l'absence de 0+ parmi les 0+ examinés dans la population en place, le taux de marqués atteint 25,0% parmi les 2+ pêchés sur la zone centrale. Cependant l'effectif de l'échantillon est assez faible (20). Le taux de marqués (cohorte 96) échantillonnés parmi les 2+ pêchés à la ligne en 1998 sur la zone aval est élevé (42,6 %). Il est significativement supérieur (Chi^2 , $P < 0,01$) au taux de marqués (22,9%) parmi les 0+ de la même cohorte échantillonnés en 1996 dans la population automnale en place sur la zone aval.

32-4. Variabilités spatio-temporelles de l'impact d'alevinage

C'est pour la cohorte 1995, année à forte hydrologie, qu'il y a la plus faible variabilité intersectorielle du taux de 0+ marqués, celui-ci variant entre 35,8 et 53,3% comparativement à 25,9-60,0% en 1994 et 7,5-42,1 en 1996. Sur l'ensemble des 3 cohortes 1994-95-96, le taux de 0+ marqués est élevé et la variabilité interannuelle du taux de 0+ marqués est faible sur 2 stations hydrauliquement perturbées : Châtelot (42,1-60,0%) et Seignottes (36,6-49,6%). Le taux de marqués varie davantage d'une année à l'autre sur les deux stations aval moins hydrauliquement perturbées : Station du Moulin du Plain (17,1-45,0%) et Doubs à Fuesse (7,5-35,8%). Les plus faibles taux de marqués ont été observés sur ces deux stations pour la cohorte 1996.

Les taux de truites marquées les plus élevés dans la population automnale en place sont systématiquement observés sur la station du Châtelot et ce pour tous les stades : 0+ (cohortes 1994-95-96), 1+ (cohortes 1994-95) et 2+ (cohorte 1994). Sur l'ensemble des 2 cohortes 1995-96, la variabilité interannuelle pour une même station et intersectorielle pour une même année du taux de truites marquées est plus élevée au stade 1+ qu'au stade 0+ (tab. IX). Pour toutes les stations, il y a eu une baisse significative du taux de marqués entre les 0+ et les 1+ de la cohorte 1995. Par contre pour la cohorte 1994, la baisse n'a été significative que dans le cas d'une station (Seignottes) sur 4 examinées.

En résumé, le taux de truitelles de l'année marquées, relativement élevé, varie de 23 à 60 % selon la zone et la configuration hydraulique considérée. Cette proportion des poissons provenant d'alevinage baisse nettement dès le deuxième été pour les deux cohortes où cette évolution a été étudiée. Dans le cas de la cohorte 94, suivie sur trois ans, il n'y a presque plus de truites marquées après le troisième été parmi les truites échantillonnées *in situ* par pêche électrique.

Parmi les truites capturées à la ligne, le taux de truites marquées de 2 à 3 étés est encore notable mais diminue très nettement avec le vieillissement des cohortes.

3-3. Caractéristiques comparées des marquées et des non marquées.

33-1. Taille dans la population automnale en place.

Truitelles 0+ (tab. XI, ann. 12)

Pour la cohorte 1995, la taille moyenne des 0+ varie selon les stations entre 94 et 110 mm pour les marquées et entre 73 et 99 mm pour les non marquées. Pour toutes les stations, la **taille moyenne des truites marquées est** supérieure à celles des truites non marquées. Dans 4 stations sur 5 (Câble exclu), la différence de rangs moyens pour la taille est significative (MWW, tab. XI). Sur la Station du Châtelot, la taille des 0+ non marqués est significativement inférieure (KW, $P < 0,05$) à celle des 0+ non marqués de chacune des autres stations. La taille des truitelles 0+ marquées de la station des Seignottes est significativement (KW, $P < 0,05$) supérieure à celle des truitelles 0+ marquées sur chacune des autres stations.

Station	Châtelot	Refrain	Câble	Seignottes	Mlin plain	Fuesse
0+ 1995 <u>marqués</u>	(73), 96±14 b		(13), 94±12 b	(22), 110±14 a	(26), 96±11 b	(19), 96±16 b
0+ 1995 non marqués	(64), 73±13 b S***		(22), 90±16 a NS	(38), 99±17 a S**	(32), 87±10 cd S***	(34), 88±8 ad S*
0+ 1996 <u>marqués</u>	(24), 93±15 bc	(0)	(0)	(47), 122±16 a	(14), 112±16 a	(7), 107±15 ac
0+ 1996 non marqués	(33), 89±13 bcd NS	(78), 110±11 a	(95), 90±13 b	(75), 116±22 a NS	(68), 94±17 b S	(86), 99±13 c NS

Pour chaque case : (nombre d'individus échantillonnés), longueur moyenne automnale (en mm) ± écart-type. Pour une station donnée et une cohorte donnée, (NS : absence de différence de taille significative ($P > 0,05$) entre marquées et non marquées. (S) : différence de taille significative au seuil 0,05 (*), 0,01 (**), et 0,001 (0,001) (test des rangs de Mann Whitney) entre marquées et non marquées. Pour une ligne donnée, l'absence d'une lettre minuscule commune indique une différence de taille significative (test de Kruskal et Wallis, $P < 0,05$).

Tableau XI : Taille des 0+ (cohorte 1996) marqués et non marqués par station

Pour la cohorte 1996, à l'inverse de la cohorte 1995, dans trois stations sur quatre, il n'y a **pas de différence significative entre les tailles des 0+ marqués et non marqués** si l'on considère séparément les échantillons, assortis de petits effectifs, de chaque station (tab. XI). Toutefois si l'on considère globalement l'ensemble des stations, **les truitelles issues de repeuplement sont significativement plus grandes que celles issues du recrutement naturel** (test Z, $P > 0,05$).

Pour la cohorte 1996, la taille moyenne des truitelles 0+ marquées (122 mm) ou non marquées (116 mm) de la station des Seignottes est supérieure, respectivement à celle des truitelles 0+ marquées (93-112 mm) et non marquées (89-110 mm) échantillonnées sur les autres stations. Cependant, pour les marqués, la différence de taille n'est significative (KW, $P < 0,05$) qu'avec la Station du Châtelot. Pour les non marqués, la différence n'est pas significative avec la Station du Refrain et significative (KW, $P > 0,05$) avec les 4 autres stations (tab. XI).

La taille des 0+ provenant d'alevinage montre donc une tendance globale, plus ou moins affirmée selon les années, à être plus grande que celles des 0+ nées dans la rivière.

Truites 1+ et 2+ (tab. XII)

Le nombre de 1+ et 2+ marqués échantillonnés sur chaque station est trop faible pour réaliser des comparaisons complètes entre toutes les stations comme au stade 0+. Les données des zones centrale et aval ont été regroupées sans intégrer la zone amont qui a un mode d'alevinage trop différent, diversifié et variable d'une année à l'autre.

Age	Marque	Zone Amont	Zones Centrale + Aval
1+ cohorte 1995	Non	126 ± 29 (32) a	195 ± 26 (111) b
1+ cohorte 1995	Oui	179 ± 30 (9) a S*	222 ± 28 (9) a NS ?
1+ cohorte 1994	Non	154 ± 24 (23) a	171 ± 36 (31) b
1+ cohorte 1994	Oui	131 ± 34 (50) S*	183 ± 18 (8) NS ?
2+ cohorte 1994	Non	172 ± 48 (7)	263 ± 30 (38)

() effectif échantillonnés. Pour chaque ligne, l'absence d'une lettre minuscule commune indique une différence de taille significative (test de Mann-Witthney, $P < 0,05$). (S*) différence de taille significative entre marqués et non marqués d'une classe d'âge, pour une zone et une cohorte donnée (test de Mann-Witthney, $P < 0,05$).

Tableau XI : taille moyenne automnale (en mm) des 1+ marqués et non marqués (cohorte 94 et 95) et des 2+ non marqués (cohorte 94) (stations centrale et aval regroupées).

La taille des 1+ (cohorte 1995) marqués de la Station du Châtelot (TCC) est significativement (MW, $P < 0,05$) inférieure à celle des 1+ de la Station du Refrain (TCC). La taille des 1+ non marqués de la cohorte 1995 échantillonnés sur le TCC de la zone amont (station du Châtelot) est significativement inférieure (MW, $P < 0,05$) à la taille des 1+ non marqués échantillonnés sur les stations regroupées des zones centrale et aval ainsi qu'à celle de chacune des stations des zones centrale et aval (KW, $P < 0,05$).

Pour la cohorte 1995 et sur la Station du Châtelot, la taille des 1+ marqués est significativement supérieure (MWW, $P < 0,05$) à la taille des 1+ non marqués. À l'inverse, pour la cohorte 1994, la taille des 1+ non marqués de la cohorte 1994 sur la Station du Châtelot est significativement supérieure (MWW, $P < 0,05$) à la taille des 1+ marqués. Pour les deux cohortes 1994 et 95, la taille moyenne des truites 1+ marquées du est inférieure à la taille moyenne des 1+ marqués échantillonnés sur les zones centrale et aval. Pour les 2 cohortes 1994 et 95, la taille moyenne des 1+ marqués échantillonnés sur les zones centrale et aval regroupées est légèrement supérieure, mais les tailles ne diffèrent pas significativement de la taille des 1+ non marqués capturés sur ces zones.

La taille moyenne des 2+ échantillonnés sur les zones centrale et aval regroupées est nettement supérieure à celle des 2+ non marqués échantillonnés sur le TTC de la zone amont, avec une valeur respective de 263 et 172 mm. Toutefois l'effectif capturé dans le TTC du Châtelot est de très petite taille.

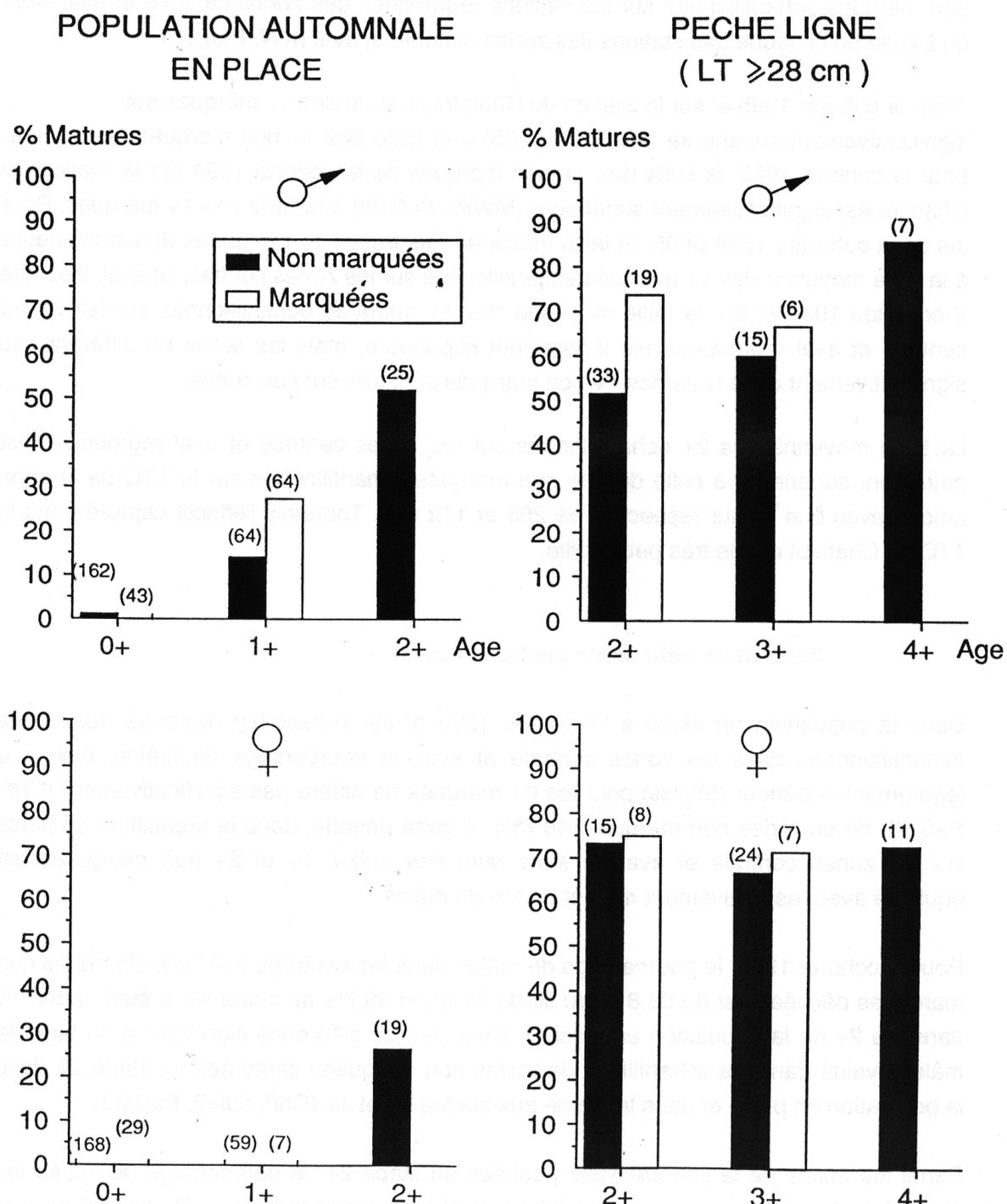
33-2. Sexe ratio (zone centrale + aval)

Dans la population en place à l'automne 1996 et sur l'ensemble regroupé des truites échantillonnées dans les zones centrale et aval, le pourcentage de mâles, bien que légèrement supérieur (55,7%) pour les 0+ marqués ne diffère pas significativement (Chi^2 , $P > 0,05$) de celui des non marqués (48,7%). À cette période, dans la population en place sur les zones centrale et aval, le sexe ratio des truites 1+ et 2+ non marquées est équilibré avec respectivement 49,5 et 54,1% de mâles.

Pour la cohorte 1994, le pourcentage de mâles dans les captures à la ligne de truites non marquées pêchées est de 53,8 % au stade 3+ et de 45,7% au stade 4+. Il était de 54,1% dans les 2+ de la population en place. Il n'y a pas de différence significative du taux de mâles évalué dans les échantillons de truites non marquées capturées au stade 2+ dans la population en place et dans la pêche aux stades 3+ et 4+ (Chi^2 , $\text{ddl}=2$, $P > 0,05$).

Parmi les truites de la cohorte 1995 pêchées au stade 2+, le pourcentage de mâles est élevé à la fois chez les marqués (68,0%) et chez les non marqués (69,7%), alors que dans les captures de non marquées pêchées au stade 3+, le taux de mâles retombe à 52,6%. Cependant il n'y a pas de différence significative du taux de mâles évalué dans les échantillons de truites non marquées capturées au stade 1+ dans la population en place et dans la pêche aux stades 2+ et 3+ (Chi^2 , $\text{ddl}=2$, $P > 0,05$).

Figure 13 : pourcentage de maturité sexuelle pour les truites de différents âges échantillonnées par pêche électrique en octobre 1996 et pour les truites de plus de 28 cm capturées par pêche à la ligne d'août à septembre 1997 et 1998.



Pour la cohorte 1996 et pour les marqués et non marqués, il n'y a pas de différence significative (χ^2 , $p > 0,05$) entre le taux de mâles parmi les truites 0+ dans la population en place et parmi les truites pêchées au stade 2+. Pour les truites de la cohorte 1996

pêchées au stade 2+, contrairement au cas de la cohorte 1995, le taux de mâles est équilibré : égal à 50,0% (non marqués) ou voisin (51,6%) chez les non marqués. Pour chacun des groupes (marqués ou non marqués) le taux de mâles est significativement inférieur (Chi^2 , $P < 0,05$) à celui observé parmi les 2+ pêchés de la cohorte 1995.

Le sexe-ratio apparaît donc équilibré aux stades 0+, 1+ et 2+ dans la population en place, ainsi qu'aux stades 2+, 3+ et 4+ parmi les truites capturées à la ligne.

33-3. Maturité sexuelle (fig. 13)

Quelques mâles non marqués (1,2% des mâles) sont matures dès le stade 0+, à une taille de 11-13 cm. Pour les truites non marquées de la population en place à l'automne 1996 sur les 3 zones regroupées, le taux de mâles murs est de 14,1% au stade 1+ (9/64) et de 52,0 % (13/25) au stade 2+. Que ce soient les truites marquées ou non, il n'y a pas de femelle mature au stade 1+. Les plus jeunes femelles mûres parmi les échantillons examinés dans la population en place à l'automne 1996 apparaissent au stade 2+ avec un taux de 26,3% (5/19) pour les non marqués et à une taille voisine de 28 cm. Pour un sexe donné et pour une classe d'âge donnée (0+ ou 1+), il n'y a pas de différence significative (TEF, $P > 0,05$) du taux de maturité entre marqués et non marqués.

Parmi les truites pêchées à la ligne en fin de saison, le taux d'individus allant murer et donc se reproduire en fin d'année a été évalué. Pour les truites non marquées échantillonnées dans le panier des pêcheurs, le taux de mâles 2+ matures est de 51,5% et il n'est pas significativement différent (TEF, $P > 0,05$) de celui de 52,0% évalué au stade 2+ dans la population en place (fig. 13). Le taux de mâles matures passe à 60,0% au stade 3+ et à 85,7% au stade 4+. Le taux de femelles matures est significativement (TEF, $P < 0,01$) plus élevé parmi les 2+ non marquées pêchées (73,3%) que parmi les truites 2+ non marquées subsistant après la pêche dans la population en place (26,3%).

Chez les non marqués, mâles ou femelles, la maturité est assez tardive puisqu'il y a encore un tiers à 40% d'immatures au stade 3+ tandis seuls 85,7% des mâles et 72,7% des femelles sont matures chez les 4+. Dans les captures à la ligne, pour un sexe et une classe d'âge donnés (2+ ou 3+), il n'y pas de différence significative (TEF, $P > 0,05$) du taux d'individus matures entre les marqués et les non marqués.

Globalement on peut noter sur le Doubs franco-helvétique une tendance des truites issues du recrutement naturel à maturer tardivement et à une taille élevée, malgré une croissance rapide.

Il semble en effet exister en particulier sur les zones moyenne et aval des mâles 2+ encore immatures à des tailles de 24-27 cm. Cette caractéristique doit toutefois être vérifiée sur des échantillons plus importants.

3-4. Bilan sur la contribution de l'alevinage au peuplement

34-1. Taux de marquage global mesuré *in situ*

	0+	1+	2+	0+	1+	0+
	Coh. 94			Coh. 95		Coh. 96
	automne	automne	automne	automne	automne	automne
Global brut toutes zones	40,8	48,8	8	44,6	15,3	33,8
Global brut zones centrale et aval	38,7	19,6	0,0	38,8	9,6	29,2
Estimation stratifié toute zone	40,6	19,1	2,2	40	7,9	31,1

Tableau XII : évolution du taux de marquage global et stratifié avec le vieillissement des cohortes

Regroupement et stratification des données

L'estimation du taux de marquage et de l'intervalle de sécurité qui lui est associé, varie beaucoup d'un site de prélèvement à l'autre. En outre, les densités de truites, classées en trois stades de développement, sont également très différentes d'une station à l'autre (tab. IX). On en déduit l'intérêt et la nécessité de regrouper les résultats d'abord de façon globale puis en utilisant les deux subdivisions qui structure la rivière (§1-1.). D'une part, les différences de configurations et de type de gestion rencontrés le long du cours d'eau conduisent à séparer la zone amont des deux autres zones. D'autre part il semble pertinent de distinguer les secteurs selon leur type de "fonctionnement hydraulique" puisque la densité des truitelles varie justement selon ces catégories.

En tenant compte de ce deuxième niveau d'hétérogénéité d'écologique, les données par secteur ont donc été regroupées de façon à déterminer des taux d'impacts d'alevinage par catégories de perturbation hydraulique. Puis, on en a calculé la moyenne et la variance stratifiée (Sherrer 1983) en les pondérant par la longueur relative de ces types de secteurs ainsi que par la densité en truitelles des populations associées (tab XIII).

Taux de marquage pour les truitelles

Cette approche souligne la différence d'impact des alevinages selon les secteurs. En effet, **plus un tronçon est artificialisé** (c. à d. plus les perturbations hydrauliques dues aux aménagements hydroélectriques y sont fortes) **plus la proportion de truitelles provenant de reproduction naturelle est faible (fig. 14).**

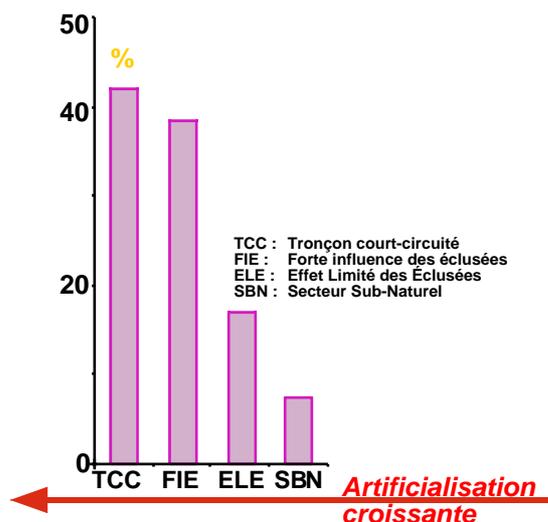


Figure 14 : variation, en fonction du degré d'artificialisation des débits, du taux de marquages observé pour les truitelles de la cohorte 1996 échantillonnées en octobre 1997

Plus généralement, les **taux de marquage** varient selon les secteurs et les années mais sont globalement **notables au stade "un été (0+)"** : les estimation stratifiées de l'impact d'alevinage sont comprises **selon les années entre 30 et 40 % ($\pm 5\%$)**. Néanmoins, on observe que les truitelles issues de **reproduction naturelle** demeurent **majoritaires**. Ces observations sont aussi valables pour le ruisseau de Fuesse qui a été fortement mis en charge puisque l'on retrouve 48 % de marqués sur l'échantillon automnal.

Évolution du taux de marquage avec le vieillissement des cohortes

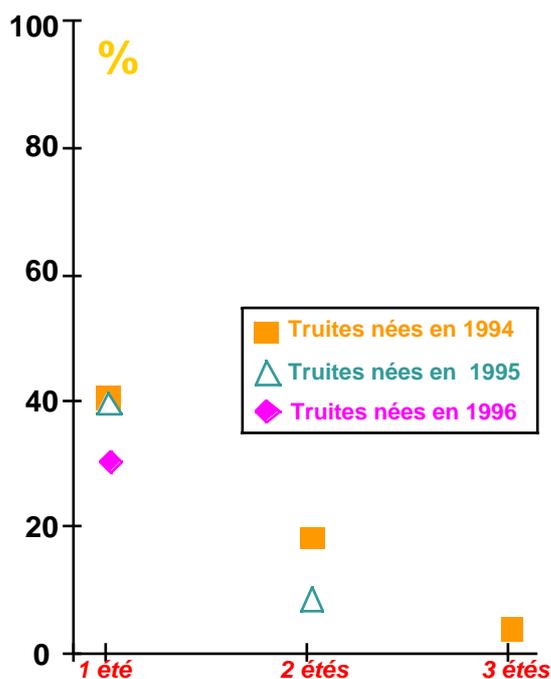


Figure 15 : évolution chronologique des taux de marquage observés sur les truites en place en fin de saison de pêche

Les taux de marquages observés sur les échantillons capturés en place par pêche électrique chute fortement avec le vieillissement des cohortes (fig. 15). Du stade 0+ au stade 1+, la baisse de cette proportion est encore beaucoup plus forte en 1995. Pour la cohorte 94, on ne retrouve plus de truite marquée en place après leur troisième année, à la fin de la saison de pêche sportive.

34-2. Taux de marquage mesuré *dans le panier des pêcheurs*

Le suivi des saisons de pêche 1997 et 98 a montré que les captures (en nombre) sont constituées à plus de 90% de 2+, 3+ et 4+ et à plus de 70% de truites de 2+ ou 3+. Sur cette base, on a d'abord cherché à estimer la proportion de truite provenant de repeuplement pour une cohorte donnée (95), pêchée à la ligne durant plusieurs années. Puis, on a calculé la proportion d'individus provenant d'alevinage parmi les truites, issues de plusieurs cohortes, qui ont été capturées à la ligne au cours de la saison 1998.

Contribution de l'alevinage aux prises issues de la cohorte 95 (tab. X et ann. 13)

La structure d'âge et le suivi des truites marquées a montré que l'essentiel de l'exploitation (en nombre) des truites issues du repeuplement était réalisé aux stades 2+ et 3+. Le suivi des saisons de pêche 97 et 98 permet d'évaluer un taux minimum de recaptures déclarées issues du relâcher d'alevins de la cohorte 1995 (pêchés en 2+ en 1997 et en 3+ en 1998). La contribution du recrutement naturel pour ces deux stades de captures (2+ et 3+) a été évaluée par différence.

Avec des hypothèses additionnelles, il est possible d'estimer les quantités de captures totales déclarées (marquées ou non) élargies aux autres classes d'âge. Pour les périodes milieu de saison 97 à fin de saison 98, les données sont les données réelles. Pour le début de saison 97 le taux choisi est celui qui a été évalué pour le milieu de saison 97. Pour la saison 99 (stade 4 +), le taux de contribution des 4+ marqués et non marqués dans les captures est celui qui a été estimé en 1998 dans le cas de la cohorte 1994. Pour la saison de pêche 97 les données totales sont celles réellement déclarées. Pour la saison 99, ce sont les données 98, celles de 99 n'étant pas disponibles.

Le repeuplement a contribué pour **23,6 %** (1024/4335) aux captures déclarées de 2+ et 3+ issues de la cohorte 1995 sur le Doubs franco suisse entre le milieu de saison 97 et la fin de saison 98 (tab. X et ann.13). Moyennant les hypothèses ci-dessus, **la contribution du repeuplement est évaluée à 21,0 %** (1529/7292) aux captures déclarées 1+ à 4+ issues de la cohorte 1995 sur le Doubs franco suisse. On retrouve bien le niveau moyen de captures annuelles déclarées voisin de 7000.

En tenant compte des quantités alevinées sur les zones centrale et aval, le taux de recaptures déclarées serait de 3,1 truites pour 1000 alevins vésiculés (1561/496 000). En prenant un taux de retour moyen des carnets de 70% et en faisant l'hypothèse d'une contribution des carnets non rendus variant entre aucune capture et un apport équivalent à celui de la moyenne des carnets rendus, le taux total de recapture seraient de 3,1 à 4,4 truites/1000 alevins vésiculés. Avec un coût de 220F/1000 alevins vésiculés, le coût de la truite pêchée serait compris entre 50 et 70 F.

Contribution de l'alevinage aux captures à la ligne de la saison 98 (tab. X et ann.14)

Il a été montré que l'essentiel des captures de 1998 se compose de 2+, 3+ ou 4+. Par conséquent, la composition des captures marquées dans la saison de pêche 1998 peut donner une idée moyenne des repeuplements pratiqués pour les cohortes 1994-95-96 qui correspondent respectivement aux 2+, 3+, 4+ de 98 et qui ont toutes été fluoromarkées. Le nombre de captures déclarées appartenant à ces cohortes est donc évalué en déduisant des captures saisonnières le taux d'individus 1+, 5+, 6+ et 7+ estimé dans les échantillons saisonniers de captures.

L'estimation 1 est obtenue en appliquant aux captures saisonnières déclarées sur les zones centrale et aval (AAPP de Goumois), le taux de marqués calculé sur les échantillons saisonniers recueillis dans les zones centrale et aval réunies. Le taux de marqués variant très peu entre échantillons saisonniers, l'estimation 2 est obtenue en regroupant les échantillons saisonniers et en appliquant le taux de marqué sur cet échantillon regroupé à l'ensemble des captures déclarées. La contribution du repeuplement est probablement plus faible comparativement à une autre période car l'arrêt des déversement dans la zone centrale en 1996 (coh. 2+ en 1998), a probablement concourru à y faire chuter le taux de marqués dans la classe d'âge 2+. Toutefois, la quantité d'alevins déversés sur les autres secteurs a été plus grande et ne s'est pas traduite pour autant par un surcroît de truites marquées capturées à la ligne.

Pour la saison 1998 le nombre de 2+, 3+ et 4+ capturé est évalué à 6106. La contribution du repeuplement dans les prises d'âge correspondant peut s'estimer de 2 façons :

Estimation 1 : **22,5%** (1376/6106).

Estimation 2 : **23,3%** (1422/6106) intervalle de confiance : 18,7 à 26,7% (44*/ 202).

Ces estimations de la contribution moyenne du repeuplement au stock de truite pêchée à la ligne en 98 apparaissent cohérentes entre elle ainsi qu'avec la proportion de 20,5% des prises à la ligne issue de la cohorte 1995. Ces résultats permettent d'affirmer avec une bonne sécurité statistique qu'environ les 3/4 des captures dans la pêche dans la période étudiée proviendrait du recrutement naturel.

Avec un taux de marqué compris entre 20 et 25% dans la pêche de la zone de l'AAPP de Goumois et avec une évaluation des captures de 8 000 à 10 000, la gamme de variation des captures issues du repeuplement dans les zones centrales et aval serait de 1 600 à 2 500. Les quantités d'alevins introduits dans les zones centrale et aval fluctuant autour de 500 000, le taux de truites alevinées recapturées à la ligne serait compris sur cette zone entre **3,2 et 4,2 pour mille**.

Période	2+ non marqués (n) LT±ET	2+ <u>marqués</u> (n) LT±ET	3+ non marqués (n) LT±ET	3+ <u>marqués</u> (n) LT±ET	4+ non marqués (n) LT±ET	5+ non marqués (n) LT±ET
MS97	(13) 297±11	(4) 308±25	(11) 316±31		(6) 338±25	
FS97	(21) 296±19	(21) 293±13	(17) 314±27	(6) 319±21	(17) 358±33	
DS98	(11) 299±16	(7) 290±10	(16) 330±27		(11) 321±43	
MS98	(16) 292±18	(14) 295±15	(22) 315±29	(4) 296±30	(17) 338±33	(6) 371±23
FS98	(23) 289±26	(10) 298±14	(21) 329±49	(6) 300±33	(8) 343±47	
DS97-98	(11) 299±16 a	(7) 290±10 NS a	(16) 330±37 a		(11) 321±43 a	
MS97-98	(29) 294±15 a	(18) 298±18 NS a	(33) 316±29 a	(6) 297±26 S*	(23) 339±30 a	(7) 368±22
FS97-98	(44) 293±23 a	(31) 295±13 NS a	(38) 322±41 a	(12) 310±28 NS	(19) 352±39 a	
TOTAL 97-98	(84) 294±20	(56) 295±14 NS	(87) 321±36	(20) 304±27 S*	(53) 340±38	(10) 370±36

Dans une ligne donnée, pour une classe d'âge donnée, NS indique l'absence de différence de taille significative entre marqués et non marqués, S* indique une différence significative au seuil de 0,05 entre marqués et non marqués (test des rangs Mann Whitney). Dans une colonne donnée, pour une classe d'âge donnée et une origine donnée (marquées ou non marquées), l'existence d'une lettre minuscule commune indique l'absence de différence dans la taille entre début, milieu et fin de saison de pêche (test de Kruskal et Wallis dans le cas de trois groupes et test de Mann Whitney dans le cas de 2 groupes).

Tableau XIV: taille des truites capturées à la ligne dans les zones central et aval. Seuls les échantillons d'au moins 4 truites sont indiqués.

34-3. Caractéristiques comparés des marquées et des non marquées dans les prises à la ligne

Taille et croissances des truites capturées à la ligne (tab. XIV)

L'échantillonnage a mis en évidence l'existence de truites à croissance très rapide atteignant la taille légale dès le stade 1+, c'est-à-dire dans leur deuxième année, capturées à une taille de 28-29 cm. La taille moyenne des 2+ non marquées varie très peu, entre 289 et 296 mm, celle des 3+ non marqués entre 316 et 330 mm et celle des 4+ non marquées entre 321 et 358 mm. Pour chacune des périodes de saison de pêche (milieu de saison97 à fin de saison98), les tailles moyennes des truites sont très proches (tab. XIV) et il n'y a pas de différence significative (MWW, $P > 0,05$) dans la taille des truites 2+ marquées et non marquées capturées.

Pour chaque classe d'âge (2+, 3+ et 4+) de truites non marquées, la taille des truites capturées (saisons de pêche 97 et 98 regroupées) ne varie pas entre le début, le milieu et la fin de la saison de pêche (KW ; $P > 0,05$). De même, la taille des truites 2+ marquées capturées (saisons de pêche 97 et 98 regroupées) ne varie pas entre le début, le milieu et la fin de la saison de pêche (KW ; $P > 0,05$). Par ailleurs la taille des 3+ marqués capturés n'est pas significativement différente entre le milieu et la fin de saison (MWW, $P > 0,05$).

Sur l'ensemble regroupé des 2 saisons de pêche 97 et 98, pour chacune des périodes (début, milieu ou fin de saison pour les 2+ ; milieu ou fin de saison pour les 3+), il n'y a pas de différence significative entre la taille des truites marquées et la taille des non marquées (MWW ; $P > 0,05$). Sur l'ensemble des échantillons capturés à la ligne en 97 et 98, toutes saisons confondues, les tailles respectives des truites 2+ marquées et non marquées ne diffèrent pas (294 et 295 mm, MWW ; $P > 0,05$) alors que la taille des truites pêchées au stade 3+ est légèrement mais significativement supérieure (MWW, $P < 0,05$) pour les non marquées (321mm) comparativement aux marquées (304mm).

Robe des truites capturées à la ligne en 1997 et 1998 (tab. XV)

La robe a été caractérisée pour 2 lots de 119 et 198 truites capturées à la ligne, respectivement, dans les zones centrale et aval lors de la saison de pêche 1997 et 1998. Sur l'ensemble de ces 317 truites capturées à la ligne, seules 24,0 % (76 truites) ont une robe avec 100% de points noirs et 17,7% (56 truites) ont à la fois une robe zébrée et 100% de points noirs. La proportion de truites ayant la robe typique des truites sauvages de cette zone du Doubs est donc faible dans l'échantillon de truites capturées.

Il y a des truites zébrées à la fois parmi les truites ayant 100% de points noirs et parmi les truites ayant des points rouges. Cependant il y a 2,6 fois plus de truites zébrées parmi celles ayant 100% de points noirs (73,7% ; 56/76) que parmi celles ayant des points

rouges (28,2%; 68/241). La majorité (92,4% ; 73/79) des truites marquées avaient des points rouges ; seulement 6 truites avaient 100% de points noirs dont une seule était zébrée. Parmi les 73 truites marquées ayant des points rouges, 18 étaient zébrées.

	Marque	1+	2+	3+	4+	4+ total	5+7+tot.	Total
		(n) %	(n) %	(n) %	(n) %	(n) %	(n) %	(n)
NZ & PR	non	(1) 33,3	(52) 61,9	(28) 32,2	(5) 15,6	(6) 12,2	(1) 6,7%	88
Z & PR	non	(2) 66,7	(25) 29,8	(29) 33,3	(11) 34,4	(20) 40,8	(4) 26,7%	80
Z & 0PR	non	(0) 0,0	(1) 1,2	(23) 26,4	(13) 40,6	(18) 36,7	(9) 60,0%	51
NZ & 0PR	non	(0) 0,0	(6) 7,1	(7) 8,0	(3) 9,4	(5) 10,2	(1) 6,7%	19
NZ & PR	oui	(2) 100	(41) 73,2	(12) 60,0				55
Z & PR	oui	(0) 0,0	(11) 19,6	(6) 30,0				18
Z & 0PR	oui	(0) 0,0	(3) 5,4	(2) 10,0				5
NZ & 0PR	oui	(0) 0,0	(1) 1,8	(0) 0,0				1
0 PR	non	(3) 0,0	(84) 8,3 A a	(87) 34,5 A b	(32) 50,0 b			
0 PR	oui	(2) 0,0	(56) 7,1 a	(22) 10,0 B a				
0 PR	total	(5) 0,0	(140) 7,9 a	(107) 29,9 b		(49) 46,9 c	(15) 66,7 c	

Z: zébrée; NZ: non zébrée; PR: présence de points rouges; 0PR: absence de points rouges (= 100% de points noirs). Pour les colonnes avec les entêtes 1+ à 4+, l'origine de recrutement est distinguable grâce au marquage (marquées = repeuplement; non marquées: recrutement naturel). Pour les colonnes 4+ total et 5+ à 7+, l'origine de recrutement n'est pas distinguable sur tout (5+ à 7+) ou partie des individus (4+ total).

Pour une ligne donnée, les pourcentages n'ayant pas une lettre minuscule commune diffèrent significativement (Chi deux ou test exact de Fisher, $P < 0,05$). Pour une colonne donnée, les pourcentages n'ayant pas une lettre majuscule commune diffèrent significativement (Chi deux ou test exact de Fisher, $P < 0,05$).

Tableau XV : caractéristiques de la robe des truites échantillonnées lors des saisons de pêche 1997 et 98 sur les zones centrales et aval du Doubs franco-suisse.

La répartition des truites selon l'apparence de la robe (zébrée ou non et avec ou sans points rouges), l'origine de recrutement et la classe d'âge est indiquée dans le tableau XV. Au stade 2+ , il n'y a pas de différence significative entre marquées et non marquées pour le taux de truites à points rouges qui avoisine 92-93% dans les deux cas. Au stade 3+, le taux de truites à 100% de points noirs est plus élevé chez les non marquées (34,4%) que chez les marquées (10%).

Chez les truites non marquées, le pourcentage de truites ayant 100% de points noirs a tendance à être plus élevé dans les vieilles classes d'âge que dans les jeunes classes

d'âge avec 8.3 % (7/84) pour les 2+, 34,5% (30/87) pour les 3+, 50,0% (16/32) pour les 4+. Pour le petit échantillon de truites pêchées appartenant aux classes d'âge de 5+ à 7+, les 2/3 (10/15) sont des truites ayant 100 % de points noirs.

Sur l'ensemble des truites échantillonnées (marquées et non marquées), le pourcentage de truites ayant 100% de points noirs est plus élevé dans les vieilles classes d'âge que dans les jeunes classes d'âge avec 0,0% (0/5) à 1+, 7,9 % (11/140) à 2+, 29,9% (32/107) à 3+, 46,9% (23/49) à 4+. et 66,7% (10/15) pour les classes d'âge 5+ à 7+. Le pourcentage de truites sans point rouges est, pour chacun des groupes d'âge 3+ (29,9%), 4+ (46,9%), 5+ à 7+ (66,7), significativement (Chi deux, $P < 0,001$) supérieur à celui (7,9%) des 2+. Le pourcentage de truites sans point rouges est, pour chacun des groupes d'âge 4+ et 5+ à 7+, significativement supérieur (Chi deux, $P < 0,05$) supérieur à celui des 3+.

Le pourcentage de truite sans points rouges ne diffère pas significativement (Chi deux, $P < 0,05$) entre 2+ marqués (7,1%) et 2+ non marqués (8,3%). Par contre, le pourcentage de truites sans points rouges est significativement (TEF, $P < 0,05$) supérieur chez les 3+ non marqués (34,5%) que chez les 3+ marqués (10,0%).

Le pourcentage de truites non marquées sans point rouges est, pour chacun des groupes d'âge 3+ (34,5%) et 4+ (50,0%) significativement (Chi deux, $P < 0,001$) supérieur à celui (8,3%) des 2+ non marquées. Par contre le pourcentage de truites 3+ marquées sans points rouges (10,0%) n'est pas significativement différent (TEF, $P > 0,05$) de celui des truites 2+ non marquées sans points rouges (7,1%).

Remarque : pour les truites 2+ et 3+ pêchées à la mouche sèche ou au toc, les taux de truites sans points rouges sont respectivement de 24,1 et 15,9 et ne diffèrent pas significativement (Chi deux, $P > 0,05$). Pour les truites d'âge >3+ pêchées à la mouche sèche ou au toc, les taux de truites sans points rouges sont respectivement de 36,8 et 54,8 %. Cet écart n'est pas non plus significatif (Chi deux, $P > 0,05$).

34-4. Variation spatio-temporelles des taux de marquage

Évolution temporelle du taux de marquage (prélèvements à l'électricité et à la ligne).

L'analyse des individus échantillonnés par pêche électrique a montré une contribution de plusieurs dizaines de % des alevins de repeuplement à la population de 0+ au début de l'automne suivant leur déversement. Par contre, cette contribution s'érode au cours du temps au niveau de la population en place dans les stations échantillonnées en zone courante peu profonde (<1m). La baisse du taux de marqués a été forte entre le stade 1+ et 2+ pour la cohorte 1994 et elle a eu lieu plus précocement, entre le stade 0+ et 1+, pour la cohorte 1995. Parmi les 2+ échantillonnés par pêche électrique, les seuls individus marqués ont été capturés dans la partie amont.

Dans l'ensemble, le taux de marquage observé sur ces 2+ est très faible, mais la faiblesse des effectifs de truites assortit cette estimation d'un fort taux d'incertitude. On ne peut que déplorer que le gestionnaire du droit de pêche se soit opposé, au dernier moment à l'analyse d'une quantité de truites de maille plus importante. Ce sous-échantillonnage est d'autant plus accentué qu'il aurait sans doute fallu récupérer des truites dépassant les tailles présélectionnées, étant donnée les fortes vitesses de croissances observées pour les truites du Doubs (§ 3).

L'analyse des prises à la ligne a mis en évidence, en particulier sur la zone aval, un taux de truites marquées dans les captures par pêche au stade 2+ (coh.95) ou 3+ (coh.94), plus élevé que celui qui a été évalué dans la population automnale en place échantillonnée dans les zones courantes aux stades 1+ (coh. 95) et 2+ (coh. 94). Parallèlement, pour chacune des zones centrale ou aval et pour une cohorte donnée, le taux de marqués baisse d'une classe d'âge à l'autre : entre 3+ et 4+ (coh. 94) et entre 2+ et 3+ (coh. 95).

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette tendance à la diminution de la contribution des alevinages ainsi que les différences entre les taux observés pour les 2+ dans la population en place et ceux enregistrés dans les captures par pêche à la ligne.

1° Les 0+ issus du repeuplement, malgré leur bonne implantation initiale, pourrait montrer, après le premier été, des aptitudes de survie en milieu naturel inférieures à celles des alevins issus du recrutement naturel.

La période d'hivernage est en effet connue comme étant une phase critique. CHAMPIGNEULLE et al. (1990a) ont trouvé des taux de disparition élevés (50 à 67%) entre la fin octobre et le début mars pour des truitelles sédentaires 0+ et 1+ dans le Redon, un affluent du Léman. D'après CUNJAK et POWER (1986) et CUNJAK (1988), le début de l'hiver est une période de stress correspondant à l'acclimatation à des conditions environnementales rapidement changeantes, ce qui joue fortement sur la survie hivernale en particulier pour des rivières susceptibles de geler. Parallèlement, BRADFORD *et al.* (1995) montrent que les juvéniles de salmonidés peuvent être extrêmement vulnérables à la mise à sec par baisse rapide du niveau d'eau quand la fraîcheur des températures hivernales favorise le comportement d'enfouissement dans le substrat grossier.

BACHMAN (1984) montre qu'une des causes de la mortalité supérieure des truites de repeuplement adulte issues de stocks domestiques est l'existence de dépenses énergétiques excessives (mouvements plus fréquents, aptitude moindre à utiliser et à défendre des sites de nourrissage favorables). Par ailleurs, FERNO et JARVI (1998) ont montré que les juvéniles issus de souches domestiquées ont, face à un prédateur, un comportement de fuite moins efficace que celui des juvéniles sauvages.

2° Une autre hypothèse est l'existence d'une plus forte tendance à la dévalaison pour les truites issues du repeuplement.

Plusieurs auteurs (SKROCHOWSKA 1969 et CUI NAT 1971) indiquent que le comportement migrateur varie selon les souches et apparaît notablement plus développé chez les souches domestiquées, en particulier à partir de truite de mer. La phase de dévalaison a généralement lieu au printemps à l'âge de un ou deux ans et, pour une classe d'âge donnée, elle touche davantage les individus à plus forte croissance et les femelles (SKROCHOWSKA 1969, CHAMPIGNEULLE et al. 1990b; JONSSON et JONSSON 1993, OMBREDANE et al. 1998).

En zones soumises à fortes éclusées, les dévalaisons peuvent être accrues au stade d'alevins (HEGGENES, 1988 ; SABATON *et al.*, 1995) ou aux stades ultérieurs, par limitation de la capacité d'accueil sur les zones en débit court-circuité. Le problème reste de savoir si les dévalants se fixent dans la retenue de leur zone de départ ou bien s'ils dévalent plus loin, ce qui pose le problème de leur survie lors de leur passage dans les débits turbinés ou en surverse jusqu'au pied du ou des barrages.

Cependant plusieurs observations vont à l'encontre de l'hypothèse d'un fort taux de dévalaison. Tout d'abord, aucune *smoltification* n'a été observée dans les lots témoins gardés en stabulation pour le contrôle des marques. Or ce phénomène caractérise généralement les truitelles issues des souches à tendances migratrices et dévalantes à 1 et 2 ans au printemps.

Par ailleurs, le sexe ratio mesuré dans la population en place est resté équilibré et peu variable entre les stades 0+, 1+ et 2+ ce qui indique plutôt une sédentarité puisque les chez les truites migratrices les femelles dévalent davantage. De la même façon, un apport postérieur au stade 0+ de truites non marquées par amontaison depuis la boucle suisse du Doubs, apparaît peu probable (cf. § 1-1).

3° La conjonction d'une lacune de prospection des mouilles à l'électricité et d'une éventuelle différence de distribution spatio-temporelle entre truites adultes provenant du repeuplement et truites issues du recrutement pourrait avoir conduit à sous estimer le taux de marqués en place.

En effet, la pêche électrique étant pratiquée uniquement en courants peu profonds (<1m) n'a pas permis d'échantillonner les zones profondes alors que la pêche à la ligne s'applique à la fois aux zones courantes peu profondes et à la plupart des habitats profonds. Or une étude dans trois rivières norvégiennes (BREMSET et BERG, 1997) a montré l'existence, à un âge donné, de densités, biomasses (en 1+ à 3+) et taille supérieures dans les mouilles comparativement aux zones courantes moins profondes.

Des différences anatomiques et comportementales peuvent jouer sur la répartition spatiale. JONES (1975) et CHAMPIGNEULLE (1978) ont montré que les truites d'âge

égal ou supérieur recherchent des milieux plus profonds. VINCENT (1960) et MOYLE (1969) indiquent que des ombles de fontaines de souches domestiquées ont tendance à nager plus près de la surface que des ombles de première génération issus de parents sauvages. SOSIAK (1982) a montré que la flottabilité des truites d'élevage est supérieure à celle des truites sauvages. Selon l'auteur, ces dernières seraient donc favorisées pour se positionner à proximité du substrat et donc la colonisation des zones plus courantes.

HESTHAGEN et al. (1995) ont mis en évidence l'existence de différences dans l'habitat utilisé (zone pélagique ou littorale) entre des truites de repeuplement non autochtones et des truites autochtones (sauvages ou de repeuplement) dans une retenue en Norvège. MESA a montré en rivière artificielle pour des truites à gorge coupée de 15-20cm (*Oncorhynchus clarki*) que les domestiques étaient plus agressives que les sauvages et qu'elles passaient en moyenne 57% de leur temps en zone plus profonde et 43% en courants, comparativement à 71% en profonds et 21% en courants pour les sauvages.

Toutefois, les mouilles sont pour le Doubs un habitat minoritaire par rapport aux radiers, aux plats et aux plats courants. Par ailleurs plusieurs études (HENRY et CHAMPIGNEULLE, 1987 ; CHAMPIGNEULLE et HENRY, 1997, CAUDRON, 1998) en torrents de Haute-Savoie ayant peu de zones profondes ont également mis en évidence des chutes de la contribution relative du repeuplement entre les stades automnaux 0+ et 1+ et/ou 1+ et 2+. Dans le cas d'une rivière de Savoie, le Fier, une "remontée" de la contribution des truites de repeuplement dans le stock pêché à la ligne a été également montrée (CAUDRON, 1998). Ces observations conduisent à une autre hypothèse qui pourrait être alternative ou concurrente avec celle envisagée ci-dessus.

4° Les truites issues du repeuplement pourraient montrer une vulnérabilité nettement plus affirmée vis-à-vis de la pêche à la ligne.

Une première conséquence serait, aux tailles sublégales de provoquer, comparativement aux truites sauvages, des mortalités plus fortes induites par les blessures et le stress de capture-relâcher. Aux tailles légales, l'effet serait d'induire une contribution de l'alevinage dans les captures par pêche à la ligne plus forte que pour l'ensemble de la population. L'étude des otolithes a par ailleurs montré que les truites issues du repeuplement rentrent rapidement dans la pêche (principalement au stade 2+) et en disparaissent plus rapidement que celles issues du recrutement naturel. Or, les suivis de la population en place au stade 2+ (coh. 94) en automne ont été réalisés après la phase d'exploitation maximale de la cohorte repeuplée. Ce phénomène, bien que beaucoup plus limité touche également les 1+ à plus forte croissance (coh. 94 et 95).

Cette réflexion montre que les hypothèses les plus solides pour expliquer l'évolution du taux de marquage avec le vieillissement des cohortes sont celles d'une mortalité plus importante des truites issues d'alevinages après leur premier été, probablement combinée avec une capturabilité plus forte à la ligne pour les poissons de cette provenance et peut

être avec une sous-estimation du taux de truites marquées en place pour cause de non-prospection des zones profondes. En fait l'écart observé entre les deux points de vues ne se résulte pas à d'une simple contradiction mais traduit probablement des différences de biologie et d'écologie très marquées entre truites alevinées et truites nées dans la rivière.

Influence de l'artificialisation des débits sur l'impact de l'alevinage

L'impact des barrages sur le fonctionnement des rivières fait actuellement l'objet de nombreuses études parmi lesquels celles de CAPRA (1995), CUSHMAN (1985) et SABATON *et al.*(1995). Certains aspects de dynamique spatio-temporelle de la contribution du repeuplement abordés dans la présente étude apparaissent liés aux conditions hydrauliques.

Les densités les plus faibles de 0+ issues du recrutement naturel ont été trouvées sur les 3 stations les plus amont (CSP, 1995) qui sont les plus directement influencées par les perturbations hydrauliques des barrages du Châtelot et du Refrain. Des phénomènes similaires de déficit en alevins ont également été observés dans d'autres rivières à truites françaises soumises à éclusées (SABATON *et al.*, 1995 ; LIEBIG *et al.*, 1999).

Aux stades juvéniles, il y a une plus faible proportion de truites marquées dans les stations les moins hydrauliquement perturbées. L'amélioration de la production naturelle d'alevins (CSP, 1998) suite à la mise en fonctionnement hydraulique non perturbé (automne 1995 à printemps 1997, non-alevinage en 1996, deux fraies naturelles possibles) de la zone centrale en 1996 confirme le rôle limitant majeur du recrutement naturel joué par les perturbations hydrauliques.

CAPRA (1995) a mis en évidence le débit comme étant un facteur limitant pour le stade adulte. BARAN *et al.* (1997) ont étudié les réponses quantitatives de populations de truites communes à des réductions de débit sur 2 rivières des Pyrénées. Les auteurs ont mis en évidence un ralentissement significatif de la croissance à partir des individus 2+. En situation de débit naturel, les individus entre 160 et 230 mm correspondent aux individus 2+ alors qu'en débit réduit, cette classe de taille correspond à des individus 2+ et 3+. Parmi les hypothèses envisageables, il y a des hypothèses trophiques.

Par ailleurs, face aux réductions d'habitats d'adultes disponibles et notamment aux réductions de profondeurs, les poissons ralentiraient leur croissance afin de maintenir une adéquation entre disponibilité d'habitat et préférence des individus. Ce type de fonctionnement pourrait être, celui observé sur le TCC du Châtelot puisqu'on y observe à la fois une forte concentration dans la gamme de taille de taille 160-230 mm (CSP, 1995) et une croissance plus faible pour les 1+ et 2+ (présente étude).

Impact réel des alevinages : ajout ou substitution ?

Les campagnes de marquage ont montré, en particulier sur les zones centrale et aval, qu'une partie importante (>50%) des 0+ et que la plupart des 1+ et 2+ présents dans les courants sont issus de la fraie naturelle. Mais l'étude a aussi montré que plusieurs dizaines de % des 0+ proviennent du repeuplement. La validité de l'estimation du taux d'implantation des stades précoces est renforcé par le fait qu'il a été obtenu avec réplicats (3 cohortes et trois zones d'étude de grande étendue). Il convient toutefois, de chercher à savoir si les alevins déversés qui se sont implantés sont venus en complément ou ont pris la place d'une partie des alevins issus du recrutement naturel.

Globalement, la prise en compte des hétérogénéités spatiales et biologiques confirme la prédominance des truitelles nées dans la rivière (près des trois cinquièmes). Cette constatation ne signifie pas que l'impact d'alevinage au stade "0+" soit négligeable puisqu'il atteint certaines années 40 à 45 %.

Néanmoins ces chiffres doivent **être discutés et relativisés** en les resituant dans le contexte d'ensemble, caractérisé par des densités en place déficitaires ; surtout il faut déterminer **si cette proportion de truites provenant d'alevinage s'ajoute ou se substitue** à celles qui sont nées dans la rivière (cf. § 4 ci-dessous).

3-5. Efficacité réelle des alevinages et impact des éclusées

35-1. Principe : expérience de non-alevinage sur la zone centrale (fig. 4)

Pour vérifier si les poissons introduits se surajoutent ou s'ils se substituent aux truites nées dans la rivière, les alevinages ont été suspendus, depuis 1996, sur un secteur isolé allant de l'aval du barrage du Refrain jusqu'à celui de la Goule (zone centrale, fig. 1 et 2). Dans l'hypothèse où les alevinages augmentent le nombre de truitelles en place, on s'attendait à voir baisser les densités de truitelles de 30 à 40 %, puisque cette proportion correspond au taux de 0+ marqués. Pour être complet, il convient aussi d'envisager ce bilan d'ajout ou de substitution en considérant le stade truite de maille.

Pour mesurer cette efficacité réelle des alevinages, la station du Câble a été prospectée en septembre 1994, en situation alevinée, puis en octobre 1996 et en septembre 1999, après que les alevinages eurent été suspendus depuis respectivement une et quatre années (fig. 4). La station des Seignottes, située à l'aval de la Goule, dans la zone aval où les alevinages ont été maintenus, a servi de station témoin entre 1994 et 1996.

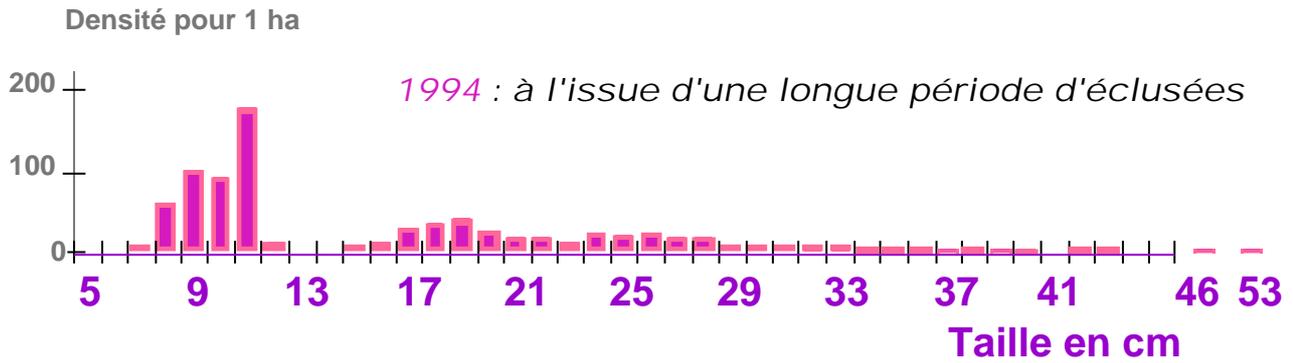
Toutefois, d'importantes modifications de la gestion hydraulique du barrage du Refrain ont provoqué de fortes interférences entre l'effet du non-alevinage et l'effet des éclusées. Dans un premier temps, cet ouvrage a été mis en chômage plus ou moins total, d'août 1994 à mai 1997. Dans un deuxième temps, la reprise d'activité de cette installation semble avoir été assez brutale (ann. 15, photos 5 à 8).

Le suivi de la station du Câble a donc servi d'avantage à préciser l'analyse des impacts du fonctionnement en éclusée qu'à répondre à la question posée sur l'efficacité absolue des alevinages. En effet, les débits baignant le TCC du Refrain ainsi que l'aval de la restitution se sont rapprochés de leur régime naturel, même s'ils continuaient à subir l'influence, lointaine mais importante, de l'usine du Châtelot, toujours fonctionnelle.

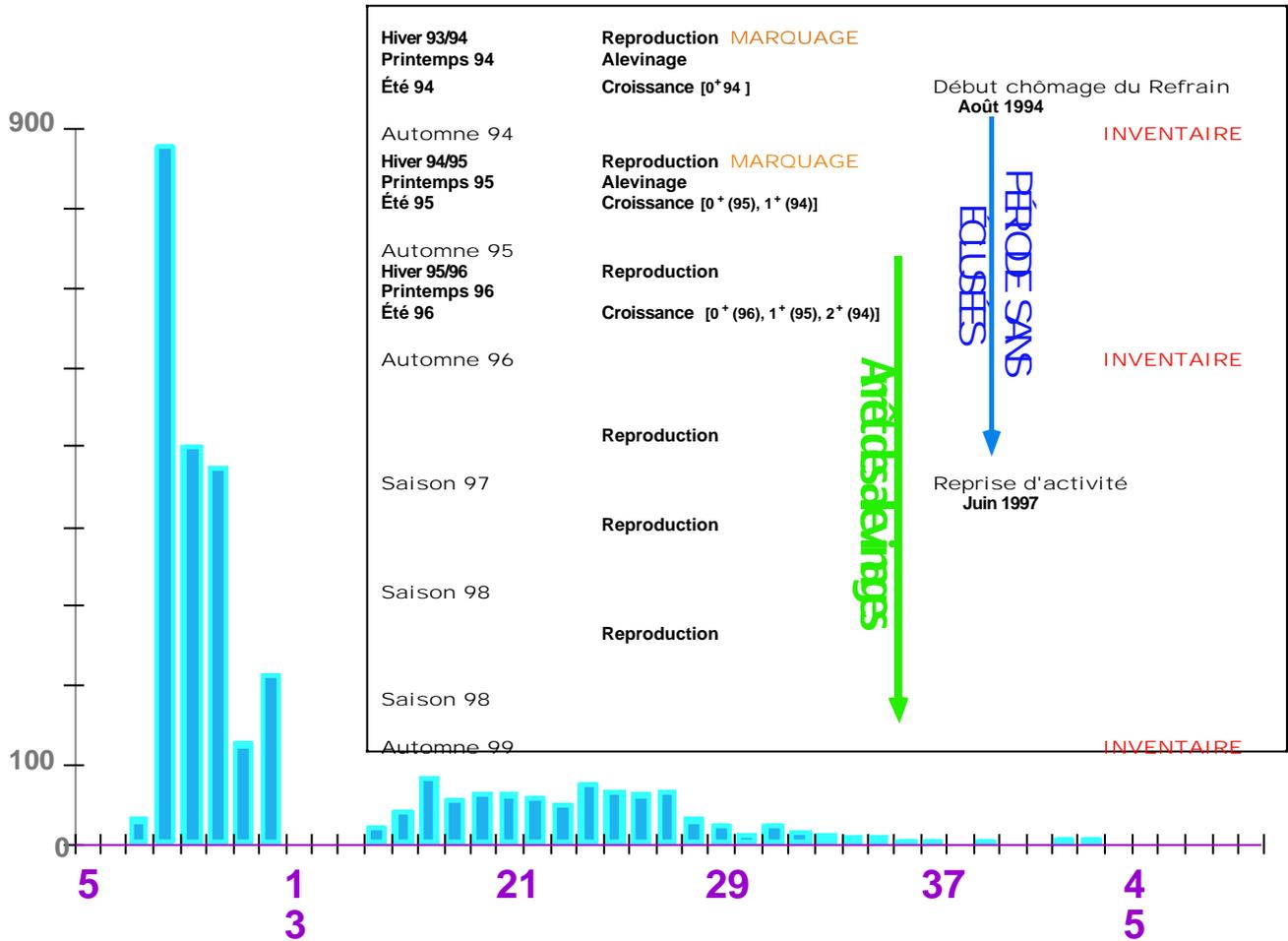
Comme la réparation de l'usine du Refrain s'est étalée du milieu de l'été 1994 à la fin du printemps 97, la comparaison a donc été en fait réalisée entre :

- une station alevinée mais sous influence d'éclusée (situation 1994)
- une station non alevinée et baignées pendant deux ans par des débits subnaturels, aux influences du Châtelot près (situation 1996).
- Une situation non alevinée et sous influences d'éclusées intempestives (1999).

Figure 16 : comparaison des densités et des compositin en taille des échantillons de truites capturés sur la station du Câble en septembre 1994, octobre 1996 et septembre 1999 (effectifs bruts capturés en deux passages ramenés à la même surface)



1996 : à l'issue d'une période de chômage de presque 3 ans de l'usine du Refrain (sans éclusées ou presque)



35-2. Le Câble (aval restitution Refrain) en 1994, 1996 et 1999

La station du Câble se situe à plus 1500 m de la restitution du débit de l'usine du Refrain. Cette distance, mais surtout la configuration habitacionnelle de ce secteur, nous avait conduit à le classer dans les situations les moins perturbées par l'hydroélectricité, tout en insistant sur le fait que les ondes d'éclusées dues à la succession des trois installations étaient de toutes façons sensibles sur l'ensemble du Doubs Franco-Suisse, jusqu'à Fuesse (cf. rapport CSP DR5 1995). D'ailleurs, le rapport DIREN de 1993 indique que les variations de hauteur d'eau observées au limnigraphe tout proche de la Combe des Sarrasins peuvent atteindre 80 cm en quelques dizaines de minutes (cf. aussi § 4).

La confrontation des résultats obtenus au cours des 3 inventaires réalisés en début d'automne en 1994, 1995 et 1999 montrent 3 tendances nettes (ann. 16, fig. 4, 16 et 17).

1° Tout d'abord la densité de truitelles capturées en 1996 est très nettement supérieure à celle observée en 1994

En effet, pour une même surface, trois fois plus de truitelles ont été capturées en 1996 en deux passages. Le nombre de juvéniles de l'années **estimé** pour une même unité de surface est plus de 1,5 fois supérieur en 1996 par rapport à celui calculé à partir de l'échantillonnage 1994. Compte tenu des erreurs d'estimations inhérentes à la méthode d'inventaire, qui correspondent à un intervalle de confiance inférieur à 10 % pour chacune des estimations si l'on accepte un risque d'erreur de 5%, cette augmentation apparaît statistiquement très significative.

On observe également une densité d'individus 1+ présumés, nés en 1995, beaucoup plus forte en 1996 qu'en 1994. Or l'année 95 a sans doute été difficile pour les truitelles puisqu'aux crues très fortes de l'hiver a succédé une sécheresse assez longue en été. En revanche, durant l'année 1996 les débits ont été assez stables, à l'exception des mois de février et d'avril qui ont connu des phases d'étiage prononcé. Les fortes augmentations des truites nées en 1995 et en 1995, pendant le chômage du Refrain indique soit une année de reproduction et de croissance exceptionnellement bonne soit l'effet bénéfique de l'arrêt des éclusées.

2° La densité de truitelles mesurée en 1999 retombe à un niveau encore inférieur à celle qui a été observée en 1994.

La densité de truitelles 0+ estimée en 1999 est nettement plus basse que celle qui a été calculée en 1996 et même en 1994. Parallèlement la densité de truitelles 1+ capturées en 1999 retombe au niveau enregistré en 1994.

Photos 5-8 : exemple des effets de l'insuffisance des débit réservés et des débits de base sur le Doubs franco-suisse : assèchement des bordure et des bras secondaires, mortalité de poissons et de macro-invertébrés par mise à sec.



Cette chute d'abondance des truitelles d'un et de deux étés coïncide avec la reprise du fonctionnement normal du Refrain. Des mortalités de poissons échoués ont d'ailleurs été observées par les pêcheurs et les promeneurs à plusieurs reprises depuis cette remise en fonctionnement et en particulier au cours du printemps 99 (ann. 15 et photos 5 à 8).

3° En 1996 et en 1999 les truitelles de l'année sont en moyenne plus petites, malgré des dates de pêche légèrement plus tardives en 1996 (fig. 16).

En effet, la taille moyenne des truitelles de l'années capturées début septembre 1994 atteignait 10,0 cm contre 9,1 au début du mois d'octobre 1996 et 9,0 cm début septembre 1999. Le calcul du test Z montre que ces écarts sont très significatifs. La différence de taille moyenne observée entre la population de truitelles de la phase alevinées et celles provenant uniquement de la reproduction naturelle corrobore les observations formulées de façon plus rigoureuse à partir de la lecture des otolithes (cf. § 3-3).

Cette tendance peut être interprétée par une croissance initiale plus lente des truites réellement sauvages, c. à d. nées dans la rivière. Ce phénomène a déjà été observé sur plusieurs rivières de la région Franche-Comté (Doubs à Mouthe, Ain supérieur et affluents, Bienne...). À l'issue de leur première année, les individus nés dans ces rivières calcaires sont plus petits que ceux provenant d'alevinage.

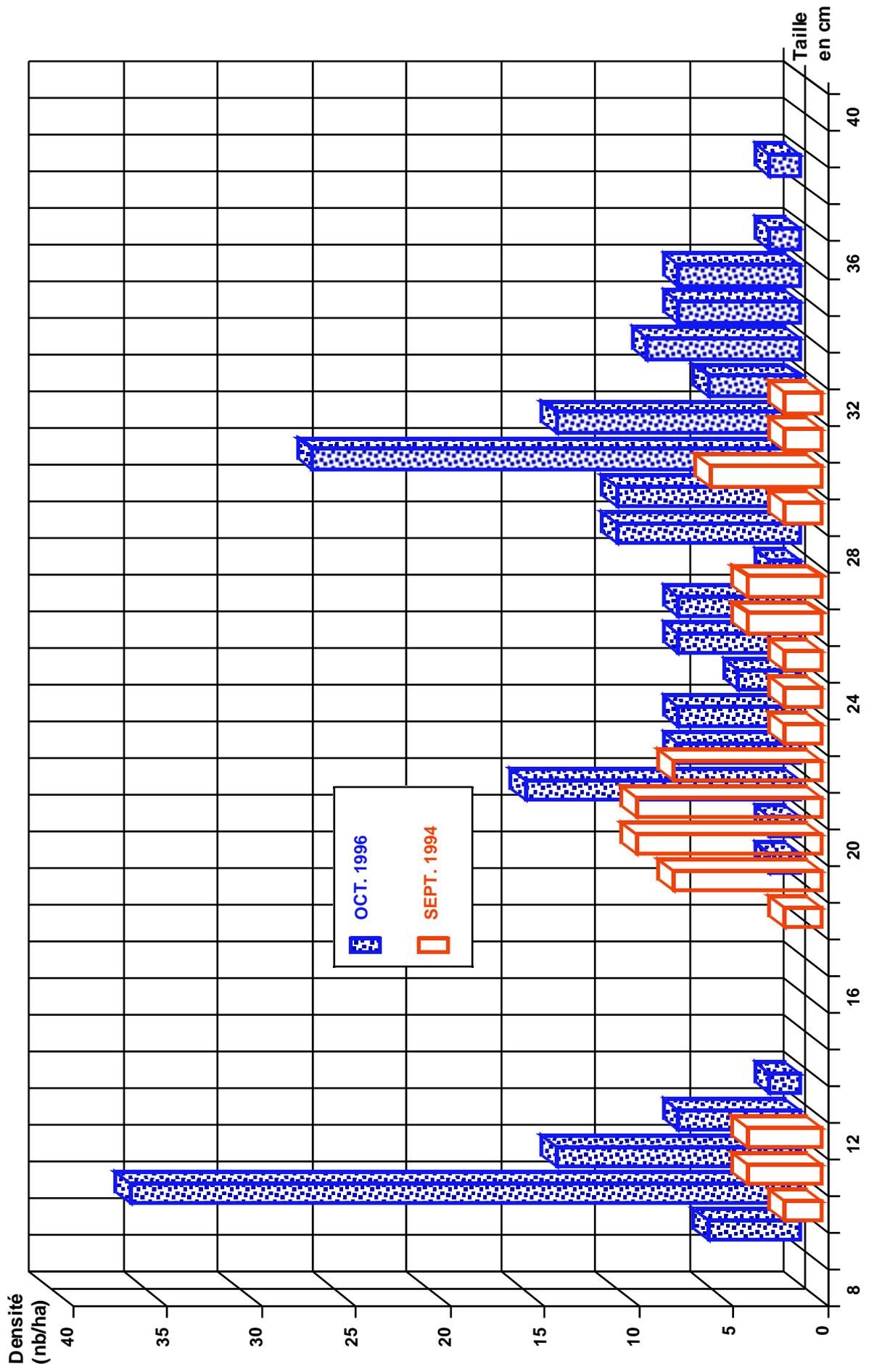
La différence s'explique par 2 "avantages" dont bénéficient ces derniers. Tout d'abord, leur incubation ayant généralement été réalisée à température constante plus chaude ils sont souvent déversés dans la rivière à un stade plus avancé que les alevins autochtone. Ensuite, ils sont souvent "démarrés" à l'aliment artificiel pendant une ou plusieurs semaines. Lorsque ces alevins sont déversés, ils possèdent donc fréquemment une taille supérieure à celle des truitelles autochtones. Cet écart semble se maintenir ou s'amplifier au cours du premier été, mais pas forcément au cours des années suivantes (cf. § 3-3.).

4° Une quantité d'ombre plus importante a été capturée en 1996 (fig. 17).

La densité d'ombre et les biomasses capturées en 1996 sont nettement supérieures à celles qui ont pu être échantillonnée en 1994 et en 1995 dans les mêmes conditions. Pour cette comparaison, les effectifs numériques bruts capturés en 2 passages paraissent la meilleure estimation de densité étant donné la grande taille de la station et le comportement de cette espèce de pleine d'eau.

En 1996, une quantité importante d'ombre de l'année et d'individus adultes a pu être observée alors que ces 2 classes d'ages étaient très déficitaires dans l'échantillon de 1994 (fig. 17). Cette augmentation notable de la densité des juvéniles d'un été indique la bonne réussite de la fraie sur ce secteur en 1996.

Figure 17 : comparaison des structures tailles/densités des échantillons d'ombres capturés sur la station du Câble en septembre 1994 et en octobre 1996 (effectifs bruts capturés en deux passages ramenés à la même surface)



Parallèlement, la forte densité d'ombre adulte montre que la station du Câble a été beaucoup plus attractive en 1996 pour ces poissons, très sensibles à la diversité des mosaïques de courant et de hauteur d'eau.

Ces 2 observations conjointes indiquent que l'arrêt des éclusées durant l'année 96 s'est traduit par une nette augmentation du potentiel offert par l'habitat aquatique, dont l'ombre est un bon indicateur lorsque l'on se situe, comme c'est le cas, dans son *preferendum* écologique. Cette amélioration a probablement profité également aux truites de l'année, ainsi qu'à l'ensemble du peuplement (ann. 16).

35-3. Sondages sur le TCC du refrain en 1985, 1994 et 1996

En 1996 les conditions de débits n'ont pas autorisé la réalisation d'un inventaire à deux passages. Seul un sondage a pu être réalisé. Par conséquent les données obtenues en 1985, 1994 et 1996 ne peuvent être confrontées qu'en comparant le nombre de truites capturées par anode au cours des trente premières minutes de pêches, selon la méthode proposée par PEDROLI (rapport SRAE Fr. Comté 1985).

Date	Nombre de truites pour 30 minutes de pêche
27/08/85	31
7/09/94	9
2/10/96	57

Tableau XVI : comparaison du nombre de truites capturées par anode au bout de 30 minutes sur le TCC du câble en 85, 94, et 96

Malgré la faible précision de la méthode, les différences observées entre les trois opérations sont suffisamment significatives pour indiquer des tendances fiables. En particulier, la très faible densité de truites capturées en 1994, malgré des alevinages massifs réalisés au printemps précédent, témoigne d'un problème net.

Cette anomalie ne peut en aucune façon être expliquée par la présence chronique ou aiguë de toxiques, ni par d'autres altération intenses de la qualité de l'eau dont l'hypothèse a été émise par EDF pour expliquer le déficit observé (réunion du 22/11/96).

En effet, aucune mortalité massive de poisson n'a été constatée sur ce secteur. Parallèlement, la densité et la structure de la population aval (station du Câble), analysées simultanément, n'indiquent pas déficit aussi alarmant.

Surtout, la densité des truites sur ce TCC comme à l'aval de la restitution (station du Câble, voir ci-dessus) augmente nettement en 1996, lorsque le débit naturel n'est plus court-circuité, et malgré l'absence de tout alevinage. La présence chronique de polluants se serait manifestée par une tendance inverse, due à une augmentation de leur flux, ou au moins par une stagnation de l'abondance des truites à un niveau très bas.

La faiblesse alarmante des densités mesurées en 1994 s'expliquent fort probablement, soit par une **diminution accidentelle**, même très ponctuelle, du débit réservé, soit par son **insuffisance** conjuguée à des conditions hydro-climatiques particulièrement défavorables en étiage durant la saison 1994. À l'appui de cette dernière hypothèse, on peut noter que les mois de juillet et d'août ont été particulièrement secs (tab. II).

35-4. Inventaires au Seignottes (aval de la Goule) en 1994,1995.

La densité de truitelles estimée en 1996 sur cette station témoin alevinée tous les ans et sous influence des éclusées du barrage de la Goule est légèrement supérieure à celles enregistrées en 1994, mais dans un rapport moindre que pour la station du Câble : 1,2 fois au lieu de 1,5. En fait, compte tenu des intervalles de confiances associés aux échantillons, cette augmentation n'apparaît pas statistiquement significative, contrairement à celle observée sur le Câble.

Parallèlement, la taille moyenne des truitelles capturées début octobre 1996 atteignant 11,5 est un peu plus importante que celle des juvéniles mesurée début septembre 1995 qui ne mesurait que 10,4 cm. Cet écart correspond à une croissance normale en un mois. En revanche la différence de taille constatée pour chacun des deux échantillons avec les truitelles échantillonnées sur le Câble (hautement significative d'après le test Z), corrobore l'hypothèse d'une meilleure croissance initiale des juvéniles alevinés (cas des Seignottes) par rapport aux truitelles nées dans la rivière (cas du Câble).

La densité d'ombres capturés sur la station des Seignottes est, elle, inférieure à celle enregistrée en 1995. En particulier, aucun adulte n'a pu être observé sur cette station. Ces deux séries de tendances mesurées sur une station témoin alevinée indiquent qu'il ne semble pas que l'année 1996 ait été plus particulièrement favorable à la production piscicole que l'année 1994 sur cette portion du Doubs.

35-6. Bilan du suivi de l'opération de non-alevinage

Des observations réalisées en 1995 et 1996 on peut déduire deux éléments importants

- 1° Le chômage de l'usine du Refrain, ayant entraîné l'arrêt (presque ?) total des éclusées de cette exploitation pendant plus de deux ans, a permis le développement harmonieux d'un peuplement plus dense, se rapprochant nettement de l'optimum théorique.**

En effet, la densité de truitelles mesurées en 1996 sur la station du Câble située à environ 1,5 km de la restitution du débit turbiné, est nettement supérieure à celle observée en 1994. La densité d'ombre a également augmenté de façon spectaculaire entre les deux inventaires. Parallèlement, l'ensemble du peuplement se rapproche de la structure optimale (ann. 16).

Cet important accroissement du nombre de truites et d'ombres entre 1994 et 1996 ne peut être attribué à des meilleures conditions hydrologiques naturelles puisque ces améliorations ne sont pas observées avec la même amplitude sur la station témoin des Seignottes, pourtant massivement alevinée au printemps de l'année 1996. En outre, les abondances de truitelles et d'ombre retombe au niveau observé en 1994 un an et demi après la remise en état de l'usine du Refrain.

- 2° À cause de ces importantes modifications du degré d'artificialisation du débit, il n'a pas été possible de vérifier rigoureusement si les poissons alevinés se surajoutent ou se substituent aux truitelles nées dans la rivière ; cependant la taille automnale de ces dernières semblent bien être inférieure à celle des truitelles introduites à la fin du printemps**

Il faut donc envisager la possibilité que la compétition entre ces 2 catégories d'alevins soit, lors de la première année, défavorable aux truitelles nées dans la rivière. Cette hypothèse, basée sur de fortes présomptions mais qui reste à démontrer rigoureusement, doit être prise en compte dans les choix de la gestion halieutique.

En effet, **le taux de survie ultérieur de ces truites introduites est apparemment inférieur à celui des individus autochtones** puisque la proportion de truitelles marquées diminue avec le vieillissement des cohortes. Par conséquent, la compétition exercée durant leur première année par les juvéniles d'alevinage risque de déboucher à long terme sur une diminution de la production de la truite de taille, seule intéressante pour les pêcheurs.