

EVALUATION DES UNITES DE RECHERCHE

**DEPARTEMENT HYDROBIOLOGIE ET FAUNE SAUVAGE
et
UNIVERSITE DE SAVOIE**

**DOSSIER DE DEMANDE DE
REHABILITATION DE
L'UMR 42, INRA – UNIVERSITE DE
SAVOIE**

**Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques
Des Ecosystèmes limniques**

CARTEL

Dossier Scientifique

Octobre 2002

DOSSIER SCIENTIFIQUE

RESUME

- La Station d'Hydrobiologie Lacustre INRA de Thonon travaille depuis plusieurs décennies sur l'écologie des lacs subalpins. Ses thèmes de recherche ont été d'abord focalisés sur les conséquences de l'eutrophisation sur l'écosystème lacustre. Au début des années 1980, afin de répondre à la demande sociale, cette thématique a été élargie d'abord aux transferts de phosphore dans les bassins versants puis à la dynamique des populations de poissons. Enfin, en 1998, un dernier groupe s'est structuré autour de l'écotoxicologie des microorganismes photosynthétiques et de l'étude des proliférations de cyanobactéries. Depuis le 1^{er} janvier 1999, la station est une Unité Mixte de Recherche (UMR CARTELE) par association avec un laboratoire de microbiologie aquatique de l'Université de Savoie (d'où le développement de recherches sur la boucle microbienne des lacs). Le renouvellement de l'UMR prévu en 2003 s'accompagnera, si le projet est validé, de son renforcement par association d'un labo de Sciences du Sol et d'un labo de Physiologie.

- Le CARTELE élargi comprend 45 personnes permanentes (contre actuellement 40) et une quinzaine de personnes en doctorat, séjours post-doctoraux, stages de recherche. Le CARTELE dispose d'un laboratoire d'analyses chimiques de l'eau agréé par le Ministère de l'Environnement, d'un laboratoire de microbiologie, d'une pisciculture expérimentale, de matériels de mesures et de prélèvements de terrain (préleveurs automatiques d'eaux, centrifugeuses à flux continu, bateaux équipés, sonde multiparamètres et sonde fluorimétrique, bouteilles et filets à plancton, échosondeur, chalut,..) et de matériel d'analyses biologiques des échantillons (cytomètre de flux, microscopes, compteur à scintillation, vidéomicroscopes, loupes, séquenceur...) et de marquage des poissons. L'UMR bénéficie des services analytiques communs de l'Université, en particulier pour la caractérisation physique des sédiments et suspensions (granulomètre laser et MEB).

- Le CARTELE met au centre de ses recherches l'étude du fonctionnement et de l'évolution des systèmes lacustres en relation avec leurs bassins versants. Le champ disciplinaire concerné est la Limnologie. Les travaux sont conduits dans une perspective d'aide à la décision en matière de gestion des ressources naturelles que sont les grands Lacs et avec la volonté de se placer au cœur des grands débats scientifiques actuels, rôle fonctionnel de la biodiversité, impact des changements globaux sur les écosystèmes. Ils incluent de ce fait des suivis à long terme qui constituent une base de données environnementale précieuse pour comprendre les effets de l'anthropisation et des changements climatiques.

- Le CARTELE s'intègre dans une perspective européenne en participant, à un projet de REX (Euro-limpacs : global change impacts on european lake ecosystems), au réseau « CHARNET », au programme en cours « EUROLAKES ("Integrated Water Resource Management for Important Deep European Lakes and their Catchment Areas"), et à un programme INTERREG France, Suisse et Italie traitant d'écogénétique de la truite (« identification et stratégie de conservation des populations autochtones », collaboration avec Universités de Berne, de Padoue et INRA Jouy).

- Le partenariat scientifique est également structuré par des recherches transversales mettant en œuvre une approche globale des causes et des impacts de la pollution en milieu rural et de ces impacts

(programme INRA-CEMAGREF « AQUAE » animé par Thonon et intégrant en particulier des collègues appartenant aux 3 stations du département HYFS et au labo INRA-ENV)

- Le partenariat en matière de recherche et recherche-développement est organisé autour de 3 GIS : GIS "Alpes du Nord" (structure qui regroupe INRA-CEMAGREF et Chambres d'Agriculture alpines pour des recherches finalisées sur des thèmes concernant les relations agriculture, développement et environnement), le GIS « plans d'eau » (qui associe des équipes INRA, CSP, CEMAGREF, autour de 4 volets : réseau, échantillonnage, indicateurs et gestion) et le GIS « cyanobactéries » (22 équipes de recherche appartenant à 15 instituts différents, CNRS, AFSSA, IP, Cemagref, ENS, Universités..).

- L'ensemble des recherches du CARRTEL est entrepris en étroite collaboration avec des partenaires socio-économiques : 1) Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman (CIPEL), Syndicat Intercommunal du Lac d'Annecy (SILA), Agences de l'Eau, CISALB au lac du Bourget, pour le suivi de la qualité des lacs, 2) Société des Eaux d'Evian, Chambres d'Agriculture et SIVOM pour les problèmes touchant à la pollution diffuse, 3) DDAF et Associations de pêcheurs professionnels et amateurs, pour la gestion halieutique.

PROBLEMATIQUE et OBJECTIFS GENERAUX

Les grands lacs : enjeux

La plupart des grands lacs situés dans des zones à fort développement économique, ont subi à partir des années 60 de graves dommages dus à l'accroissement de la démographie, des activités humaines et des déversements d'eaux usées. Parmi les diverses pollutions que véhicule le milieu aquatique, la pollution par le phosphore, responsable de l'eutrophisation, affecte tous les hydrosystèmes anthropisés et constitue un véritable changement global, qualifié d'universel dès les années 70 par Vollenweider.

La lente prise de conscience des problèmes environnementaux, de la nécessaire protection des milieux, du caractère limité des ressources en eau, du rôle croissant des lacs dans l'alimentation en eau potable mais aussi de leur rôle économique sur le plan piscicole et touristique, ont abouti dans les années 70/80, à la mise en place de mesures de correction, reposant avant tout sur le traitement des sources ponctuelles de phosphore et secondairement, sur des tentatives de maîtrise des sources diffuses (Barroin, 2001 ; Dorioz et Blanc, 2001 ; bibliographie de l'UMR en fin de paragraphe). Exceptionnellement ces mesures ont été drastiques et prises avant que la situation ne soit critique, si bien que les résultats ont été à la hauteur de l'attente. C'est le cas du lac d'Annecy soustrait à l'essentiel de sa charge externe en P par un collecteur périphérique. Plus généralement les mesures de diète phosphorée ont été plus longues à mettre en œuvre. Quand elles ont été suffisamment sévères, les premiers résultats se sont manifestés avec la réduction des concentrations de P (oligotrophisation), mais l'évolution de la biologie n'est pas toujours en phase avec celle de la chimie. Cette diversité entre paramètres chimiques et biologiques a été observée au lac de Nantua (Feuillade *et al.*, 1994¹), s'observe au lac du Bourget, au Léman et pour nombre de grands lacs américains.

C'est dans ce contexte que la gestion environnementale des lacs devient plus cruciale, que se développent des conflits d'usage et que de nouvelles menaces apparaissent ou sont perçues comme telles. Les lacs représentent désormais une véritable « ressource naturelle » orientant l'ensemble du développement régional (Cristofini *et al.*, 1994²), avec un rôle de plus en plus vital dans le tourisme et l'alimentation en eau potable (le Léman alimente 1.000.000 personnes). Ils constituent aussi un véritable « réservoir » de biodiversité tant végétale qu'animale. Parallèlement, chercheurs et gestionnaires s'interrogent sur le devenir à long terme de ces écosystèmes. En effet, le développement local induit par le lac constitue en retour une menace bien concrète pour celui-ci, et ceci malgré les progrès techniques : persistance voire accroissement des rejets de polluants, introduction d'espèces exotiques, modification des modes de transfert du fait de l'anthropisation croissante des bassins versants. A ces menaces locales s'ajoute l'impact potentiel de changements plus globaux : utilisation de nouveaux agents chimiques générateurs de perturbations biologiques, invasions biologiques, dérives climatiques... Toutes ces pressions sur l'écosystème lacustre sont susceptibles de modifier et de remettre en cause les dynamiques de restauration en cours (Gerdeaux, 2001). Elles appellent assurément de nouvelles approches de gestion, suscitant de nouvelles démarches scientifiques et en particulier des suivis à long terme.

¹ FEUILLADE J. (Ed.), 1994 - *Studies on lake Nantua (France) a eutrophic lake on the way to rehabilitation. Ergebn. Limnol.*, 41, 144 p

² CRISTOFINI *et al.*, 1994) - *Qualifying regional development. A study in 28 « cantons » of the french Alps- In* *Brossier et al Eds "Systems studies in Agricultural and rural Development" INRA Science Update 393-406.*

Les ambitions scientifiques.

La mise en place d'une véritable politique de gestion des grands lacs et de leurs bassins versants à l'échelle européenne (directives « Eau ») impose en particulier d'optimiser et d'harmoniser au sein de l'espace européen les relations entre développement économique, qualité des eaux et fonctions de l'écosystème lacustre (biodiversité, pêche, ressources en eau, tourisme).

Une telle ambition suppose d'acquérir, de synthétiser, et aussi de rendre applicable, des connaissances relatives :

- 1) au **fonctionnement des lacs**, cycle des nutriments, réseau trophique, processus biologiques et écotoxicologiques, relations avec l'hydrodynamique ; ce type de recherche se rattache aux grandes recherches en cours sur les écosystèmes et leurs réactions, sur la biodiversité et sur l'impact des activités humaines,

- 2) aux outils et stratégies de **suivis de l'évolution à long terme** du système **lac-bassin versant** et de ses usages, indispensables surtout dans un contexte environnemental changeant, pour l'évaluation des politiques; ce type de recherche se rattache aux thématiques « zones ateliers » et « observatoires de l'environnement », et est indissociable de l'idée de gestion « durable » des ressources naturelles.

Bien entendu les données biologiques ne sauraient constituer à elles seules le fond de connaissances nécessaire à un raisonnement de gestion. Au stade de l'action elles doivent être couplées avec des données de sciences humaines (hors des champs disciplinaires de l'UMR et à rechercher dans le cadre de programmes interdisciplinaires).

Vue d'ensemble sur les objectifs et la structuration du projet d'UMR

L'ambition de l'UMR est de contribuer à la problématique présentée ci-dessus en **étudiant le fonctionnement et l'évolution des écosystèmes de type grands lacs alpins en relation avec leurs bassins versants, dans le contexte des problématiques liées au rôle fonctionnel de la biodiversité, aux effets des changements climatiques et de l'anthropisation des milieux**. Le principal champ disciplinaire concerné est la Limnologie, connecté à l'écologie du paysage (bassin versant).

Notre hypothèse de travail commune est de considérer les grands Lacs comme des « **écosystèmes-modèles** » pour la gestion des ressources naturelles, au même titre que la truite est un modèle de poisson pour les études de physiologie et comme des révélateurs des changements de la qualité de l'hydrosystème, voire de la biosphère. En conséquence, les connaissances sur le fonctionnement de ces écosystèmes « naturels » et leurs relations avec des environnements souvent très anthropisés, peuvent aider à définir des modèles généraux concernant la gestion des ressources naturelles dans un contexte évolutif (climat, « métabolisme » des sociétés).

Les travaux sont conduits à la fois pour le **progrès des connaissances** sur le fonctionnement des écosystèmes et pour contribuer à **la résolution des problèmes** soulevés par les divers acteurs de la société, notamment dans une perspective d'aide à la décision en matière de gestion des grands Lacs (définition d'outils de suivi et de gestion). Ceci suppose en particulier, de disposer de **modèles de terrains**, représentatifs de la demande sociale et de **suivis à long terme**, organisés en base de données environnementales.

Bien entendu, l'UMR ne prétend pas couvrir tous les domaines de la recherche biologique concernant les lacs et leurs bassins. En fait, les travaux, pour les prochaines années, seront

concentrés autour de quelques points forts : **dynamiques des ressources piscicoles, dynamiques des communautés microbiennes, transferts des nutriments et pollutions diffuses**. Ces thèmes seront tous traités avec comme perspective une approche holistique sur le fonctionnement du réseau trophique et la gestion du système bassin versant–lac, et en se référant particulièrement à des situations de réhabilitation des ressources piscicoles et de restauration des lacs.

Les recherches seront organisées en projets de Recherche fédérés autour de trois équipes.

L'équipe « **relations trophiques, réhabilitation et gestion des ressources piscicoles** » (animation C. Gillet) traitera :

- des facteurs de productivité piscicoles en lacs, s'intéressant à la relation fonctionnement trophique-fonctionnement piscicole, en conditions d'oligotrophisation
- de la réhabilitation et de la gestion des ressources piscicoles, s'intéressant non seulement aux lacs (omble, corégone, perche...) mais aussi aux réseaux hydrographique connectés à ceux-ci (échanges lacs-rivières de truites et organismes sentinelles)

L'équipe « **Microbiologie Aquatique** » (animation J.F. Humbert) s'intéressera aux communautés microbiennes aquatiques. Deux thématiques sont plus particulièrement développées :

- la première se rapporte à l'étude de la diversité et du fonctionnement des communautés autotrophes et hétérotrophes lacustres ; parmi ces microorganismes, les cyanobactéries font l'objet d'investigations plus profondes.
- la seconde se rapporte à l'évaluation des effets des xénobiotiques sur la structure et le fonctionnement des communautés microbiennes des lacs et rivières.

L'équipe « **bassin lac et restauration des lacs** » (animation J.M. Dorioz avec la collaboration de P. Faivre) se focalisera sur la dynamique de restauration des lacs eutrophisés et sur les mécanismes et la maîtrise des transferts de matière des bassins versants vers les lacs, traitant en particulier du phosphore et des substances associées ou interactives (suspensions, carbone organique, contaminants fécaux).

Parallèlement, un projet collectif concernant la structuration d'un « observatoire des dynamiques à long terme de l'environnement lacustre » se mettra en place. L'objectif est de définir un cadre conceptuel permettant d'organiser et d'harmoniser les banques de données existantes sur les lacs alpins. G. Barroin animera ce travail d'intérêt collectif (avec l'aide de G. Monet et Ph. Quéting).

Cette structuration en équipe et projets permet une mutualisation des moyens et une animation scientifique disciplinaire. Elle est récapitulée par le tableau 1.

Tableau 1 : ORGANIGRAMME DE L'UMR 2003-2007

Projets de recherche	Animateurs	Equipes	Responsables		
Transferts de nutriments et de contaminants des bassins versants aux lacs et restauration des lacs		<i>Bassin versant et restauration des lacs</i>	Dorioz (Faivre)		Observatoire des dynamiques à long terme de l'environnement lacustre Barroin
Effets des xénobiotiques sur la structure et le fonctionnement des communautés microbiennes aquatiques	Leboulanger	<i>Microbiologie Aquatique</i>	Humbert		
Diversité et dynamique des communautés microbiennes aquatiques. Déterminisme des proliférations de cyanobactéries.	Humbert Fontvieille				
Etude des Réseaux Trophiques des Ecosystèmes Lacustres <i>(Facteurs de productivité piscicole en lacs)</i>	Gerdeaux	<i>Relations trophiques, réhabilitation et gestion des ressources piscicoles.</i>	Gillet		
Réhabilitation et gestion des ressources piscicoles	Champigneulle				

Direction : J.M. DORIOZ (Directeurs adjoints : D. FONTVIEILLE – J. GUILLARD)

Les projets de recherche de chaque équipe sont en continuité avec le travail réalisé, d'abord dans le cadre de l'INRA (depuis 1970), puis de l'UMR (depuis 1997). Ils s'appuient donc en partie sur un acquis scientifique et un dispositif de recherche élaborés antérieurement (voir rapport 2000). Cependant par rapport à la situation évaluée en 2000, certaines évolutions, apports et redistributions de compétences, ont semblé nécessaires. Deux équipes proposent d'élargir leur partenariat au sein de l'UMR :

- l'équipe bassin versant-restauration des lacs propose de s'associer avec le labo de sciences du sol de l'Université de Savoie (dirigé par P. Faivre) pour traiter de façon plus complète les questions relatives aux transferts de nutriments (suspensions et carbone organique) ;
- l'équipe « Microbiologie Aquatique » propose d'intégrer les microbiologistes de l'Université de Chambéry (D. Fontvieille et I. Domaizon participant déjà à l'UMR) ainsi qu'une équipe de physiologistes (J.C. Cuber et S. Pelissier) qui travailleraient sur les effets des toxines cyanobactériennes chez l'homme.

Ces évolutions, leurs justifications et les perspectives qui en résultent, seront présentées dans la suite du document d'évaluation, par équipe.

Trois modèles de terrain complémentaires déjà bien connus, au centre du dispositif de recherche commun.

Le dispositif de recherche est axé essentiellement sur 3 modèles de terrain (Annecy, Léman et le Bourget, lacs et bassins versants) et comprend des suivis à long terme, communs à l'ensemble de l'UMR.

Les 3 lacs subalpins français entrent parfaitement dans la problématique et le questionnement scientifique énoncés précédemment. Cependant, en dépit de leur proximité et la parenté de leurs environnements physiques et humains, ces 3 lacs sont représentatifs de situations très différentes en terme de qualité des écosystèmes et font donc l'objet d'interrogations spécifiques des gestionnaires et des scientifiques.

Le **lac d'Annecy** pourrait constituer l'exemple de ce que devraient être à nouveau tous les lacs alpins quand les programmes de restauration auront porté leurs fruits. Actuellement, le lac satisfait tous les usages : ressource en eau potable, tourisme et paysage, activités de loisirs. Une étude pluridisciplinaire du fonctionnement trophique du lac a permis de montrer que les transferts trophiques sont optimaux dans ce lac avec une part importante de la boucle microbienne, une diversité spécifique et une qualité nutritionnelle planctonique excellente (Gerdeaux, 2001). Néanmoins à terme, si la baisse des teneurs en phosphore des eaux se maintient (Fig. 1) les conditions trophiques de la production piscicole seront réduites.

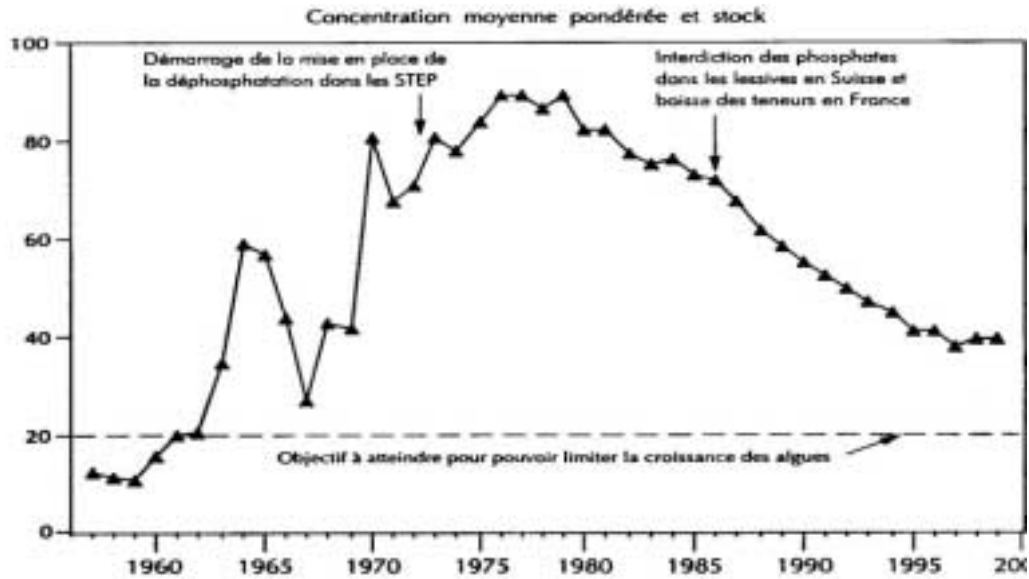


Figure 1 : Evolution des teneurs en phosphore total dans le Léman.

Le Léman et le Bourget sont des lacs méso-eutrophes en cours de restauration (Figure 2) mais les gestionnaires s'inquiètent de la lenteur de la restauration des paramètres biologiques de la qualité et de l'effet du réchauffement moyen des eaux sur les successions algales et le processus de restauration (Anneville 2001 ; Anneville et Pelletier, 2000). Dans le cas particulier du Bourget, la dynamique des communautés phytoplanctoniques est marquée depuis quelques années par des proliférations de cyanobactéries (Humbert, 2001). Ce phénomène préoccupe particulièrement les gestionnaires en raison des impacts négatifs sur l'image et les usages des lacs.

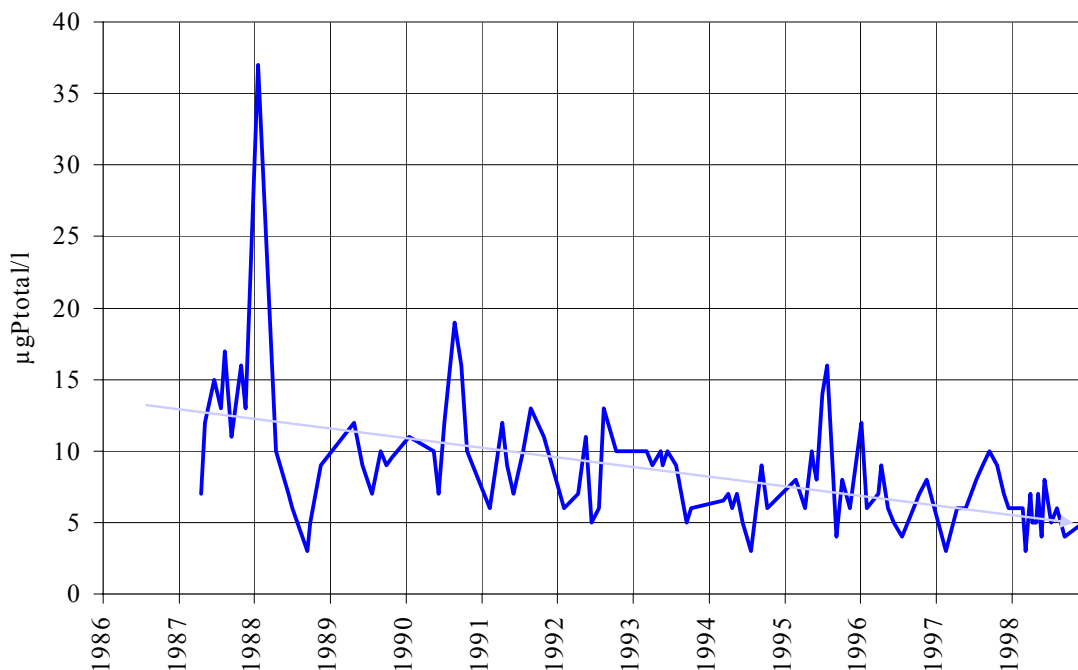


Figure 2 : Evolution des teneurs en phosphore total dans le lac d'Annecy.

Enfin, quel que soit le lac, les interrogations sur les effets de l'anthropisation croissante des « bassins versants » et de leurs rivières, se développent. Les apports ponctuels de P étant en cours de traitement, les autres origines du phosphore et les autres polluants, notamment les polluants des

eaux de surface d'origines diffuses comme les contaminants fécaux, (agricoles ou non) font l'objet d'études prospectives (Trevisan *et al.*, 2001 ; Jordan *et al.*, 1998).

En fonction des projets développés, les chercheurs ont des tropismes plus ou moins marqués pour l'un ou l'autre des sites modèles, pour l'une ou l'autre des bases de données disponibles... Mais ceci ne se traduit pas par une spécialisation des équipes : celles-ci interviennent sur tous les sites. Ces interventions seront décrites par équipe, dans la suite du document.

BIBLIOGRAPHIE de L'UMR relative à l'introduction (en gras auteurs de l'UMR)

- ANNEVILLE O.**, 2001. Diagnostic sur l'évolution de l'état de santé écologique du Léman par l'analyse des séries chronologiques du phytoplancton. Doctorat de l'Université C. Bernard, Lyon.
- ANNEVILLE O., PELLETIER J.-P.**, 2000. Recovery of lake Geneva from eutrophication : quantitative response of phytoplankton. *Archiv für Hydrobiologie* 148, 604-624.
- BARROIN G.**, 2001. Evolution naturelle – Evolution anthropique. *In* : L'eau dans l'espace rural : vie et milieux aquatiques. Neveu A., Riou C., Bonhomme R., Chassin P., Papy F. (eds.) Universités francophones. Paris : INRA Editions. p. 97-112.
- DORIOZ J.-M., BLANC P.**, 2001. Maîtrise de la charge externe en phosphore des plans d'eau et fonctionnement des bassins versants. *In* : L'eau dans l'espace rural : vie et milieux aquatiques. Neveu A., Riou C., Bonhomme R., Chassin P., Papy F. (eds.) Universités francophones. Paris : INRA Editions. 284 p. p. 113-132
- FEUILLADE J.** (Ed.), 1994. Studies on lake Nantua (France) a eutrophic lake on the way to rehabilitation. *Arch. Hydrobiol. - Ergebnisse der Limnologie*, Scheizrtbart'sche ; Stuttgart, 41, 144 p.
- GERDEAUX D.** (Ed.), 2001. Gestion piscicole des grands plan d'eau. Hydrobiologie et Aquaculture. Paris : INRA 457 p.
- GERDEAUX D.**, 2001. Dynamique et gestion des populations de poissons des lacs péri-alpins. *In* : L'eau dans l'espace rural : vie et milieux aquatiques. Neveu A., Riou C., Bonhomme R., Chassin P., Papy F. (eds.) Universités francophones. Paris : INRA Editions. p. 77-96
- HUMBERT J.F.**, 2001. Déterminisme des efflorescences de cyanobactéries en milieu aquatique. *In* : Explorer, exploiter les toxines et maîtriser les organismes producteurs , édité par Elsevier, 55- 64.
- HUMBERT J.F., LE BERRE B.**, 2001. Genetic diversity among two freshwater cyanobacteria species, *Planktothrix* (*Oscillatoria*) *rubescens* and *P. agardhii*. *Archiv für Hydrobiologie* 2, 197-206. (IF = 1.19)
- JORDAN MEILLE L., DORIOZ J.M., WANG D.**, 1998. Analysis of the export of diffuse phosphorus from a small rural watershed. *Agronomie*, 18, 5-26.
- TREVISAN D, VANSTEELANT J.Y., DORIOZ J.M.**, 2002. Survival and leaching of fecal micro-organisms after slurry spreading on mountain hay meadows : consequences for the management of water contamination risk. *Water Research*, 36, 275-283.
- VINCON-LEITE B., GAYTE X., BALVAY G., BLANC P., DRUART J.C., FONTVIEILLE D., TASSIN B.**, 1999. Interannual variability of phytoplankton dynamics in Lake Bourget (Savoy, France) during two successive years (1995-1996). *Congrès Lake 99*, Copenhage, 17-21 mai 99.

EQUIPE BASSIN VERSANT- RESTAURATION DES LACS BILANS ET PERSPECTIVES
--

THEME GENERAL DES RECHERCHES :

**« RESTAURATION DES LACS OPERATIONELLE ET TRANSFERTS DE MATIERES DES
BASSINS VERSANTS AUX ECOSYSTEMES AQUATIQUES ;
CONSEQUENCES OPERATIONELLES »**

**VUE D'ENSEMBLE et EVOLUTION DU GROUPE BASSIN VERSANT-
RESTAURATION DES LACS**

Le groupe Bassin versant–restauration des Lacs résulte de l’organisation mise au point en 1992. Initialement, il rassemble des Chercheurs et Ingénieurs intéressés par la question de la gestion environnementale du P dans le système bassin-Lac, autour des projets de recherche consacrés à la « charge externe » (flux de matières dans les bassins versants, notamment agricoles), à la « charge interne » (échanges eau–sédiments lacustres) et à la limnologie opérationnelle.

Le type de travail entrepris depuis 1992 est en phase avec les orientations et les évolutions de l’INRA: il privilégie les approches finalisées, en prise avec la demande sociale, « en vraie grandeur », combinant suivis, recherches méthodologiques et conceptualisations. Très tôt des recherches pluridisciplinaires sont mises en œuvre grâce à des collaborations suivies avec l’INRA-SAD et une participation au GIS « Alpes du Nord » (convention de recherche-développement entre INRA, CEMAGREF et Chambres d’agriculture). Elles nous permettent de prendre la mesure de la composante humaine dans les problèmes d’environnement et de participer au groupe de réflexion INRA sur la gestion de l’espace rural (DS, EFA).

Les recherches impliquent un petit groupe de 4/5 chercheurs (dont 1 rattaché au département INRA Environnement et Agronomie), ingénieurs et thésards, bénéficiant de la logistique technique du laboratoire de Thonon (labo de chimie et prélèvements) et de collaboration scientifique permanentes, avec un enseignant-chercheur de Paris-6 (A.Ferhi, jusqu’en 1999) et avec un ingénieur de recherche–développement du GIS « Alpes du Nord » (D.Trevisan depuis 1992). L’équipe s’appuie en outre sur un réseau de partenaires socio-économiques et techniques (SA Evian, CIPEL, Agence RMC, SIVOM, Chambres d’Agriculture..), sur des relations scientifiques régionales (CEMAGREF, Université de Savoie...) et internationales (Université du Vermont USA et IRDA-Québec ; séjours sabbatiques, échanges et co-encadrements d’étudiants, publications communes). Elle bénéficie enfin d’un assez bon roulement de contrats de recherche (MATE, AIP eau, Aquae, Fair) et de bourses de thèse (INRA –EPFL, Evian, ADEME). Ce dispositif permet à l’équipe, malgré une taille considérée souvent comme subcritique, de fonctionner et d’obtenir une certaine reconnaissance scientifique et opérationnelle en matière de comportement du P à l’échelle macroscopique, de gestion des Lacs et de relations agriculture-qualité des eaux.

Depuis peu, ce cadre de travail s’est fragilisé en raison de départs en retraite partiellement remplacés (2 IR INRA, Blanc et Orand + Ferhi), de nouvelles perspectives de départ à moyen terme (retraite de G. Barroin et G. Balvay) et des hésitations des départements INRA concernés à

investir à Thonon dans cette thématique (« risque de dispersion, d'isolement »...). Face à cette situation, il nous a semblé utile de redéfinir nos perspectives, de resserrer nos collaborations pour renforcer nos compétences, d'une part en nous associant avec les hydrobiologistes de SHL- INRA dans des projets transversaux (projet « aquae » en cours; co-coordination d'une réponse à l'appel d'offre «Zone Atelier» – non retenue) et d'autre part en nous associant, au titre de l'UMR CARTEL, au labo de sciences du sol (LSS) de l'Université de Savoie (comprenant 3 enseignants-chercheurs dirigés par P. Faivre).

L'objectif visé est de créer à terme une équipe de recherche s'intéressant à l'écologie et au fonctionnement des paysages, centrée sur la question des transferts de matière et de contaminants dans les bassins versants et de leurs impacts sur les lacs, développant des recherches finalisées, applicables en terme d'ingénierie des pollutions diffuses et de restauration des lacs.

Le système « Bassin versant-Lac » reste donc plus que jamais au centre de nos recherches. L'intégration du LSS à l'UMR vise à renforcer dans un premier temps l'aspect bassin versant transfert en espérant créer ainsi les conditions favorables au développement d'un pôle de compétences opérationnelles en limnologie et pollution diffuse.

Avant de présenter en détail nos perspectives de recherches et les démarches envisagées, nous proposons une analyse de notre bilan récent qui explique en partie cette évolution.

1. BILAN DES TRAVAUX 1998- 2002

Un bilan relativement complet est présenté dans le document d'évaluation de 2000. Il est disponible pour les membres de la commission qui le désire. Nous nous contenterons ici, d'une réactualisation des résultats et des questions.

1.1. Les ambitions :

Pour la période évaluée, nous avons défini les priorités suivantes :

- (1) les transferts diffus agricoles de P, en adoptant un point de vue large, incluant l'étude des liens avec certains aspects du fonctionnement des agrosystèmes et avec d'autres contaminants ; la volonté de trouver des « solutions » (démarches et méthodes) à la pollution diffuse agricole accompagne ce travail;
- (2) les relations paysage-flux de nutriments (P) – impacts, sur la base d'une recherche commune avec les hydrobiologistes et microbiologistes, dans une perspective de bioindication;
- (3) limnologie opérationnelle : valoriser les travaux et les expertises antérieures sous forme d'un manuel de limnologie appliquée et poursuite de réflexions théoriques sur la gestion de la qualité des eaux de surface (concept de facteur limitant appliqué à la limnologie).

1.2. Les acquis :

Les acquis des recherches entreprises sont les suivants :

1) Modélisation typologique de la dynamique macroscopique du P dans des bassins ruraux : les connaissances acquises sur le transfert du P sont organisées sous forme d'une

typologie décrivant les liens fonctionnels entre origine du P (émetteurs), état du bassin, voies de transfert en relation avec la réponse hydrologique, et caractéristiques du P exporté (flux, spéciation, N/P...). Cette typologie a fait l'objet d'un article publié dans une revue d'hydrologie (Dorioz, *et al.*, 1998) et d'un article de synthèse en français dans un ouvrage (Dorioz et Blanc, 2001). Elle constitue un cadre conceptuel susceptible d'organiser les recherches et connaissances sur d'autres polluants à comportements et origine proches (NH₄, contaminants fécaux..) ainsi que certaines informations sur les impacts potentiels. Un essai dans ce sens est en cours dans le projet « aquae ».

2) Mécanismes des transferts diffus à l'échelle paysage : la dynamique macroscopique du P_{total} est contrôlée par les connexions hydrologiques et les zones actives pour le ruissellement, du bassin versant (Jordan-Meille *et al.*, 1998), de l'organisation du territoire et en particulier de la nature et de la position des zones tampons, marais, interfaces entre parcelles cultivées et réseau (Trévisan et Dorioz, 2000 ; Dorioz et Vansteelant, 2001). Cette réflexion est en cours de synthèse (Dorioz et Wang, 2002). Par ailleurs, nous avons obtenu les premiers résultats relatifs à la comparaison entre P et d'autres polluants clés des eaux de surface en zone agricole, nutriments (COD, azote) et des bactéries fécales (Noirot, DEA Paris-6, 1998 co-encadré Dorioz - Trevisan ; Gay, DEA Chambéry, 2002, co-encadrement Dorioz - Fontvieille). Pour les bactéries fécales ces résultats complètent les données acquises à l'échelle du profil de sols (Trevisan *et al.*, 2002 ; Vansteelant, thèse 2002 co-encadrement Dorioz - Faivre).

L'ensemble des résultats souligne une mobilité inattendue du P_{dissous} (Dorioz et Jordan-Meille, soumis à JEQ) lors de certains épisodes (reprises hydrologiques) et dans certaines structures (parcelles «poubelles » à lisier) ; ceci identifie une question clé pour le futur en matière de gestion environnementale du P : le sur-enrichissement de certains sols (fertilisations organiques) voire de certaines zones tampons (saturation par transfert latéral de sols riches en matières organiques), ne modifie-t-il pas la dynamique et la biodisponibilité du P, au point de remettre en cause les méthodes traditionnelles de maîtrise (basées sur la lutte anti-ruissellement) ? Les études comparées de la dynamique du P avec celles du COD, l'utilisation des bactéries fécales comme traceurs de l'origine des pollutions, pourraient apporter des pistes sur les mécanismes et les voies de transferts du P_{dissous} (Porga ?).

3) Maîtrise de la pollution diffuse agricole : les acquis concernent P, en comparaison avec des composés très solubles (tels que NO₃) et les bactéries fécales (début). La maîtrise suppose de caractériser les processus de transfert ; de ce point de vue les recherches sur les mécanismes des transferts diffus évoquées ci-dessus constituent des références précieuses, nécessaires mais pas suffisantes. En effet, l'aide à la décision pour la maîtrise des pollutions agricoles consiste à construire une démarche globale et donc nécessite de connaître la diversité des cas et la hiérarchie des causes, en incluant les pratiques agricoles. C'est sur ces bases que nous collaborons (depuis 1992) avec le SAD-INRA, le GIS Alpes du Nord et des acteurs publics (agence RMC, DDASS) ou privés (SA-Evian), à des « chantiers pluridisciplinaires de Recherche-Développement ». D. Trevisan anime ces démarches qui font l'objet d'une validation annuelle par le conseil scientifique du GIS et de la convention INRA-Région Rhône-Alpes (DADP). L'approche utilisée est en cours de conceptualisation ; elle n'est encore que partiellement publiée (Dorioz et Trévisan, 2002) et reste fragmentaire puisqu'elle n'intègre pas une vue d'ensemble sur le fonctionnement de la pollution diffuse et des territoires qui la génèrent. Elle a fait l'objet de nombreux exposés dans des workshops (séjours Dorioz aux USA-Canada) et de nombreux rendus notamment à l'INRA (séminaires DS EFA-ESR, séminaire HYFS, séminaire BV corpen), de cours (DESS Chambéry, agro Rennes) et enfin récemment d'une thèse (Fabre, 2001) centrée sur une application de cette démarche à la construction d'un observatoire (observatoire des « risques »

pour la qualité des eaux dans un impluvium). Cette thèse constitue un transfert réussi de technologie vers l'industrie dans un domaine peu structuré au plan scientifique.

4) Limnologie opérationnelle. L'ouvrage limnologie appliqué est paru en 1999 (Barroin, 1999). L'analyse critique du concept de facteur limitant repose sur une analyse historique, qui montre comment, depuis son élaboration (au milieu du 19^{ème} siècle dans un cadre agronomique), le concept a vu sa signification subir une série d'altérations. Devenu en particulier un instrument de réflexion pour la gestion de la qualité des eaux de surface, il est mis en œuvre pour lutter contre l'« eutrophisation ». Malheureusement, son utilisation erronée, amplement supportée par l'intense activité scientifique développée à cette occasion, a eu surtout pour effet de retarder l'application des mesures drastiques qui s'imposent pour venir à bout de la pollution par le phosphore (article en cours)

1.3. Les questions en suspens :

L'énoncé des résultats inclut celui des questions en suspens. Parmi celles-ci, certaines se rapportent au comportement de certaines formes de P. C'est le cas en particulier de la mobilité des formes dissoutes du P dans les sols. Cette propriété d'après nos résultats est cruciale pour anticiper les **dynamiques à long terme du P** dans les agrosystèmes et donc la pression exercée sur les écosystèmes aquatiques. Son étude relève actuellement de l'Agronomie et de ses dispositifs expérimentaux (Dorioz, rapport Corpen) ou d'études sur la gestion des matières organiques. Nous collaborons à des propositions et des suivis allant dans le sens de réévaluer le comportement du P dans les sols de prairie ou cultures drainées (ITCF Toulouse en collaboration avec Morel, INRA Bordeaux). Notre implication permet un cadrage sur les flux et les impacts potentiels.

Les questions concernent aussi la **spéciation et la biodisponibilité** du P (concepts communs aux sciences du sol et à la limnologie). Une meilleure connaissance de la composition de la fraction organique (P-orga) et du P colloïdal est souvent considérée comme susceptible de faire progresser la compréhension de la variabilité de la biodiversité dans les sols (Rodier et Robert, 1995³). Les moyens analytiques modernes nécessaires pour aborder ces thèmes au niveau sédiment (RMN, MET), ne sont pas disponibles sur site. Notre contribution possible relève donc de l'échelle bassin versant : contributions du Porga selon l'occupation des sols et la saison (régimes d'exportation). Un effort particulier devrait être fait pour caractériser la contribution des bassins à couvertures forestière et prairiales (sols plus organiques) qui alimentent de nombreux lacs restés « naturels ».

³ Rodier C. et Robert M 1995-Une approche au niveau particulière de la spéciation de P dans les sols. CRAS Paris t31, série2a, pp769-74

Toutes ces questions spécifiques ne doivent pas masquer les interrogations plus globales:

1) Place et importance des suivis à long terme de bassins ou de lacs : permettent-ils de distinguer l'effet, sur la dynamique macroscopique du P, des variations hydrologiques et des changements de pratiques ou d'aménagement ? de caractériser, dans les cinétiques de restauration, le contrôle relevant du biotope et en particulier de la charge interne (sédiments lacustres) et celle relevant de la biocénose elle-même (rôle des cyanobactéries dans ce phénomène) ?

2) Possibilités de formaliser des démarches plus globales tournées vers l'action : c'est à dire incluant diagnostic sur les facteurs de risque, analyse des pratiques, indicateurs pour les suivis...; ce type de réflexion très avancée en ce qui concerne la restauration des lacs, reste trop inachevé (faute de temps) pour bien répondre aux besoins de démarche en matière politique publique sur les bassins versants et les pollutions diffuses (comment prendre les problèmes de pollutions comme un tout à relier au contexte général de l'environnement et du développement « durable » ?).

Ces interrogations et les nouveaux enjeux qui les accompagnent (restauration écosystèmes, relations « durables » écosystèmes terrestres et aquatiques...) nous incitent à infléchir notre thématique dans le cadre d'un élargissement de compétences de l'équipe.

2. PERSPECTIVES DE RECHERCHE DANS LE CADRE DE L'ÉLARGISSEMENT DE L'ÉQUIPE DE RECHERCHE

2.1. Objectifs généraux

Les recherches proposées dans le cadre de l'UMR auront pour objectif la dynamique de restauration des lacs et le transfert de matières des bassins versants ruraux aux lacs.

En premier lieu, il s'agit de comprendre les mécanismes et de caractériser les ordres de grandeur des transferts des sols vers les eaux de surface, à l'échelle bassin versant, pour :

- développer une connaissance spécifique concernant le fonctionnement biogéochimique des paysages et de la couverture pédologique,
- contribuer au développement des connaissances interdisciplinaires concernant les liens écosystèmes terrestres-bassin versant-écosystèmes aquatiques (dans un contexte de pollution ou de simples apports trophiques)
- au plan opérationnel, concevoir une véritable « ingénierie » concernant les relations bassins-lacs traitant des méthodes de diagnostic, des indicateurs et des stratégies de maîtrise des éventuelles pollutions résultant de ces transferts (en particulier pollutions diffuses agricoles).

En matière de restauration des lacs l'objectif est d'établir les déterminants des inerties acquises par les lacs lors de l'eutrophisation (notamment charge interne) et d'en rechercher des indicateurs.

Les disciplines mobilisées se rapportent donc à l'écologie du paysage, la limnologie et la science du sol.

2.2. Objets d'étude et cadre de travail

La poursuite de tels objectifs fixe un niveau minimum de complexité pour les systèmes à étudier. Nous nous intéresserons aux grands lacs déjà décrits précédemment et sur lesquels nous ne reviendrons pas dans ce paragraphe, et à leurs bassins. Les études de bassins porteront sur des grands bassins **représentatifs de la complexité** des paysages, c'est à dire représentatifs des interactions entre compartiments du bassin et/ou entre pollutions. Ce type de dispositif nous permettra de ne pas séparer les processus intervenant au niveau des sols de ceux spécifiques aux réseaux hydrographiques, les effets dans les récepteurs aquatiques et les causes sur les bassins. Un effort particulier sera fait pour réaliser ces études dans le cadre de suivis de restauration de Lacs eutrophes (secondairement de rivières).

Au total, le champ des études inclura dans la mesure du possible, le bassin versant et les activités humaines qui s'y développent, notamment les pratiques agricoles, la rivière et ses sédiments, ainsi que les impacts au niveau des écosystèmes récepteurs.

Puisqu'il n'est pas pensable, d'étudier tous les éléments et les contaminants transférés des bassins aux lacs, nous proposons de centrer nos travaux sur **P et suspensions**, mais dans le cadre **d'études comparées** avec les dynamiques de transferts à l'échelle bassin versant, des **matières organiques** (COD dans un premier temps) et des **contaminants fécaux** (coliformes). Ce choix sera justifié dans la suite du texte. Précisons d'emblée que ces composés et ces contaminants sont fréquemment associés au P au niveau, soit de l'impact, soit de l'origine (ils résultent souvent du même problème de gestion, celui des déchets organiques par les activités humaines). Ceci n'exclut pas d'utiliser d'autres traceurs d'anthropisation classique (NO_3 , Cl) ou des traceurs d'origine.

Les recherches prévues sont donc en continuité avec nos recherches antérieures qui comprennent déjà la caractérisation des relations P-charge solide. Elles seront menées en collaboration avec les biologistes de l'UMR qui s'intéressent aux fonctionnements trophiques ou aux impacts des polluants et aux bio-indicateurs (Gillet, Le Boulanger..). Elles seront en outre couplées aux recherches pluridisciplinaires menées dans le cadre du GIS Alpes du Nord (auquel participent déjà Faivre et Fontvieille) sur les relations pratiques agricoles-qualité des eaux (animateur D. Trevisan). Les possibilités de coopérer avec des géographes physiques (Labo EDYTEM) et des chimistes de l'environnement de l'Université sont ouvertes et formalisables à court terme.

Pour l'INRA le projet de travail présenté s'inscrit dans le cadre général des recherches sur les relations écosystèmes-terrestres écosystèmes aquatiques. Il constitue une contribution aux recherches et synthèses pluridisciplinaires nécessaires pour définir les conditions d'une gestion durable des territoires ruraux et des milieux aquatiques associés.

Pour le laboratoire des sols de l'Université, ces projets correspondent à une prolongation des études sur la transformation et la séquestration du Carbone, jusque-là limitées aux sols et qui de ce fait seront étendues à l'ensemble des composantes des écosystèmes terrestres.

L'équipe élargie serait composée comme suit :

UNIVERSITE (titre, fonction, spécialité, temps consacré à l'UMR)

FAIVRE P. (PR, Directeur de l'UFR. ; Pédologie ; 20 %)

POULENARD J. (MC; Sciences du sol, Physique du sol ; 50 %)

TROSSET L. (MC; Ecologie des sols ; 20 %)

INRA (titre, spécialité, temps consacré)

BARROIN G. (CR1 ; Limnologie ; 100 %)

DORIOZ J.M. (CR1; Ecologie du paysage, agronomie ; 40 %)

QUETIN Ph. (IE ; Mesures physiques ; 50 %.)

LAZZAROTTO J. (AI ; chimie analytique et hydrochimie ; 30 %)

MOILLE J.P. (TR ; Prélèvements ; 50 %)

+ collaboration constante des techniciens du labo de chimie (20 %)

Collaborateur régulier (accueilli dans les locaux INRA)

TREVISAN D. (Ingénieur du GIS « Alpes du Nord »; 30 %)

2.3. Justifications des objectifs et de l'association avec le LSS

2.3.1. Justification de la problématique choisie :

Les objectifs présentés ci-dessus résultent de constats faits sur l'état de l'environnement aquatique et d'une analyse du contexte scientifique et de la demande sociale.

- Etats des écosystèmes aquatiques

- En zone rurale les transferts du bassin versant vers les eaux de surface, de nutriments, de contaminants fécaux et localement de matières solides, constituent souvent un fond de pollution qui exerce une pression chronique et croissante sur les écosystèmes aquatiques récepteurs. Cette pollution de fond est liée en partie à un problème clé de nos sociétés : la gestion des matières organiques produites.

- Les politiques publiques mises en place visent pour l'essentiel à traiter les origines ponctuelles de ces pollutions. En ce qui concerne les origines diffuses la gestion se heurte à un manque d'outil de diagnostic et de suivi à l'échelle « paysage », en particulier en zones d'élevage.

- Les milieux aquatiques des Alpes (voir p. 3) constituent un panel représentatif de ces problèmes: eutrophisation des grands Lacs subalpins, dégradations de la qualité de l'habitat piscicole en rivières et contaminations fécales assez généralisées, jusqu'en tête de bassins (élevage). Dans cette montagne très anthropisée, il existe pourtant quelques écosystèmes aquatiques de référence, peu perturbés.

Ces faits justifient de retenir une problématique bassin versant ouverte sur des questions de gestion et s'appuyant sur le terrain régional.

- *Choix sur les flux étudiés*

Poursuite des études sur le phosphore Nous avons choisi de poursuivre nos recherches sur la dynamique macroscopique du P, ses relations avec le ruissellement et la charge solide car cette problématique reste d'actualité, à en juger par le nombre d'initiatives que suscite la gestion environnementale du P dans les pays européens (projet COST, directives) et surtout en Amérique du Nord (révision des normes de fertilisation/environnement). Les publications récentes de l'équipe Shapley (USA) qui constitue la référence mondiale en la matière, notamment pour les indicateurs de risque, donnent le ton (Shapley *et al.*, 2000⁴ ; Sharpey et Tuney, 2000⁵). Mais ces résultats sont mal adaptés au contexte des systèmes d'exploitation français (CORPEN, 1999) et surtout traitent du P isolément.

La demande sociale relative aux lacs ne se limite pas à l'eutrophisation ; elle se diversifie du fait de la multiplicité croissante des usages des plans d'eau (dynamique à long terme de l'état trophique, usage pour l'eau potable, biodiversité ..).

Tout ceci justifie **de continuer les recherches sur la dynamique du P mais ne plus traiter le phosphore isolément, ou simplement en relation avec la charge solide comme précédemment, de le mettre au centre d'une approche plus large s'intéressant à d'autres constituants chimiques (matière organique) et biologiques (contaminants fécaux) dont le transfert est lié ou interagit avec celui du P.**

- *Couplages et dynamiques comparées du P avec d'autres composées associées*

Notre choix s'est porté d'abord sur la matière organique, et particulier sur le Carbone Organique Dissous (COD) qui, quelle que soit son origine, interfère avec nombre de processus de transfert. La matière organique constitue parfois un polluant (colmatage de frayères..) parfois un nutriment clé et toujours un « régulateur » des processus biogéochimiques et de transport (complexation et mobilité des métaux, survie des bactéries fécales).

Les concentrations en COD dans les écosystèmes terrestres et aquatiques varient à la fois dans l'espace et dans le temps en fonction de la nature et des modes d'occupations des sols (Kabitz *et al.* 2000; Easthouse *et al.*, 1992 ; Cronan *et al.*, 1999 ; Ivarsson and Jansson, 1994 ;) Aitkenhead and McDowell, 2000⁶). Or, si les flux en COD ont été beaucoup étudiés dans les milieux forestiers

⁴ Sharpley A. et al. (2000) Practical and innovative Measures for the Control of Agricultural Phosphorus Losses to Waters: An Overview. *Journal of Environmental Quality*, 29 (1), 1-9.

⁵ Sharpley A. et Tunney H. (2000) Phosphorus Research Strategies to Meet Agricultural and Environmental Challenges of the 21st Century. *Journal of Environmental Quality*, 29, 176-181.

⁶ Aitkenhead, J.A. and McDowell, W.I., 2000. Soil C:N ratio as a predictor of annual riverine DOC flux at local and global scales. *Global Biogeochemical Cycles*, 14(1): 127-138.

Cronan, C.S., Piampiano, J.T. and Patterson H.H., 1999. Influence of Land Use and Hydrology on Exports of Carbon and Nitrogen in a Maine River Basin. *Journal of Environmental Quality*, 28(3): 953-961.

Easthouse, K.B., Mulder, J., Christophersen, N. and Seip, H.M., 1992. Dissolved organic carbon fractions in soil and stream water during variable hydrological conditions at birkenes, Southern Norway. *Water Resources Research*, 28(6): 155-1596.

Ivarsson, H. and Jansson, M., 1994. Temporal variations in the concentrations and character of dissolved organic matter in a highly colored stream in the coastal zone of Norther Sweden. *Archiv für hydrobiologie*, 132(1): 45-55.

(notamment sur les sols de la série podzolique), il n'existe que peu de données pour les milieux herbacés (McTiernan *et al.*, 2001) et agricoles (Cronan *et al.*, 1999) et sur des sols non marqués par la podzolisation. Par ailleurs, on connaît mal les variations temporelles et spatiales des caractéristiques clés en terme d'impact que sont, la réactivité chimique (vis à vis notamment des métaux) et la réactivité biologique (biodisponible ou réfractaire) du COD. Enfin une meilleure connaissance des exportations en COD s'avère une nécessité pour affiner les bilans de carbone dans les écosystèmes terrestres.

Nous avons également retenu les **bactéries fécales** car ce sont d'excellents traceurs des activités humaines et des efforts faits pour améliorer l'assainissement ou les pratiques agricoles (Meals *et al.*, 1997⁷) mais elles se rangent dans une catégorie *a priori* particulière de polluant. En effet, s'agissant d'êtres vivants, leurs dynamiques et impacts (Gerba *et al.*, 1991⁸) doivent être raisonnés en terme de populations, dont la dynamique dépend de facteurs d'ordre physico-chimique (température, ensoleillement, humidité, pH...) et biologique (capacité de survie et de compétition nutritive des populations microbiennes dans les sols et les hydrosystèmes, en étroite relation avec les flux de matière organique et de P) ; leurs dynamiques et impacts ne résultent pas de processus biogéochimiques mais se raisonnent en survies microbiennes dans les sols (Trevisan *et al.*, 2002) et les hydrosystèmes. Malgré ces spécificités, il existe des points communs avec la problématique du P : 1) face aux menaces sur la qualité de l'eau distribuée, de celle des rivières, des lacs ou du littoral, il s'agit comme pour P, de repérer les zones et périodes critiques, sur le bassin versant, pour établir les responsabilités relatives, les potentiels de stockage ou de dissémination 2) les origines peuvent être communes (en relation avec la gestion des matières organiques fertilisantes) 3) la survie des bactéries fécales dans l'environnement varie selon de l'état trophique du milieu aquatique récepteur ou transporteur, qui lui dépend beaucoup du COD et du P. Au total il semble pertinent d'étudier la dynamique des contaminants fécaux à l'échelle bassin versant en tenant compte des interactions avec les autres nutriments et réciproquement.

2.3.2. Justification d'une approche bassin versant (Grill et Dorioz, 2002)

L'étude des transferts dans les paysages pourrait et parfois peut reposer sur une démarche analytique: les processus «élémentaires» sont ou seraient étudiés ou mesurés indépendamment les uns des autres, l'enchaînement théorique étant reconstitué *a posteriori* par modélisation. Mais ce type d'approche, pour nombre de polluants, se heurte à deux difficultés 1) la variabilité spatiale (des mécanismes, des états et des apports, des connexions hydrauliques..) et 2) l'émergence de processus nouveaux lors des changements d'échelle (érosion des berges, absorption par les macrophytes...). Ces difficultés à extrapoler à l'aval du système plante-sol, expliquent l'absence de modèles déterministes

Kablitz, K., Solinger, S., Park, J.H., Michalzik, B. and Matzner, E., 2000. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils : a review. *Soil Science*, 165(4): 277-304.

McTiernan, K.B., Jarvis, S.C., D., S. and M.H.B., H., 2001. Dissolved organic carbon losses from grazed grasslands under different management regimes. *Water Research*, 35(10): 2565-2569.

⁶ Meals D.W. et Budd L.F. (1994) Lake Champlain non point source. Pollution assesment - Tech. report n°6A - Lake Champlain. Manag. conference.

⁶ Gerba CP, Yates MV, Yates SR. (1991). Quantitation of factors controlling viral and bacterial transport in the subsurface. In *Modeling the environmental fate of microorganisms.*, Am. Soc. for Microbiol., J Hurst Ed, pp 77-

⁷ Meals D.W. et Budd L.F. (1994) Lake Champlain non point source. Pollution assesment - Tech. report n°6A - Lake Champlain. Manag. conference.

⁸ Gerba CP, Yates MV, Yates SR. (1991). Quantitation of factors controlling viral and bacterial transport in the subsurface. In *Modeling the environmental fate of microorganisms.*, Am. Soc. for Microbiol., J Hurst Ed, pp 77-89.

fiables pour les polluants à forte variabilité spatiale comme P (Leite thèse, 1987⁹) et le succès de l'échelle bassin versant en matière de pollution diffuse.

L'approche bassin versant permet en effet d'éviter ces difficultés : les signaux enregistrés à l'exutoire résultent d'une intégration spatiale des processus, ils peuvent être traduits en bilans ou typologie de fonctionnement reliant, état du bassin/entrées et exportations. (cf encadré). En terme de recherche sur les processus, le bassin versant constitue aussi un cadre précieux qui permet de replacer toute étude de processus dans un contexte macroscopique représentatif, vis-à-vis des impacts et des durées de transferts (c'est l'approche globale). Enfin, le bassin versant est une échelle privilégiée pour l'action contre la pollution des eaux, ce qui permet une bonne résonance entre recherche et gestion.

BASSINS VERSANTS : CADRE CONCEPTUEL.

Dans notre démarche, le bassin versant n'est pas considéré seulement comme une boîte noire transformant un « signal ». Il est aussi vu comme un ensemble de stocks de composés, contaminants ou non, répartis dans un territoire et susceptibles d'interférer plus ou moins avec les écoulements d'eau. Les conditions qui déterminent ces interactions stocks-écoulements constituent « l'état du bassin ». Elles dépendent d'une triple dynamique:

- celle qui préside à l'élaboration de ces stocks à la surface des sols, en relation avec les pratiques agricoles et des régulations biogéochimiques ou biologiques (par exemple, mortalité des pathogènes, synthèse de COD...)
- celle du fonctionnement hydrique des sols qui conditionne l'époque, les lieux (zones actives) et les modalités (ruissellement..) du transfert initial stocks du sols-eaux (ou émission)
- celle du transport vers et dans le réseau hydrographique, qui s'accompagne localement de rétentions (dans des zones tampons), voire de transformations de la charge polluante, ces deux phénomènes constituant une "atténuation" de la charge transférée alors que d'autres phénomènes rajoutent des sources de contaminants (sédiments, érosion des berges) et de possibilités d'interaction.

Pour le P cette dynamique a été étudiée à partir de mesures hydrochimiques réalisées à l'exutoire, couplées à des observations sur l'état des bassins. Les bilans, les variabilités des concentrations en fonction du temps et du débit ainsi que la périodicité de ces évolutions sont ainsi mis en relation avec la surface et la localisation des zones hydrologiquement actives, le calendrier des pratiques...

Mais le bassin versant est aussi un système hiérarchisé. Pour respecter ce caractère, les investigations sont organisées en s'intéressant successivement aux phénomènes à l'exutoire de bassins diversifiés puis à la rivière et à ses sédiments, puis enfin à des sous-bassins dit élémentaires, typiques d'une source de P, ou d'une zone tampon. Il est ainsi possible de déterminer quels sont les rôles des diverses organisations spatiales, les mécanismes principaux du transfert et leurs localisations, et de replacer toute étude de processus dans un contexte macroscopique représentatif, vis-à-vis des impacts et des durées de transferts.

2.3.3. Justification de l'intégration du laboratoire de sciences du sol (LSS) à l'UMR

La prise en compte des matières organiques des eaux constitue un élargissement de la problématique transfert jusque là plutôt centrée sur le phosphore et limitée au contexte de la pollution. Ce choix impose de prendre en compte comme référence les humus des sols dont elles dérivent partiellement. Le rattachement d'une équipe de sciences du sol apportera les compétences requises, concepts et techniques, pour un suivi du transfert de ces substances des couvertures pédologiques aux milieux aquatiques, pour distinguer les matériaux produits par ces derniers des matériaux d'origine terrestre ayant subi une longue maturation qui caractérise les produits humiques.

⁹ Leite L.A. (1990) Réflexions sur l'utilité des modèles mathématiques dans la gestion de la pollution diffuse d'origine agricole. Thèse doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 342 p + annexes.

L'équipe qui rejoindrait l'UMR se compose de P. Faivre (Professeur, directeur du CISM) ; de L. Trosset (MCF) et J. Poulenard (MCF). Les compétences de cette équipe portent sur le fonctionnement des sols dans différents types de milieux tempérés et tropicaux :

- les processus de transfert des complexes organo-argileux dans les phénomènes de lessivage (suite de recherches antérieures de P Faivre).
- comportement hydrique des sols, sols de tourbières de montagne dans le cadre du PNRZH (Trosset) et érosion de pelouses d'altitudes (thèse Poulenard)
- composés organo-minéraux d'humus en relation avec la dynamique forestière (collaboration CEMAGREF)
- enfin récemment le labo a engagé une thèse sur la dynamique des populations microbiennes dans les sols naturels et contaminés à l'aide de techniques de biologie moléculaire (Gros, 2003) en collaboration avec le laboratoire d'Ecologie Microbienne (CNRS–Lyon).

P. Faivre, en raison de ses responsabilités au sein de l'Université de Savoie a permis le rapprochement entre l'Université de Savoie et le GIS Alpes du Nord. L'équipe du LSS participe activement aux enseignements, à la gestion de la filière montagne (IUP, DESS et la nouvelle Licence Professionnelle Agronomie), à la construction et à l'élaboration des programmes scientifiques de l'Institut de la montagne (dont P. Faivre a été l'un des principaux initiateurs).

Le LSS apportera donc à l'UMR plus que des compétences nouvelles sur la matière organique et ses relations avec la phase minérale, sols ou sédiments: elle permettra une ouverture sur la chimie de la matière organique, une synergie avec l'enseignement de haut niveau, et une connexion avec les grands projets universitaires régionaux.

3. 2002-2004, ACTIONS CONCRETES PROGRAMMEES

Considérant les enjeux, forces disponibles, la synergie enseignement-recherche, nous avons défini les actions à entreprendre pour les quatre années à venir et réparti les responsabilités.

<p>EQUIPE BASSIN VERSANT ET RESTAURATION DES LACS</p> <p><u>Animation</u> : J.M. DORIOZ en collaboration avec P. FAIVRE</p> <p>Gestion administrative et financière: Ph. QUETIN</p> <p><i>Responsabilités des actions de recherche 2002-2006</i></p>	
<p>► <u>Dynamique et gestion environnementale du P dans le système bassin / lac</u></p> <p><i>DORIOZ</i></p>	<p>► <u>Etude comparée des transferts dans les bassins versants</u></p> <p><i>POULENARD</i></p>
<p>► Diagnostic territorial de la pollution diffuse <i>TREVISAN (GIS Alpes du Nord)</i></p>	

3.1. Action 1 « dynamique et gestion environnementale du P dans le système bassin versant-lac »:

3.1.1 Limnologie, restauration des lacs. Barroin étudie actuellement un aspect particulier de la relation qui s'établit entre les orthophosphates (= PRS ou phosphore réactif soluble) et l'oxygène dissous. Cette recherche s'inscrit dans le cadre d'un programme consacré à la « maîtrise de la charge interne » et est reliée aux divers sujets abordés au cours des années précédentes et aux travaux de la CIPEL.

3.1.2. Transferts bassin versant. Le travail consistera à analyser les suivis à moyen et long terme du P dans les bassins versants de référence.

*Notre hypothèse de travail est :
la variabilité hydrologique interannuelle affecte surtout les flux et concentrations du P-particulaire ; le P dissous reste stable, il est plutôt soumis aux évolutions des activités humaines (utilisation des sols, gestion des matières organiques).*

Ce travail sera mené à partir des **données obtenues sur le bassin du Mercube** (10 ans de suivis) et le Foron (suivi, en cours, de restauration de la qualité des eaux). Il sera **animé par Dorioz et Quétin**. Le suivi de la restauration de la qualité des eaux fera l'objet d'une collaboration avec des hydrobiologistes (réponses comparées des bioindicateurs). Les **financements** sont à compléter (poursuite de aquae grâce à des réponses appel d'offre régionaux). Ces travaux seront mis en relation avec les analyses de Barroin sur la restauration des plans d'eau.

3.2. Action 2 « étude comparée du transfert dans les bassins versants » :

La dynamique de P sera comparée avec celle de la charge solide d'autres nutriments, associés ou interagissant fortement avec le phosphore, tel que carbone organique et un exemple type de contaminants fécaux, les coliformes fécaux. En relation avec les effets trophiques et polluants sur les écosystèmes aval récepteurs (lacs par exemple), une attention particulière sera portée pour définir les « régimes d'exportations » (variabilité saisonnière des flux, des rapports de concentrations phosphore/azote) et la biodisponibilité des nutriments (avec tests sur COD, paramètres de composition C/P, spéciation de P). Traçages et observations de terrain devraient permettre de définir les origines, selon les saisons et l'état hydrologique, des flux exportés. L'étude concernera des bassins drainant des écosystèmes « naturels » forestiers (amont) et herbagers ou cultivés (aval).

Nos hypothèses de travail sont les suivantes :

-les écosystèmes naturels ont un rôle clé dans les relations écosystèmes terrestres-flux, en tant que fournisseur de sédiments et de matières organiques (fixateur du P-dissous, rôles trophiques).

- l'étude comparée de la dynamique d'exportation de plusieurs molécules à l'exutoire d'un bassin versant, permet une « exploration fonctionnelle » du bassin versant susceptible de révéler les fonctionnements clés et les zones actives de la couverture pédologique.

- les nutriments, le COD et les contaminants fécaux constituent un « groupe de transfert » liés (origines, voies de migration communes, interactions au niveau des impacts) dans le cadre d'études de la pollution diffuse, ils doivent faire l'objet d'une approche conjointe.

Ce travail sera conduit:

- sur un site expérimental fonctionnel d'ici 3 ans dans le bassin du Bourget (forêts /herbages ; le choix du bassin sera fait début 2003)
- dans le bassin du Mercube (Cultures/forêts) déjà bien connu (Thèse de Jordan Meille).

Le projet concernera toute l'équipe et sera animé par Poulenard. Il bénéficiera de l'expérience acquise en matière de suivis et d'assurance qualité par Lazzarotto et Quétin. Une collaboration avec les chimistes de l'Université est en cours de formalisation (Lazzarotto, AI-INRA, suit une formation dans ce labo au titre de la formation continue). Une collaboration avec la station INRA de Narbonne (IAA) en terme d'application des techniques de biologie moléculaire aux suivis en rivière de *E. coli* est en cours de construction, avec l'appui de Fontvieille et de Humbert.

Il est prévu d'associer à ces recherches sur les transferts, **un étudiant de DEA par an et de définir un sujet de thèse à l'issue de la première année (été 2003)**. Le sujet de DEA 2002 est d'ores et déjà défini ; il est proposé au DEA de sciences du sol (+ demande bourse INRA) Les

financements pour le bassin du Bourget ne sont pas encore acquis ; une demande sera faite auprès de « avenir » et du PQR.

3.3. Action 3 : « diagnostics de la pollution diffuse ».

Les démarches scientifiques destinées à soutenir les politiques publiques de l'eau sont menées dans le cadre du GIS « Alpes du Nord »; les recherches réalisées sur les bassins versants constituent un fond de connaissances valorisable dans les chantiers de recherche-développement du GIS (structure pluridisciplinaire) ; l'objectif actuel du GIS est de mieux évaluer et maîtriser les origines des pollutions diffuses dans les exploitations des Alpes du Nord ; un effort particulier est fait pour relier pratiques agricoles (calendrier, nature et modalité d'épandages) et contaminations fécales par les coliformes fécaux (problème majeur de la région) ; ces thèmes sont validés par le Comité Scientifique du GIS présidé par Hubert (INRA-SAD)

Les hypothèses de travail :

- 1. les recherches opérationnelles en matière de pollution diffuse ne sont pas de simples retombées passives des recherches sur les bassins versants ; elles doivent reposer sur une analyse pluridisciplinaire, à l'échelle paysage, de la diversité, des phénomènes de transfert, des causes et des impacts, en incluant la composante humaine (pratiques, systèmes d'exploitations..)*
- 2. Ces recherches opérationnelles constituent un test en vraie grandeur de nos résultats et participent à l'élaboration des concepts.*

Ce travail restera animé par Trevisan et impliquera plus particulièrement Dorioz et Trosset. Le chantier actuel est basé sur un dispositif comprenant un réseau de petits bassins versants représentatif des zones de protection de sources potentielles d'eau potable. Le travail est co-construit avec les utilisateurs potentiels, DDASS, Conseils Généraux et Chambres d'agriculture (départements 74, 73 et 38). Il associe d'ores et déjà de nombreux étudiants de DESS et de maîtrise de l'Université de Chambéry et Fontvieille (équipe microorganisme de l'UMR). Le financement est assuré par le GIS, contrat INRA-Rhone-Alpes. Un projet INTERREG (France Italie) a été déposé en octobre 2002.

4. CONDITIONS CONCRETES POUR LA REUSSITE DE LA COLLABORATION

Objectivement un certain nombre de conditions favorables sont d'ores et déjà réunies :

- une volonté d'anticiper ce rapprochement par des encadrements (principalement un DEA 2002, avec bourse INRA et une Thèse 1998-2002, bourse ADEME).
- un partenariat commun en matière de recherche développement (GIS « Alpes du Nord »)
- complémentarité des collaborations scientifiques (chimie/hydrobiologie), des compétences et des équipements (chimie minérale /physique du sol)
- participation aux enseignements (DESS)

Cette ébauche de fonctionnement d'équipe se renforcera, notamment par de nouveaux co-encadrements (un DEA/an et 1 thèse). Mais d'autres liens sont prévus :

- participations et animations croisées dans les actions de recherche (*voir organigramme*)
- mise en place d'un nouvel équipement de terrain commun (mutualisation du matériel)
- réponse commune à des appels d'offre dès 2003 (« avenir », interreg, ORE)

- plan de formation commun des jeunes chercheurs-ingénieurs de l'équipe
- séminaires mensuels d'équipe (ouvert le cas échéant aux partenaires scientifiques ou techniques) et organisation conjointe de réunions scientifiques (dans un premier temps en s'appuyant sur l'Ass. Fr. d'étude des Sols)
- une journée de travail en commun par semaine pour les animateurs d'action.

CONCLUSIONS

Il nous semble porteur d'associer dans une même UMR, la thématique transfert bassin versant à celle des lacs. Ceci ouvre des opportunités de mieux comprendre les relations entre des écosystèmes terrestres et aquatiques en s'appuyant sur des sites d'observations assez exceptionnels, les grands lacs alpins et sur une synergie recherche-enseignement supérieur. C'est dans ce contexte que se situe la restructuration proposée pour la thématique bassin versant-restauration des lacs, avec comme points forts :

- la perspective d'approches plus globales du fonctionnement des bassins versants et des relations des grands lacs avec leur environnement (dynamiques comparées, interactions entre pollutions et écosystèmes, restauration..)
- l'intention de valoriser le capital scientifique existant, dans la mise au point de concepts opérationnels (aide à la décision, gestion...) pouvant contribuer à définir une véritable ingénierie des lacs et des bassins versants, en particulier de la pollution diffuse ;
- le souci de profiter de la valeur ajoutée due au site d'observation et de recherche de Thonon-Chambéry pour développer des recherches en collaboration - voire co- construites- avec les acteurs et basées sur des suivis de données à long terme.

Le succès de cette équipe de recherche suppose aussi que rapidement les moyens humains suivent. Ce dernier point est particulièrement crucial et à très court terme, étant donné les fonctions de direction assumées par les chercheurs seniors de l'équipe. Un renfort permettant d'avancer sur la valorisation et la conceptualisation des connaissances acquises, en terme d'ingénierie, sera demandé à l'INRA pour 2003.

Bibliographie de l'équipe citée dans le texte, antérieure à 1998

VANSTEELANT J.Y., TREVISAN D., PERRON L., DORIOZ J.M., ROYBIN D., 1997. Conditions d'apparition du ruissellement dans les cultures annuelles de la région lémanique, relation avec le fonctionnement des exploitations agricoles. *Agronomie*, 17, 17-34.

DORIOZ J.M., TREVISAN D., 1997. Transferts diffus de phosphore des bassins agricoles vers les lacs: impacts, ordre de grandeur, mécanismes. INRA-Riou Ed.- Agriculture et qualité des eaux, tome I, 241-256.

PUBLICATIONS/COMMUNICATIONS EQUIPE 1998-2002

1. Publications scientifiques dans revues indexées :

- 1) **DORIOZ J.M.**, CASSEL A., **ORAND A.**, EISENMAN K. 1998. Phosphorus storage, transport and export dynamics in the Foron river watershed. *Hydrol. Processes*, 12, 285-309.
- 2) **DORIOZ J.M.**, **PELLETIER J.**, BENOIT P., 1998. Variations des propriétés physico-chimiques et de la biodisponibilité potentielle du phosphore particulaire selon l'origine des sédiments dans un bassin versant. *Water Research*, 32 (2), 275-286.
- 3) CASSEL A., **DORIOZ J.M.**, KORT R.L., HOFFMANN J.P., MEALS D.W., KIRSCHTEL D., BRAUN D.C. 1998 - Watershed modeling : dynamic of phosphorus storage, cycling, transport, export. *Journ. Env. Qual.* 27 (2), 293-298
- 4) JORDAN MEILLE L., **DORIOZ J.M.**, WANG D., 1998. Analysis of the export of diffuse phosphorus from a small rural watershed. *Agronomie*, 18, 5-26.
- 5) JORDAN MEILLE L., **DORIOZ J.M.**, MATHIEU N., 1998. Approche expérimentale par crue artificielle de la participation du réseau hydrographique à l'exportation de P par un petit bassin versant agricole. *Water Research*, 32, 6, 1801-1810.
- 6) CASSELL A., KORT R.L., MEALS D.W., ASCHMAN S.G., **DORIOZ J.M.**, ANDERSON D.P., 2001 - Dynamic phosphorus mass balance modelling of large watershed : long term implications of management strategies. *Water science and Technology*, 43 (5) : 53-162 .
- 7) TREVISAN D., VANSTEELANT J.Y., **DORIOZ J.M.**, 2002. Survival and leaching of fecal micro-organisms after slurry spreading on mountain hay meadows : consequences for the management of water contamination risk. *Water Research*, 36, 275-283.

En cours

- 8) **BARROIN G.** Du facteur limitant au facteur de maîtrise (*à publier*)
- 9) **DORIOZ J.M.**, **ORAND A.**, **QUETIN P.** Dynamique du phosphore d'origine ponctuelle dans le bassin versant du Foron. Conséquences pour la détermination de l'origine des flux. (*à publier*)
- 10) JORDAN-MEILLE L., **DORIOZ J.M.** Soluble phosphorus dynamic in an agricultural watershed . (*soumis à J Env. Qual.*)

2. Publications scientifiques dans revues non indexées :

- 11) **DORIOZ J.M.**, **TREVISAN D.**, 2001. Transfert de phosphore des bassins versants agricoles vers les eaux de surface : l'expérience du bassin lémanique et sa portée générale. *Agrosol* vol 12 n°2 IRDA Québec p. 85-97
- 12) DRUARD J.C., BALVAY G., **DORIOZ J.M.**, 1999. Le Lac Bénit, un lac à protéger. *Revue de Géog. Alpine*
- 13) CASTILLON P., **BARROIN G.**, 2000. Eutrophisation, phosphore et pratiques agricoles. *Perspectives agricoles*, 261, 42-47.

3. Thèses, DEA, DESS, ingénieur

- 14) JORDAN L., 1998. Modes de transfert du phosphore d'origine diffuse dans un petit bassin agricole rural lémanique. **Thèse** 1775 Dép. de Génie rural EPFL (CH) 289 p – Dorioz-
- 15) DE MOOY J., 1998. Contribution d'un système d'informations géographiques à l'analyse des risques de transfert de polluants dans un bassin versant lémanique. Rapport de stage d'ingénieur agronome de l' Université de Wageningen, Pays-Bas. Thonon-les-Bains : INRA, Station d'Hydrobiologie Lacustre, 39 p. ST 1.98. Encadrement : Orand
- 16) NOIROT J.M., 1998 – Analyse de la variabilité spatiale et temporelle des transferts diffus de nutriments et de bactéries fécales vers les eaux de surface d'une zone agricole. Rapport de D.E.A . commun à l'INA-P-G, Paris 6 et l'ENS. Thonon-les-Bains : INRA, Station d'Hydrobiologie Lacustre, 44 p. + 4 p. d'annexe ST 9.98. Encadrement. Dorioz
- 17) TURONNET B., 1999 – Risques de contaminations bactériennes après épandage d'effluents organiques sur les prairies de montagnes : étude comparée de la survie et des transferts de bactéries sur quatre types de sol en conditions naturelles. Rapport de DAA, ENSA Rennes. Thonon-les-Bains : INRA, Station d'Hydrobiologie Lacustre, 53 p.+ 12 p. d'annexe. ST 9.99. Encadrement : Vansteelant

- 18) BARGASSA M., 1999 – Etude expérimentale de la survie et du transfert des bactéries fécales dans les sols des prairies de montagne. Rapport de Diplôme d'études supérieures en sciences naturelles de l'environnement. Université de Genève Mémoire n°39. Thonon-les-Bains : INRA, Station d'Hydrobiologie Lacustre, 54 p. ST 10.99. Encadrement : Trévisan et Dorioz
- 19) FABRE LE HEC, 2001 - Conception d'un système d'indicateurs pour la mise en place d'un observatoire du risque de pollution d'une ressource en eau. **Thèse** INPL, Nancy, 163-Encadrement : Dorioz-Cristofini
- 20) GAY S., 2002 – Mise au point d'une méthodologie pour évaluer le degré de contamination fécale des eaux de surface en région de montagne. Rapport de DEA Environnement et société : gestion des espaces montagnards. Université J. Fournier, IGA Institut de Géographie Alpine, Grenoble. Thonon-les-Bains : INRA, Station d'Hydrobiologie Lacustre, CARRTEL 69 p. +annexes. ST 2.2002. Encadrement : Dorioz , Fontvielle .
- 21) DUGET F., 2002 – Gestion du ruissellement pour limiter les pertes en phosphore dans les bassins versants agricoles : spatialisation, modélisation, propositions d'aménagements. DAA ENSA Toulouse.IRDA Quebec-INRA-Station d'Hydrobiologie Lacustre,.,ST 4.2002. Encadrement : Michaux (irda)-Dorioz
- 22) CAPLAT P., 2002 - Conception d'un observatoire des réserves naturelles de haute savoie. DAA ENSA Montpellier . ASTER-INRAEncadrement: Dorioz-Girardin.
- 23) VANSTEELANT J.Y. Risques microbiologiques liés aux épandages de boues de STEP et d'effluents d'élevage.-**Thèse**-Recherche de référence pour les zones de montagne. (Univ. Chambéry – ADEME). Soutenance dec 2002-Encadrement: Dorioz-Faivre.

Comité de pilotage de thèse

DORIOZ

VIAUD V. (organisation spatiale des BV et influence sur le rôle tampon du bocage, INRA Rennes)

MANIGOU E. (Influence de la qualité des eaux sur le fonctionnement des biofilms microbiens en rivière ;Cemagref Lyon)

NEMERY J. (Mobilité du P dans le continuum aquatique de la seine et rôle sur l'eutrophisation, CNRS-Paris 6)

TREVISAN

VANSTEELANT J.Y. (Survie et transfert de bactéries fécales dans des sols de montagne après épandage de lisier ou de boues. ADEME.

4. Communications scientifiques avec actes

Sans acte (résumés)

- 24) **Vansteelant J.Y.**, 1998 - Risques de contamination liés aux épandages de boues de station d'épuration et aux effluents d'élevage. Communication affichée -Pollutec 98, Eurexpo -Lyon.
- 25) **Vansteelant J.Y.**, **Trevisan D.**, Turonnet B., 2000 - Transfert de bactéries fécales dans des sols de montagne après épandage de lisier. Communication Euro-conférence "Eau, microbes et santé", Institut Pasteur, 23-25 mars 2000, Paris.
- 26) **DORIOZ J.M.**, **TREVISAN D.**, 1998, Fonctions agronomiques des sols de montagne : quelques réflexions à partir de l'expérience acquise dans les Alpes du Nord. *Ass Fr. Etude des Sols Paris 2/04/98*
- 27) **DORIOZ J.M.**, 1998 - Transfert du phosphore dans les bassins agricoles- Séminaire" état de surface, travail du sol, hydrologie" Dept AE réunion de Laon nov1998-5p-
- 28) **DORIOZ J.M.**, 1999 - "Developing an integrated dynamic framework to understand water quality management in the basin of Lake Champlain and Lake Léman "School of Natural Ressource.
- 29) **DORIOZ J.-M.**, **VANSTEELANT J.-Y.**, **TREVISAN D.**, 2000 – Transferts de polluants des bassins agricoles aux eaux de surface. In : Organisation et gestion de l'espace. Séminaire du département Environnement et Agronomie. Nouan-le-Fuzelier 11-13 octobre 2000, p. 53-56.seminar April/5/99. Univ. of Vermont.

Avec actes

- 30) CRISTOFINI B., PERRIN T., ROYBIN D., **DORIOZ J.M.**, BAZIN G., 1999 - "French and european mountains ecosystems lessons drawn and outlook for sustainable development". Inplanetary garden 99. *Intern. symposium on sustainable ecosystem management* Chambéry, March 14-18. Ed Savoie Technolac Prospective 2100.

Conférences invitées

- 31) **BARROIN G.**, Phosphore, azote et prolifération des végétaux aquatiques. Assises Internationales *Envirobio*. 13-14/11/2000 Paris. Gestion des risques. Santé et environnement : le cas des nitrates. (à paraître)
- 32) **DORIOZ J.M.**, 1999 - "Adaptative management for anagement of phosphorus in the lake Lemman basin" May /12/1999. Vermont water ressources and lake studies center. *Workshop Watershed approach to managing water quality- UVM Vermont*.
- 33) **GRILL J.J.**, **DORIOZ J.M.**, 2002 - Quels bassins versants pour quelles études de pollutions diffuses agricoles ? des bassins s de recherche aux bassins opérationnels 18 Juillet VF *Journées du CORPEN*, Clermont-Ferrand 12-13 mars 2002
- 34) **DORIOZ J.M.**, WANG D. –2002- " Use of a lanscape approach to interpret diffuse pollution in the Lac Léman basin, France and the Lake Champlain basin , USA"- LCRC-*Lake Champlain Cons. Research Conference* Juin 2002–St Jean –Canada-

5. Chapitres ouvrage et ouvrages entiers :

- 35) CORPEN, 1998 - Programme d'action pour la maîtrise des rejets de phosphore provenant des activités agricoles. 85 p. (Al et Dorioz)
- 36) **BARROIN G.**, 1999 - Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau, Agences de l'Eau, 215 pages + figure
- 37) **BARROIN G.**, 1999 – La pollution des eaux par les phosphates. *In* : L'eau milieu naturel et maîtrise. Tome 2. Grosclaude G. (Coord.) Série un point sur... p. 117-126.
- 38) FARDEAU J.-C., **DORIOZ J.-M.**, 2000 – La dynamique du phosphore dans les zones humides. *In* : Fonctions et valeurs des zones humides. Fustec E., Lefevre J.-C., (eds.).Paris : Dunod. p. 143-159.
- 39) **DORIOZ J.-M.**, **BLANC P.**, 2001 – Maîtrise de la charge externe en phosphore des plans d'eau et fonctionnement des bassins versants. *In* : L'eau dans l'espace rural : vie et milieux aquatiques. Neveu A., Riou C., Bonhomme R., Chassin P., Papy F. (eds.) Universités francophones. Paris : INRA Editions. 284 p. p. 113-132.

6. Documents à vocation de transfert :

- 40) FLEURY P., **DORIOZ J.M.**, 1999 - Activité agricole et qualité de l'environnement dans les Alpes du Nord. *In* " Recherche, Agriculture et développement régional ", convention INRA Rhône-Alpes. 26 octobre 1999, Lyon, INRA éditions, Paris, 79-108.
- 41) FLEURY P., **DORIOZ J.M.** *et al.*, 2001 - Sustainable agricultural land use in alpine regions (SAGRI-ALP). Final report (FAIR5 CT97-3798 project). SUACI/GIS Alpes du Nord (France), FiBL (Switzerland), IASMA (Italy), ARU (Austria), AFI (Germania), March 2001, 71 p.
- 42) **DORIOZ J.M.**, **VANSTEELANT A.**, 2002 - les dispositifs enherbés: outils de gestion de la pollution diffuse agricole ? Rapport bibliographique pour le groupe « phosphore » du CORPEN. Ministère de l'environnement, Paris 60p
- 43) **TREVISAN D.**, **DORIOZ J.M.**, 2000 - Bandes herbeuses et lutte contre la pollution diffuse agricole. Critère d'efficacité et conditions d'implantation. Rapport pour la CIPEL, GIS Alpes du Nord, 39 p.
- 44) **ORAND A.**, **DORIOZ J.-M.**, **GAGNAIRE J.** - Bilan des apports par les affluents au Léman et au Rhône à l'aval de Genève ; p. 107-123. (1998 à 2000)
- 45) **DORIOZ J.-M.**, **OMBREDANE D.**, 2001 – Effets de la gestion des bassins versants sur les transferts particuliers et dissous et de la qualité biologique des eaux de surface en zone d'élevage. Action structurante INRA-CEMAGREF "AQUAE" Thonon : Station d'hydrobiologie lacustre ; rapport 205/2001, 37.
- 46) **ORAND A.**, **MOILLE J.-P.**, **DORIOZ J.-M.**, **RAPIN F.**, 2001 - Bilan des apports par les affluents au Léman et au Rhône à l'aval de Genève. Campagne 2000 ; p. 191-206.

- 47) **TREVISAN D., DORIOZ J.-M.**, coll tech. **MOILLE J.-P., BOSSE J.-P.**, 2001 – Bandes herbeuses et lutte contre les pollutions diffuses d'origines agricole. Critère d'efficacité et conditions d'implantation. p. 231-259.
- 48) **DORIOZ J.-M.**, VANSTELLANT A., 2002 – Les dispositifs enherbés outil de gestion de la pollution diffuses phosphorée d'origine agricole. Rapport bibliographique réalisé pour le groupe "phosphore" du CORPEN. Thonon : Station d'hydrobiologie lacustre ; rapport 216/2002, 63 p.

7. Rapporteurs pour revues scientifiques :

- 49) Water Research (JMD 3 articles)
- 50) Journal of Env. Qual. (JMD 1 articles)
- 51) Sciences de l'Eau (1 article JMD)
- 52) Env issue report 22 EEA (Barroin)

8. Documents et communications de vulgarisation :

- 53) **TREVISAN D., DORIOZ J.M.**, 2002 - « Epannage des effluents d'élevage et contamination microbiologie de l'eau » Doc GIS « alpes du Nord »- Chambéry 42 p.
- 54) **DORIOZ J.-M., FLEURY P., COULON J.-B., MARTIN B.**, 2000 – La composante milieu physique dans l'effet terroir pour la production fromagère : quelques réflexions à partir du cas des fromages des Alpes du Nord. *Cour. Environ. INRA*, 40, p. 47-55.
- 55) **DORIOZ J.-M.**, 1998 - Alpagnes, prairies et pâturages d'altitude : l'exemple du Beaufortain. *Cour. Environ. INRA*, 35 nov. 1998, p. 33-42.
- 56) **DORIOZ J.M.** SALON de l'AGRICULTURE 1998. "Eau et pollution diffuse d'origine agricole ,cas du phosphore " - Espace recherche - 6/03/98
- 57) **DORIOZ J.M.** - SALON de l'AGRICULTURE 1998 " Les facteurs physiques dans l'effet terroir pour les fromages" Colloque équilibre des territoires et qualité des produits
- 58) **BARROIN G.**, 1999 - <<Alors...le lac, comment va-t-il ?>> *Lémanique*, 33, p. 1-3.

PUBLICATIONS/COMMUNICATIONS LABO DE SCIENCES DU SOL 1998-2002

1. Publications scientifiques dans revues indexées :

- 1) **POULENARD J., PODWOJEWSKI P., HERBILLON A.J.**, 2003 - Characteristics of non-allophanic Andisols with hydric properties in Ecuadorian Páramo.- *Accepted Geoderma*
- 2) **POLY F., GROS R., JOCTEUR-MONROZIER L., PERRODIN Y.**, 2002 - Short-term changes in bacterial communities fingerprints and potential activities in an alfisol added with solid waste leachates. *Accepted Environmental Science and Technology*.
- 3) **POULENARD J., BARTOLI F., BURTIN G.**, 2002 - Shrinkage and drainage in volcanic soil aggregates : a structural approach using air under vacuum drying kinetics and mercury porosimetry.- *European Journal of Soil Science*. 53 (3) 1-12.
- 4) **PODWOJEWSKI P., POULENARD J., ZAMBRANA T., HOFSTEDE R.**, 2002 - Overgrazing effects on vegetation cover and volcanic ash soil properties in the páramo of LLANGAHUA AND LA ESPERANZA (Tungurahua, Ecuador).- *Soil Use and Management* 18 (1) 45-55
- 5) **PERRODIN Y., GOBBEY A., GRELIER-VOLATIER L., CANIVET V., FRUGET J. F., GIBERT J., TEXIER C., CLUZEAU D., GROS R., POLY F., JOCTEUR-MONROZIER L.**, 2002. Waste ecocompatibility in storage and reuse scenarios: global methodology and detailed presentation of the impact study on the recipient environments. *Waste Management*, 22, Issue 2, 2002, Pages 215-228
- 6) **POULENARD J., PODWOJEWSKI P., JANEAU J.L., COLLINET J.**, 2001- Effects of tillage and burning on hydrodynamic properties of volcanic ash soil in Ecuadorian páramos.- *Catena* 45 185-207
- 7) **POULENARD J., HERBILLON, A.J.**, 2000.- Sur l'existence de trois catégories d'horizons de référence dans les Andosols.- *Comptes Rendus Académie des Sciences. Série Ila*. 331 651-657

En cours

- 8) **GROS R., POULENARD J., JOCTEUR-MONROZIER L., FAIVRE P.** Physico-chemical disturbances in an alfisol under two grasses cover added with solid waste leachates. Soumis à *European Journal of Soil Science*.
- 9) **GROS R., JOCTEUR MONROZIER L., BARTOLI F., CHOTTE J.L., TROSSET L., FAIVRE P.** Soil organisation and microbial activities changes along the proces of restoration in disturbed alpine grassland. **Soumis à *Ecological applications***
- 10) **GROS R., JOCTEUR-MONROZIER L., FAIVRE P.**, Microbial communities structure shifts associated with soil habitats of restored alpine grasslands. **Soumis à *Microbial Ecology***
- 11) **GROS R., POLY F., JOCTEUR-MONROZIER L. AND FAIVRE P.** Effects of solid waste leachates on grassland ecosystem health and soil quality. **Soumis à *Plant and Soil***.

2. Publications scientifiques dans revues non indexées :

- 12) VIRAMONTES D., DESCROIX L., BOLLERY. A., **POULENARD J.**, 2002.- Comportement hydro-érosif des sols de la Sierra Madre Occidentale: processus hydrologiques et évolution du milieu. *Géomorphologie*. Juillet-Décembre 2002, n°3,
- 13) PERRIN J.L., FOURCADE B., **POULENARD J.**, RICHARD D., SIERRA A., 2000 – Quito face à un risque d'origine naturelle : les laves torrentielles. *Revue de Géographie Alpine*, 2, 43-57
- 14) **POULENARD J.**, DESCROIX L., JANEAU J.L., 1996 - Surpâturage et formation de terrassettes sur les versants de la Sierra Madre occidentale (Nord-Ouest du Mexique).- *Revue de Géographie Alpine*, 2, 77-86

3. Communications scientifiques dans des congrès.**Sans acte (résumés)**

- 15) **POULENARD J., PODWOJEWSKI P., FAIVRE P., 2002.** Rôle des páramos sur la ressource en eau dans les Andes : Importance des propriétés des sols et impacts des mises en usage en Equateur. Colloque international "L'Eau en Montagne" Gestion Intégrée des Hauts Bassins Versants. Megève Haute-Savoie France 5 et 6 septembre 2002. (Poster)
- 16) **GROS R., POLY F., JOCTEUR-MONROZIER L., FAIVRE P., 2001.** Impacts d'effluents de déchets d'incinération sur un écosystème prairial : Influence de la rhizosphère et de la composition floristique sur la structure génétique des communautés bactériennes. 26^{èmes} journées du Groupe Francophone d'Humidimétrie et de transfert en milieux poreux (GFHN), 27-28 décembre 2001, E.N.T.P.E., Lyon. Communication orale.
- 17) **GROS R., POLY F., JOCTEUR-MONROZIER L., TROSSET L., FAIVRE P., 2001.** Méthodes d'évaluation du risque écotoxicologique de solutions issues de déchets d'incinération revalorisés : Transferts des polluants dans les sols et impacts sur la flore prairiale et la structure des communautés microbiennes telluriques associées". Colloque franco-québécois, la pluridisciplinarité dans les problèmes de l'environnement : les interactions Air Sol Eau, 14-16 mars 2001, Québec, Canada. Communication orale
- 18) PERRIN J.L., **POULENARD J.**, TOUMA J., 2001. Hydraulic properties of a recent volcanic ash soils of the high slope of the Rucu Pichincha Volcano. International Symposium on soil structure, water and solute transport. Bondy. Octobre 2001.
- 19) **GROS R., TROSSET L., FAIVRE P., 2000.** Indicateurs microbiologiques et floristiques de la pollution des sols par des solutions issues de déchets d'incinération des ordures industrielles et ménagères. 6ème journées Nationale de l'étude des sols, les enjeux actuels de l'anthropisation des sols, Nancy, 25-28 Avril 2000. Poster.
- 20) **GROS R., POLY F., TROSSET L., 1999.** How to approach waste Ecocompatibility. First International Symposium on sustainable Ecosystem Management. Chambéry, 14-18 mars 1999. Poster.
- 21) **POULENARD J., TOULKERIDIS T., PODWOJEWSKI P., 1999.-** Rapid tectonic uplift as revealed by pedologic changes: The Oña Massif, southern part of central Ecuador. 4th international symposium on Andean Geodynamic. Gottingen. Octobre 1999
- 22) **PODWOJEWSKI P., ZAMBRANA T., POULENARD J., 1999.** Overgrazing effects on soil properties in the paramo of Llangahua and Esperanza (Tungurahua, Ecuador). 14° Congreso Latinoamericano de Ciencia del Suelo CLACS-99, Comision VI, Temuco, Chile.
- 23) **POULENARD J., PODWOJEVSKI P., JANEAU J.L., VIVEROS P., 1998 –** Land use and degradatation of an altitudinal ecosystem : the páramo. Consequences on hydrodynamic properties of

the recent volcanic ash soils.- Congrès Mondial de science du sol, Montpellier 1998.

Avec actes

- 24) **GROS R.**, POLY F., JOCTEUR-MONROZIER L., **TROSSET L.**, **FAIVRE P.** 2002., Search for floristic and microbial indicators revealing the impact on the soil of solutions resulting from incineration waste. *In*: Rubio J.L., Morgan R.P.C., Asins S., Andreu V. (Eds), Proceedings Book of the Third International Congress "Man and Soil at the Third Millennium". Valencia (Spain), 28 March – 1 April, 2000. Logroño (Spain): Geoforma Ediciones.
- 25) PODWOJEWSKI P., **POULENARD J.**, 2000 - Los suelos del Páramo. *In* Mena P.A., Josse C., Medina G. (Eds) - Los suelos del paramo. GTP/Abya Yala Edicion. Quito, 5-26.
- 26) PODWOJEWSKI P., **POULENARD J.**, 2000 - La degradacion de los suelos en los paramos. *In* Mena P.A., Josse C., Medina G. (Eds) - Los suelos del paramo. GTP/Abya Yala Edicion. Quito, 27-36

**BILAN DES TRAVAUX DE L'ÉQUIPE « DYNAMIQUE ET ÉVOLUTION DES
COMMUNAUTÉS PHYTOPLANCTONIQUES (DECOP) »**

**PERSPECTIVES DE RECHERCHE DU FUTUR GROUPE « MICROBIOLOGIE
AQUATIQUE »**

L'équipe DECOP s'est structurée en 1998 suite à l'arrivée à Thonon, de deux nouveaux chercheurs ayant des cultures scientifiques très différentes : C. Leboulanger avait été recruté comme CR2 après une thèse ayant porté sur l'écophysiologie algale (modèles marins) alors que J.F. Humbert (CR1 au moment de sa venue) arrivait du centre INRA de Tours avec une expérience portant sur la résistance aux anthelminthiques chez les parasites de petits ruminants !!! Ces deux chercheurs rejoignaient J.P. Pelletier qui est parti en retraite l'année suivante, et A. Bérard détachée du Ministère de l'Agriculture en tant que CR. S'ajoutaient à ces chercheurs, 1 ingénieur d'étude spécialiste de la taxonomie du phytoplancton (J.C. Druart), et deux techniciennes (B. Le Berre et E. Menthon).

Cet ensemble assez « hétéroclite » a très rapidement pris l'initiative de se structurer en équipe et de concentrer ses recherches sur deux thématiques principales : La génétique et la dynamique des populations de cyanobactéries, et l'impact des xénobiotiques sur les communautés de microalgues. Le choix de ces deux thématiques tenait compte à la fois de l'intérêt collectif de la station pour ces sujets mais aussi des intérêts personnels des chercheurs. En effet, les proliférations de cyanobactéries sont une des conséquences de l'eutrophisation, thème fédérateur au sein de l'unité, de même que les travaux en écotoxicologie puisque les pesticides sont une source de perturbation des écosystèmes aquatiques d'origine anthropique. Ce dernier thème avait d'ailleurs été initié 4 ans plus tôt par A. Bérard, à la demande du directeur de l'unité à l'époque (D. Gerdeaux).

Pour compléter l'historique des mouvements de personnel dans l'équipe, il faut ajouter que P. Dufour, DR1 de l'IRD, a été affecté fin 2000 au sein de notre groupe, dans le cadre d'une collaboration avec l'UR FLAG de l'IRD. Cette UR a une thématique cohérente avec la notre, puisqu'elle s'intéresse aux efflorescences algales et cyanobactériennes dans les écosystèmes continentaux tropicaux. En 2001, S. Jacquet a été recruté comme CR2, sur un profil concernant l'étude du déterminisme des proliférations de cyanobactéries. Enfin, cette même année, A. Bérard nous a quitté pour rejoindre le centre d'Avignon (mutation pour raisons familiales).

Dès le début de nos travaux, nous avons affiché la volonté délibérée d'associer des recherches dites fondamentales à des travaux plus appliqués. Nous développerons donc conjointement dans la suite de ce bilan les questionnements scientifiques abordés, les concepts qui s'y rattachent, les méthodologies mises en œuvre et enfin les domaines d'application de ces travaux.

I. Bilan des travaux de l'équipe DECOP (1998-2002)

I.1 Génétique et dynamique des populations de cyanobactéries

Les cyanobactéries sont des procaryotes photosynthétiques capables de proliférer (le bloom pour les anglo-saxons) lorsque les conditions environnementales leur sont favorables. Ces phases de prolifération peuvent avoir des conséquences néfastes sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques (notion un peu simpliste « d'impasse trophique ») mais aussi sur leurs usages. En effet, ces microorganismes sont de véritables usines de production de métabolites secondaires dont

beaucoup sont toxiques pour la santé humaine et animale.

Comme pour beaucoup de procaryotes, l'identification spécifique de ces organismes est difficile en raison du faible nombre de caractères pouvant être pris en compte mais aussi en raison d'une plasticité phénotypique importante. C'est pourquoi une partie non négligeable de notre activité a porté dans un premier temps, sur des problèmes de taxonomie faisant appel aux outils de la biologie moléculaire. Cependant, ces travaux de taxonomie ne constituent pas un axe majeur de recherche pour le futur ; ils constituent juste un préalable, quelquefois nécessaire, à certaines de nos études ultérieures concernant « l'écologie » de ces organismes.

Nos travaux en taxonomie se sont principalement intéressés à trois genres différents mais très fréquents dans les plans d'eau en climat tempéré.

Le premier, *Planktothrix* regroupe des espèces morphologiquement très proches dont l'identification est toujours difficile. Parmi ces espèces, trois d'entre elles principalement identifiées sur des critères morphométriques et pigmentaires, ont été étudiées en raison de leur forte occurrence dans de nombreux plans d'eau français (notamment en région Rhône-Alpes). Par séquençage de divers loci plus ou moins conservés (ARNr 16S, IGS entre *psa A* et *psa B*...), il est apparu que ces trois espèces n'en formaient en fait qu'une seule et que cette espèce était peu polymorphe au niveau génétique (1).

Les genres *Anabaena* et *Aphanizomenon* ont d'autre part fait l'objet d'études portant sur un nombre très important de souches provenant de divers continents et produisant divers types de toxines. Par la caractérisation biochimique des acides gras (2) et par séquençage à divers loci (3), nous avons montré que la taxonomie de ces deux genres devait subir de profonds remaniements et nous avons observé des regroupements intéressants entre des souches appartenant à des genres différents mais produisant le même type de toxine. Ce travail a été effectué dans le cadre de l'accueil, pendant sa dernière année de thèse, de M. Gugger qui a terminé au laboratoire ses travaux de séquençage mais aussi réalisé l'analyse de ses résultats et une part importante de son travail rédactionnel. Ce travail a permis de développer une première collaboration avec le MNHN Paris et l'équipe de K. Sivonen en Finlande.

Nous avons aussi abordé la taxonomie moléculaire de l'espèce *Cylindrospermopsis raciborskii*, dans le cadre du projet DECLIC (cf. plus bas) et de notre collaboration avec l'IRD. *C. raciborskii* est une cyanobactérie tropicale dont l'aire de répartition subit actuellement une extension vers des latitudes plus septentrionales. Cette espèce est notamment observée depuis peu de temps dans plusieurs plans d'eau de la région parisienne. Par séquençage à divers loci, nous avons pu établir une filiation des souches françaises par rapport à un ensemble de souches collectées sur divers continents (1 communication à congrès et 1 publication en préparation).

Les outils de la génétique sont aussi utilisés pour répondre à des questions de type « populationnelles ». C'est ainsi que nous avons été amenés, dans le cadre d'une collaboration avec l'Université de St Etienne et avec EDF, à nous intéresser à l'existence d'une éventuelle structuration génétique dans deux sous-populations de la cyanobactérie *Microcystis aeruginosa* dans la retenue d'eau de Grangent. Des travaux sur la dynamique des populations de cette cyanobactérie avaient en effet révélé qu'il existait en été une population pélagique ayant un comportement autotrophe et en hiver une population benthique sans doute hétérotrophe. Par séquençage de l'ITS1 de l'ARNr, nous avons pu démontrer qu'il n'existait aucune structuration génétique dans ces deux sous-populations qui correspondent en fait à une seule et même population présentant deux phases distinctes dans son cycle biologique annuel (4).

L'essentiel de nos recherches sur les cyanobactéries s'intéresse au déterminisme et aux mécanismes de développement, de maintien et de déclin des proliférations de ces micro-organismes et à leurs conséquences sur le fonctionnement et les usages des écosystèmes. Ce sujet passionnant peut être rattaché aux questions portant sur les processus qui permettent le maintien ou non de la diversité dans des communautés très complexes telles que les communautés phytoplanctoniques. Les concepts « disponibles » sont donc nombreux (« Intermediate disturbance hypothesis », relation entre diversité spécifique et nombre de ressources limitantes dans le milieu, importance relative des contrôles par la prédation, le parasitisme et les ressources) et ils constituent pour nous un support théorique fondamental et indispensable. Deux modèles sont principalement étudiés en parallèle. Le premier se rapporte à *Planktothrix rubescens* qui est une cyanobactérie typique des systèmes mésotrophes à eutrophes en climat tempéré (arc alpin et pays scandinaves principalement). Cette cyanobactérie avait déjà fait l'objet d'études dans la station lorsque celle-ci s'intéressait au lac de Nantua. Depuis 5 ans, des proliférations régulières dans le lac du Bourget nous ont conduit à reprendre des travaux sur cette cyanobactérie. Le deuxième modèle concerne

Cylindrospermopsis raciborskii qui est une cyanobactérie considérée jusqu'ici comme typiquement tropicale mais dont l'aire de distribution s'étend progressivement à des latitudes de plus en plus septentrionales (dont la France et l'Allemagne depuis quelques années). L'étude de ce modèle a été entreprise en collaboration avec l'IRD, une équipe de l'Université de Paris VII et le laboratoire de cryptogamie du MNHN qui a découvert cette cyanobactérie en France. Cette étude est supportée par le MATE dans le cadre du programme « Invasions biologiques » Les approches développées pour ses deux modèles concernent aussi bien à des suivis sur le terrain que des expérimentations en laboratoire.

La prolifération de *Planktothrix rubescens* dans le lac du Bourget. Alors que le lac du Bourget connaît une amélioration de la qualité de ses eaux (diminution importante des charges en phosphates et en nitrates depuis le milieu des années 80), il est néanmoins le siège depuis 5 ans de proliférations pérennes de la cyanobactérie *P. rubescens*. La recherche des facteurs et processus impliqués dans le déterminisme de cette prolifération fait l'objet à la fois de suivis sur le terrain et d'approches en laboratoire. Concernant les suivis bimensuels de terrain et l'analyse des séries chronologiques disponibles, nous avons pu montrer que les proliférations de *P. rubescens* qui débutent toujours dans la couche supérieure du métalimnion, étaient sans doute liées à une augmentation de la transparence des eaux suite à de moindres développements algaux dans l'épilimnion. La stabilité de la colonne d'eau semble aussi constituer un processus majeur qui permet en plus de comprendre pourquoi le lac Léman et le Bourget qui présentent pourtant des niveaux trophiques très comparables, ne connaissent pas les mêmes successions phytoplanctoniques (plusieurs publications en préparation). Les premières expérimentations en laboratoire ont permis de préciser les avantages sélectifs de *P. rubescens* par rapport à sa forme verte (*P. agardhii*). Elles permettront aussi de préciser les optimum de croissance (en fonction de la lumière, des nutriments...) de cette cyanobactérie et de ses compétiteurs potentiels (par ex. *Mougeotia gracillima*) afin d'alimenter des modèles dont nous parlerons dans les perspectives données à ces travaux.

Caractérisation physiologique de souches invasives de *C. raciborskii* isolées sur divers continents. Nos expérimentations en laboratoire montrent que les exigences thermiques et lumineuses des souches d'origine tropicale et tempérée sont identiques. L'espèce révèle une capacité de croissance sur une très large gamme de température (20 à 35°C avec un optimum à 25-30°C) et d'intensité lumineuse (20 à 500 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, avec un optimum à 80). Ainsi, il ne semble pas que la colonisation des milieux tempérés par *C. raciborskii* résulte d'une sélection de clones adaptés à de nouvelles conditions climatiques (1 communication à congrès et 1 publication en préparation). Les changements climatiques et notamment les températures plus clémentes en hiver, pourraient en revanche constituer un facteur explicatif sur lequel nous travaillons actuellement. Les résultats des suivis sur le terrain confirment ces premières observations (5). Un autre facteur d'adaptation en cours d'étude est la capacité des souches d'origine tempérée à former des cellules de résistance, les akinètes, leur permettant de survivre lors des saisons peu favorables à la croissance (1 publication en préparation). Ces travaux ont été principalement réalisés par de J.F. Briand (post-doctorant) en collaboration avec le MNHN et l'IRD.

En parallèle à ces travaux pouvant être qualifiés de fondamentaux, des développements plus appliqués ont été initiés. C'est ainsi que nous avons testé et validé un nouvel outil pour l'estimations de la distribution et de la biomasse des cyanobactéries (6). Ces travaux nous ont aussi conduit à définir et à mettre en place, pour les gestionnaires locaux, un plan de surveillance des cyanobactéries dans le lac du Bourget (7). Ces aspects appliqués sont donc complètement intégrés dans l'ensemble des recherches menées sur *P. rubescens*. Ils nous ont conduit à nous intéresser à la toxicité de cette cyanobactérie (8) et notamment à développer des études sur la dynamique de synthèse et d'excrétion des toxines par cette cyanobactérie et sur l'influence des facteurs environnementaux sur la production de ces toxines.

I.2 Impact des pesticides sur la structure et le fonctionnement des communautés phytoplanctoniques et phytobenthiques

L'orientation d'une partie des travaux de l'équipe, initiée en 1994 puis renforcée depuis 1997, vers l'évaluation des effets de contaminations xénobiotiques sur les communautés algales, est motivée par plusieurs éléments. D'une part, le constat que les écosystèmes aquatiques continentaux sont soumis à des perturbations anthropiques de plus en plus fortes, qui résultent entre autres d'une augmentation de la fréquence et du niveau de contamination par les xénobiotiques parmi lesquels les pesticides et métaux lourds font l'objet de nos études. D'autre part, dans ces écosystèmes les algues sont des « cibles désignées » de ces contaminants, aussi bien de par leur sensibilité intrinsèque (similitude forte au niveau physiologique avec les plantes terrestres visées par les traitements herbicides) que de par leur rôle de support du réseau trophique aquatique (statut de « producteurs primaires »). Enfin, la culture historique de notre laboratoire, et les compétences des membres de notre équipe permettent une approche à la fois structurelle et fonctionnelle des effets des xénobiotiques sur les microalgues d'eau douce, que ce soit en conditions expérimentales ou dans le milieu naturel. Notre problématique peut se résumer en deux points : la connaissance des effets toxiques sur la diversité et le fonctionnement des communautés algales d'une part, et la mise au point d'outils d'évaluation de la qualité de l'eau basés sur le compartiment algal d'autre part.

Avancées méthodologiques : Une partie importante du travail entrepris a d'abord concerné l'adaptation d'outils traditionnellement dévoués à d'autres domaines que l'écotoxicologie. Un contrat de recherche du MATE couplant ces expérimentations à des situations de terrain, ou en les appliquant à des problèmes d'évaluation environnementale du risque causé par les phytosanitaires *a priori* ou *a posteriori* en systèmes expérimentaux, a appuyé cette entreprise. Trois publications (9, 10 & 11) ont formalisé ces avancées. L'une décrit l'application d'outils de biologie moléculaire au problème de l'impact d'une pollution par les herbicides sur la diversité génétique d'une communauté naturelle de périphyton. Les deux autres décrivent des méthodes permettant d'estimer la sensibilité des microalgues périphytiques ou phytoplanctoniques à un herbicide, en analysant les caractéristiques de la fluorescence *in vivo*. L'essentiel de ces travaux a bénéficié de la présence d'une étudiante italienne (U. Dorigo) en stage de « *Tesie* » pendant 16 mois, ce qui a permis de tester et valider divers protocoles. Par exemple, les estimations de la diversité par technique de biologie moléculaire ont été comparées à d'autres techniques biochimiques (HPLC des pigments liposolubles) et taxonomique (microscopie optique) sur divers écosystèmes de rivières, montrant la faisabilité de l'approche. Ces méthodes sont en cours de transfert à l'étude de la microflore algale des sols cultivés (collaboration avec A. Bérard désormais à l'INRA d'Avignon).

Pour satisfaisants qu'ils soient, ces progrès méthodologiques ne trouvent leur intérêt que s'ils sont véritablement appliqués dans le cadre d'un questionnement scientifique ou à des fins d'expertise (études d'impacts par exemple). C'est pourquoi, suite à ces premiers résultats (12, 13, 14 & 15) principalement acquis sur des systèmes expérimentaux (cultures, micro et mésocosmes), nous avons entrepris de déplacer le champ d'application de ces méthodes. Nos travaux s'orientent donc de plus en plus vers l'évaluation *a posteriori* des impacts des contaminations par les phytosanitaires sur des écosystèmes naturels. Cette démarche a suscité l'intérêt de la SSM (Structure Scientifique Mixte INRA/DGAL) qui gère les dossiers d'autorisation des phytosanitaires et qui a compris l'intérêt de notre approche qui doit se placer comme un complément nécessaire permettant de vérifier l'impact écologique d'une molécule n'ayant fait l'objet, pour son autorisation de mise sur le marché, que de tests *in vitro* de toxicité.

En milieu lacustre : Grâce à une collaboration avec une équipe de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, et en s'appuyant sur la présence d'un chercheur suédois post-doc à Thonon en 1999 (B. Nyström), nous avons entrepris une évaluation des effets d'un contaminant d'origine nautique, l'Irgarol 1051, sur des communautés phytoplanctoniques du Léman. Le produit incriminé est un additif anti-fouling (qui a remplacé en partie les organoétains dans ces peintures), dont la présence dans le lac est limitée au périmètre des ports et uniquement à la belle saison. Nous avons pu démontrer que les niveaux de contamination par ce composé, étaient à même de modifier la structure et la sensibilité des communautés phytoplanctoniques en zone portuaire (16).

En rivière : En collaboration avec l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, nous avons développé une étude en 1999-2001 sur une rivière de la région de Chartres, l'Ozanne. Le bassin versant de ce cours d'eau était caractérisé par un amont forestier très peu soumis aux pressions agricoles, alors que l'aval était bordé de grandes cultures céréalières et oléagineuses. Il en résultait un gradient fort dans les niveaux de contamination, principalement par deux herbicides, l'atrazine et l'isoproturon. De plus, les calendriers agricoles étant assez rigides, et les pratiques bien connues par les gestionnaires locaux, il était possible de prévoir les flux de ces contaminants dans l'eau. Nous avons cherché à mesurer et à quantifier les effets de ces pollutions sur les communautés naturelles de périphyton, prélevées au moyen de substrats artificiels. Les résultats obtenus (en dehors des validations de méthode – deux publications citées ci-dessus) ont démontré qu'il existe un gradient de tolérance croissante aux deux herbicides vers l'aval de la rivière, et que les communautés périphytiques perdent en qualité biologique (basé sur l'indice diatomique IBD). Ceci va dans le sens d'un renforcement de la théorie du PICT, et devrait faire l'objet d'une publication (Dorigo et al. soumis).

Ces travaux achevés au moins sur le plan des publications scientifiques, nous ont conduit à élargir le champ des hypothèses, et à chercher de nouvelles collaborations. Le premier but est d'arriver à l'assurance que l'effet mesuré sur une communauté naturelle est bien lié à la contamination par un pesticide, et non pas à un autre facteur environnemental (facteur de confusion). Ceci est d'autant plus crucial que les contaminations par les phytosanitaires sont souvent corrélées à l'augmentation du niveau trophique : plus on descend l'aval d'une rivière, et plus elle reçoit de molécules toxiques mais aussi de nutriments. Ensuite, l'étude du périphyton, et moins directement du phytoplancton, pose la question des organismes commensaux des microalgues que sont les bactéries; certains tests physiologiques ne permettent pas la discrimination de ces deux groupes contrairement à ceux basés sur les caractéristiques de la photosynthèse (fluorescence), et les liens directs ou indirects entre les bactéries et les microalgues sont encore mal connus. C'est dans cette perspective d'étude des relations entre ces deux communautés que nous nous sommes engagés dans le programme AQUAE.

Le programme AQUAE : «Effet des pratiques agricoles sur la biologie des rivières, test des "facteurs de confusion"»

Une action incitative INRA/CEMAGREF, a débuté en 2000, et notre équipe a collaboré dès le début de ce programme animé par J.M. Dorioz pour étudier de quelle façon variait la structure des communautés de microalgues présentes dans les biofilms de petites rivières soumises à des gradients trophiques du fait des pratiques agricoles, et leur sensibilité à l'atrazine et au cuivre. Les résultats obtenus, en cours d'exploitation, semblent montrer qu'il n'existe pas de différence significative dans la sensibilité des communautés en fonction de leur position dans le cours de la rivière, alors que les communautés sont différentes (utilisation des indices diatomiques par exemple). Cela aurait pour conséquences de minimiser l'importance de tels facteurs de confusion, et renforcer l'hypothèse selon laquelle, dans un cours d'eau pollué par les phytosanitaires, cette pollution peut être tenue pour responsable des tolérances accrues aux toxiques observés.

Il faut donc retenir de ces travaux le fait que nous disposons d'outils efficaces pour mesurer l'impact des contaminations par les phytosanitaires sur les communautés naturelles de microalgues, et que nous avons pu grâce à eux tester l'hypothèse principale selon laquelle les communautés exposées dans leur milieu aux pollutions pouvaient révéler les effets de celles-ci, sur le plan structurel comme sur le plan fonctionnel. La mise en application sur des cas concrets, a été entreprise dans divers milieux, et les développements prévus à court et moyen termes viseront à compléter ces expérimentations afin de franchir le pas entre effets sur les communautés et impacts sur l'écosystème.

I.3 Réseaux de collaborations

Nous avons toujours cherché lors de nos travaux à nous appuyer sur un réseau fort de collaborations. C'est ainsi que sur la thématique cyanobactéries, un premier niveau de collaborations étroites peut être identifié. Il s'agit de notre relation privilégiée avec une équipe de l'IRD (UR FLAG) qui s'intéresse aux efflorescences de cyanobactéries dans les lacs peu profonds africains. La proximité de nos questionnements et la similitude des démarches et des méthodologies employées permettent des échanges fructueux entre nos équipes et une participation « croisée » à nos programmes respectifs (intégration de P. Dufour dans l'équipe, participation de chercheurs de notre équipe à des campagnes en Afrique, accueil d'un thésard brésilien en 2000-2001 et sénégalais en 2003, mise au point et construction, en Afrique, de microcosmes pour des cultures en condition contrôlées, expertise taxonomique, analyses biologiques et chimiques d'échantillons africains). De même, la relation avec l'équipe de B. Tassin à l'ENPC de Paris est en train de prendre une grande importance à travers le co-encadrement d'une thèse (L. Oberhaus) et à travers les relations étroites évoquées plus loin dans ce document au niveau de nos perspectives de recherche. Le second niveau de collaborations s'appuie sur une proximité régionale et sur la volonté délibérée de nous fédérer à cette échelle géographique. Il concerne les travaux que nous développons avec 1) l'ISARA de Lyon qui possède une bonne expérience sur les étangs piscicoles soumis fréquemment à des proliférations de cyanobactéries (ces étangs constitueront un modèle d'étude privilégié dans les travaux sur les transferts des toxines vers le poisson) et 2) l'Université de St Etienne qui travaille sur un modèle très intéressant de lac de barrage (Grangent) perturbé par les proliférations de *M. aeruginosa*. Au niveau national, nous sommes à l'origine avec Nicole Tandeau de Marsac de l'IP Paris de la création d'un GIS Cyanobactéries qui regroupe l'ensemble des équipes s'intéressant à ces organismes (22 équipes appartenant à 15 instituts de recherche différents). Nous assurons, avec cette collègue, l'animation de ce GIS auquel le Ministère de la Santé et celui de l'Ecologie et du Développement Durable ont récemment demandé la rédaction d'un programme national sur les cyanobactéries. Enfin, nos relations internationales ont déjà été évoquées à travers notre collaboration avec le laboratoire de K. Sivonen en Finlande. Des échanges avec des collègues israéliens (obtention d'un programme Arc-en-Ciel) sont actuellement en attente, en raison de la situation politique de ce pays. Nous allons cependant probablement accueillir en 2003 un étudiant post-doctorant (Programme Châteaubriand). Pour terminer, il faut également signaler que notre équipe est inscrite dans quatre pre-proposals dans le cadre du futur 6^{ème} PCRD, concernant l'écologie microbienne aquatique.

Pour la thématique Ecotoxicologie, notre premier réseau de collaborations concernent les relations que nous avons avec les autres laboratoires de l'INRA s'intéressant à cette thématique de recherche. C'est ainsi que nous avons co-encadré une thèse effectuée à Rennes et à Thonon dont la soutenance a eu lieu au printemps 2002. Nous participons d'autre part activement au groupe transversal Ecotoxicologie mis en place au niveau de notre organisme. Au niveau régional, nous avons une collaboration avec le Cemagref de Lyon dans le cadre d'un programme AQUAE qui avait pour but de favoriser les échanges entre nos organismes. Cette collaboration devrait prendre de l'importance dans les prochaines années par le biais 1) d'un programme « Pesticide » déposé conjointement par nos deux équipes et 2) d'un projet de thèse. Le but de ce rapprochement est de prendre en compte l'ensemble des communautés microbiennes benthiques dans nos travaux d'écotoxicologie (cf perspectives de recherche). Au niveau international, nous avons de bonnes relations avec nos collègues suisses de l'EPFL (Lausanne) et de l'Institut Forel (Genève) avec lesquels nous avons développé plusieurs programmes de recherche. De même, nous travaillons aussi avec l'Université de Göteborg et nous avons accueilli un post-doctorant financé par le département HYFS. Le SJFR et la DRI de l'INRA ont permis conjointement l'accueil d'un chercheur suédois, et une double mission de membres de notre équipe à l'Institut de Botanique de Göteborg. Ces échanges ont conduit à la réalisation d'expérimentations sur le PICT dont les

résultats sont en cours de publication. Enfin notre laboratoire a organisé au printemps 2002 un workshop sur deux jours qui a réuni 25 chercheurs européens s'intéressant aux problèmes d'écotoxicologie microbienne. Ce workshop s'est concrétisé par la présentation d'un pre-proposal (Micro-scoop) pour le 6^{ème} PCRD.

I.4 Actions d'expertise et de conseils

Concernant les cyanobactéries, notre laboratoire est impliqué dans diverses actions d'expertise et de conseil au niveau régional, national et européen. Au niveau régional, nous avons déjà évoqué nos actions auprès des gestionnaires du lac du Bourget mais nous participons aussi à d'autres conseils scientifiques concernant d'autres lacs de l'arc alpin. Au niveau national, nous assurons des actions d'expertise auprès de la Direction Générale de la Santé et dans plusieurs conseils scientifiques qui se sont créés suite à des problèmes de cyanobactéries (Bassin de l'Erdre en Bretagne, Lac d'Eguzon dans le Centre). Enfin au niveau européen, nous avons été invités à participer en 2001 et en 2002 à plusieurs réunions sur les problèmes causés par les cyanobactéries et sur l'eutrophisation, pour définir les mesures à prendre ainsi que les normes.

Concernant la thématique Ecotoxicologie Algale, nous avons apporté nos compétences au sein de la Structure Scientifique Mixte sur la réflexion concernant l'homologation des phytosanitaires. Nous participons activement aux débats sur :

- 1) L'aide à l'interprétation scientifique de certaines données des dossiers
- 2) La conduite des tests écotoxicologiques utilisés dans l'évaluation *a priori* des effets
- 3) La proposition de stratégies pour l'évaluation *a posteriori* des effets des composés autorisés et les modifications éventuelles des réglementations.

Ces discussions ont débuté au sein du groupe MARE, animé par Gilles Monod. Elles doivent se poursuivre par des collaborations plus formelles (projet de recherche) à partir de 2003 (implication d'une IR de la SSM dans le projet INRA/CEMAGREF ci-dessus).

I.5 Contrats de recherche et acquisition de matériel

Ces travaux ont bénéficié de nombreux contrats de recherche qui nous ont permis d'acquérir les équipements indispensables à leur réalisation et d'assurer le fonctionnement courant du laboratoire. Concernant la problématique sur les cyanobactéries, nous avons obtenu 5 contrats de recherche portant pour l'essentiel sur le modèle *P. rubescens* dans le lac du Bourget (contrat Cyanobactéries dans le lac du Bourget, MISE Savoie, 1999 ; contrat Cyanobactéries pré-études du contrat Grand Lac, Agence de l'Eau RMC/MATE, 2000-2001 ; contrat Environnement-Santé, MATE/INSERM, 2001-2002 ; contrat RITEAU, MERT/MATE, 2001-2003) mais aussi sur *C. raciborskii* (contrat Invasions biologiques, MATE, 2001-2003).

Les travaux dans le domaine de l'écotoxicologie ont eux-aussi bénéficié de plusieurs contrats de recherche (contrat Ecotoxicologie/PICT, Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 1999-2000 ; contrat AQUAE, INRA-CEMAGREF, 2001-2003 ; contrat Pesticide, MATE, 2000-2002 ; Contrat Ecotoxicologie/PICT, Structure Scientifique Mixte INRA-Ministère de l'Agriculture, 2001-2002)

Les nouvelles approches développées dans le cadre de nos thématiques ont nécessité l'acquisition de nombreux équipements dont le détail est donné en annexe.

Pour conclure ce bilan, notre équipe s'est efforcée, au cours des quatre premières années de son existence, d'initier des recherches que nous pensons pertinentes au niveau du questionnement scientifique et qui nous placent au cœur des grandes questions actuelles de l'écologie (rôle fonctionnel de la biodiversité par exemple...). Ces travaux nous permettent aussi de répondre à une demande sociale forte aussi bien pour les problèmes liés aux proliférations de cyanobactéries que pour ceux se rapportant à l'écotoxicologie. Nous avons pris garde, dans le choix et dans la mise en place de ces travaux, de veiller à nous intégrer dans la démarche générale de la station et de nous appuyer sur un réseau important de collaborations afin d'éviter un certain isolement scientifique lié à la localisation «excentrée» de la station. Depuis cette année, nous sommes désormais prêts à accueillir des étudiants en thèse, deux d'entre eux débutant cette année et deux autres devant le faire l'an prochain. Le nombre d'articles publiés dans nos deux thématiques de recherche est croissant et à titre d'exemple, nous présentons cet automne trois communications dans des congrès internationaux (Italie et USA). Depuis 1998, les chercheurs de l'équipe ont publié une quarantaine d'articles primaires dans des revues à « Impact Factor » moyen proche de 2 (une moitié de ces articles résulte de collaborations antérieures à l'arrivée des membres dans l'équipe). De nombreuses communications, synthèses et plusieurs chapitres d'ouvrage ont aussi été réalisés sur nos sujets actuels.

II. Perspectives de recherche du futur groupe « Microbiologie Aquatique »

Dans les deux thématiques abordées au sein de notre équipe, nous avons constaté la nécessité de prendre en compte l'ensemble des communautés microbiennes et non pas les seuls organismes autotrophes de grande taille. C'est pourquoi l'évolution de notre équipe concerne surtout l'élargissement de nos compétences vers le picoplancton autotrophe et les communautés hétérotrophes avec l'arrivée en 2001 dans notre équipe de S. Jacquet, l'intégration de l'équipe chambérienne du CARTEL (D. Fontvieille et I. Domaizon, Université de Savoie) et le développement de collaborations étroites avec B. Montuelle du Cemagref de Lyon. L'association de J.C. Cuber et de S. Pellissier (Laboratoire de Physiologie Animale, Université de Savoie) répond à une opportunité d'extension de nos travaux sur les effets des toxines cyanobactériennes.

II.1 Thématique cyanobactéries

Concernant cette thématique, les travaux de notre équipe pour les 4 prochaines années s'organiseront autour des trois thèmes principaux :

1.) Dynamique des populations de *P. rubescens* et déterminisme d'apparition, de maintien et de déclin des proliférations (J.F. Humbert, S. Jacquet, L. Oberhaus).

L'étude comparée de la dynamique des populations de *P. rubescens* dans le lac du Bourget et le lac Léman sera tout d'abord poursuivie. Ce travail s'inscrit, en ce qui concerne le Léman, dans les programmes de la CIPEL ce qui ne demande pas un investissement supplémentaire pour l'équipe. Pour le Bourget, ces travaux font partie du programme RITEAU (contrat MERT-MATE) qui vise *in fine* à développer un système d'alerte des cyanobactéries. L'intérêt de ce programme, outre l'aspect appliqué évoqué précédemment, est que des modélisations 1-D et 3-D de la dynamique des populations de *P. rubescens* vont être réalisées. Concernant le modèle 1-D, une collaboration très étroite s'est créée entre notre équipe et celle de B. Tassin à l'ENPC Paris. Cette collaboration va se trouver renforcée dans les prochains mois à travers la codirection d'une thèse qui débutera à la fin de cette année (financement Ecole doctorale Paris XII). L'équipe de B. Tassin possède une bonne expérience du lac du Bourget et a déjà développé un modèle 1-D sur la dynamique des communautés phytoplanctoniques et plus particulièrement sur la distribution dans la colonne d'eau de *P. rubescens*. La doctorante qui a fait son

DEA dans cette équipe mais qui travaillera pour sa thèse à Thonon, assurera l'interface entre nos deux équipes. Elle participera aux travaux de terrain et aura aussi pour tâche de mettre en oeuvre des expérimentations en laboratoire afin d'estimer les paramètres de croissance de cette cyanobactérie sous diverses conditions environnementales et en conditions de compétition pour les ressources avec d'autres espèces. Ainsi, nous pourrons « alimenter » de façon plus précise le modèle de l'ENPC. En parallèle, la SOGREAH développe actuellement un modèle 3D pour le lac du Bourget. Ce modèle va permettre d'identifier les principaux facteurs de l'environnement qui interviennent dans la distribution horizontale des cyanobactéries. C'est pourquoi nous réalisons depuis plusieurs mois un suivi bimensuel sur onze points d'échantillonnage avec une sonde spectrofluorimétrique. Ce suivi permet d'obtenir des profils verticaux de température et de distribution des principales classes « d'algues ». Il faut ajouter que le laboratoire LGE de l'Université de Paris VII (G. Sarrazin) collabore aussi à ce projet en apportant ses compétences en chimie des eaux.

*L'ambition de cette première perspective de travail est de mieux comprendre la dynamique des populations de *P. rubescens* et d'identifier les facteurs et les processus clés impliqués dans cette dynamique par la combinaison d'une approche terrain, d'expérimentations en laboratoire et enfin de travaux de modélisation. Ces recherches sont en forte interaction avec celles présentées dans le paragraphe suivant.*

2.) Diversité et dynamique de la communautés microbienne dans le lac du Bourget. Conséquences des proliférations de cyanobactéries sur la communauté bactérienne hétérotrophe et rôle de cette communauté dans le transfert ou la dégradation des toxines (S. Jacquet, D. Fontvieille, I. Domaizon, U. Dorigo, J.F. Humbert).

Nos travaux étaient centrés jusqu'à présent sur les organismes autotrophes « de grande taille » et « négligeaient » les autres communautés microbiennes de ces grands lacs sub-alpins. Or, il est nécessaire, pour comprendre le fonctionnement d'un écosystème aquatique, de s'intéresser à la base des chaînes trophiques. La boucle microbienne caractérisée par les communautés virales, bactériennes, phytoplanctoniques et protistes a fait l'objet d'un nombre limité de travaux dans nos modèles d'étude. C'est particulièrement vrai pour le picoplancton qui regroupe les organismes unicellulaires de classe de taille 0,2-3 μm et qui englobe des cellules hétérotrophes (les bactéries) et des cellules autotrophes (cyanobactéries et micro-algues appelées communément picoeucaryotes). Son rôle est pourtant significatif dans la minéralisation et la production de la matière organique. De même, la prédation et le parasitisme dans les communautés cyanobactériennes sont encore mal évalués. Enfin, les bactéries hétérotrophes jouent certainement un rôle dans la disponibilité et la dégradation des cyanotoxines dans l'eau. Pour toutes ces raisons, il nous a semblé indispensable de réunir nos compétences à celles de l'équipe de D. Fontvieille à Chambéry et ainsi de proposer, dans le cadre du renouvellement de l'UMR, la formation d'un groupe Microbiologie Aquatique. Ce groupe aura donc pour ambition de s'intéresser à l'ensemble du compartiment microbien (des virus au zooplancton...). L'arrivée en 2001 de S. Jacquet dans l'équipe avait déjà permis de renforcer nos compétences dans le domaine microbien et sa maîtrise de la cytométrie en flux nous a ouvert de nouvelles possibilités analytiques.

Dans un premier temps, nous allons donc concentrer nos travaux sur :

- *La diversité et la dynamique du picoplancton autotrophe dans les trois grands lacs alpins (Bourget, Léman, Annecy).* Un premier DEA effectué à Chambéry a permis

d'initier ces travaux qui impliquent principalement S. Jacquet, I. Domaizon et D. Fontvieille. Le co-encadrement d'un second DEA est prévu pour l'an prochain ainsi que l'accueil d'un post-doctorant israélien (bourse encore non confirmée) ayant une forte expérience sur ces modèles d'étude. De plus, nous désirons développer de nouvelles collaborations avec les autres équipes françaises s'intéressant à ces organismes (par exemple C. Amblard...).

- *La diversité et la dynamique des communautés bactériennes hétérotrophes.* Une approche comparée vient d'être initiée sur les trois lacs (thèse d'U. Dorigo). Dans le lac du Bourget, nous nous intéresserons particulièrement aux relations entre la dynamique et la diversité de ces communautés bactériennes, et la dynamique de *P. rubescens*. Le rôle des bactéries hétérotrophes dans la dégradation des toxines cyanobactériennes sera notamment étudié.

- *La prédation de P. rubescens par le zooplancton.* Le rôle de la prédation sur la dynamique des populations cyanobactériennes sera abordé par des suivis sur le terrain mais aussi des approches en laboratoire. Une étudiante en DEA (Laure Vincent ; encadrement J.F. Humbert) poursuivra en 2003 les travaux qui sont actuellement initiés par C. Avois-Jacquet (post-doctorante en CDD pour 3 mois). Si des prédateurs sont identifiés, une recherche sera effectuée sur leur rôle éventuel dans le transfert des toxines de cyanobactéries chez le poisson (cf paragraphe suivant). La prédation par le zooplancton sera également abordée à travers un doctorat en cotutelle avec l'Université de Milan (E. Forasacco, directeur D. Fontvieille) sur le thème de la sélection, chez un cladocère, de différents écotypes (définis sur la morphologie de l'appareil de filtration) en réponse à des contraintes environnementales variées.

L'ambition de cette seconde perspective de travail est tout d'abord de décrire la diversité spatio-temporelle des communautés microbiennes dans les grands lacs alpins et de mieux identifier les interactions existant entre ces communautés ainsi que leur rôle fonctionnel dans les écosystèmes lacustres.

3.) Toxicité des cyanobactéries (J.F Humbert, S. Jacquet, J.C. Cuber, S. Pélissier).

Les cyanobactéries constituant un point central dans nos recherches, leur toxicité doit donc être nécessairement prise en compte. En effet, ces métabolites jouent peut-être un rôle de défense contre les prédateurs et elles constituent un risque sanitaire, en cas de proliférations des cyanobactéries, pour les populations riveraines utilisant le lac comme source d'eau de boisson. Les questions par rapport à ces deux aspects sont nombreux. Concernant le premier, nous avons initié des travaux sur la dynamique de production des toxines et sur l'influence des facteurs environnementaux sur cette production. Jusqu'ici seuls les nutriments ont été pris en compte mais nous développerons prochainement des co-cultures cyanobactéries/zooplancton afin de rechercher si la présence du zooplancton stimule la production de toxines.

Concernant le risque sanitaire pour l'homme et les animaux, nous sommes co-responsables avec l'AFSSA d'un projet (déposé dans le cadre de l'appel d'offre Environnement et Santé 2002) qui comporte deux volets complémentaires de recherche : le premier dans lequel nous intervenons très directement, s'intéresse au transfert des toxines dans les réseaux trophiques (point déjà évoqué ci-dessus) alors que le second concerne la métabolisation de ces toxines chez le poisson et leur impact sur l'épithélium intestinal des mammifères. Cette seconde partie sera développée sous la responsabilité de J.C. Cuber (récemment arrivé comme professeur à l'Université de Chambéry) et de S. Pelissier (MCU). L'ingestion de cyanobactéries provoque en effet, au niveau de la sphère digestive des troubles graves tels que gastroentérite et diarrhée sévère. Les mécanismes moléculaires de ces pathologies de type

inflammatoire sont totalement inconnus et parmi les nombreuses questions pouvant être abordées, celles qui nous paraissent prioritaires sont les suivantes :

- Quels sont les effets des cyanotoxines de la famille des hépatotoxines (microcystines) sur la paroi intestinale ? S'agit-il d'un effet direct de cette classe de peptides sur les cellules épithéliales (cellules absorbantes, cellules à mucus, cellules endocrines ?) ou indirect impliquant le système nerveux intrinsèque ou le système immunitaire ou encore la musculature lisse ?
- Les microcystines agissent-elles en mettant en jeu des récepteurs ou des transporteurs localisés dans la bordure en brosse ?
- Quelles sont les fonctions cellulaires ciblées par ces peptides (molécules impliquées dans la protection de la muqueuse, sécrétion d'eau et d'électrolytes, production de cytokines et chemokines impliquées dans le processus inflammatoire ?). Cette première étape devrait conduire à l'identification de gènes dont la transcription est spécifiquement altérée en présence de microcystines.
- Existe-t-il des différences (effets et doses) entre les principales microcystines décrites ? Cette étude exhaustive de la relation structure/activité pourrait conduire à la mise au point d'antagonistes pseudo-peptidiques utilisables dans les formes graves de gastroentérite.

Une étude détaillée des doses minimales provoquant des états microinflammatoires pourrait aboutir à des recommandations plus strictes. Par ailleurs, compte tenu de notre expertise dans le domaine de la mesure des peptides bioactifs dans les milieux biologiques, nous nous proposons à travers la mise au point de techniques de mesure quantitative par voie radioimmunologique de ces toxines bactériennes de contribuer à la mise en place d'un Laboratoire de Contrôle de la Qualité des Eaux des Grands Lacs. Pour réaliser ces travaux, l'équipe de Thonon dispose de nombreuses souches en culture productrices de cytotoxines ainsi que des outils et des compétences pour la caractérisation et l'isolement de ces toxines. De façon complémentaire, l'équipe de Chambéry possède des modèles *in vivo* (animal entier), *ex-vivo* (intestin isolé vascularisé de rat), *in vitro* (cellules tumorales en culture de phénotype entérocytaire ou de cellule à mucus, bien différenciées) pour aborder des aspects de physiologie très intégrée (motricité digestive, flux d'eau et d'électrolytes...) et des questions de biologie cellulaire et moléculaire (expression de cytokines, chemokines et peptides protecteurs de l'épithélium digestif). Le développement de recherches plus « pointues » sur les cyanotoxines et leurs effets nous permettrait de construire une structure unique en France et en Europe possédant un champ de compétences sur les cyanobactéries s'étendant de leur caractérisation génétique à des aspects très pointus de leur toxicité en passant par leur écologie.

L'ambition de cette troisième perspective de recherche est donc de tenter d'appréhender la toxicité de ces organismes dans son ensemble et donc à des niveaux structurel et/ou fonctionnel très différents : rôle « écologique » des toxines, transfert et métabolisation des toxines dans les réseaux trophiques, et enfin toxicité chez les mammifères.

II.2 Thématique Ecotoxicologie

Concernant cette thématique, nos principales perspectives concerneront au niveau des modèles, la prise en compte de l'ensemble des communautés autotrophes et hétérotrophes et au niveau des questions, une meilleure appréhension des effets de la diversité initiale des communautés sur leur réponse à des flux et des intensités variables de contaminants, et de la capacité des espèces à acquérir une résistance à ces contaminants.

L'approche comparée des effets des phytosanitaires sur les communautés microalgales et bactériennes va se développer dans les années à venir à travers les collaborations déjà entreprises (Cemagref notamment) et à travers l'élargissement de l'UMR. C'est ainsi que nous avons déposé un projet (INRA-Cemagref-SSM) dans le cadre de l'appel d'offre Pesticide (MEDE) ainsi qu'une demande de bourse de thèse cofinancée INRA-Cemagref. Le modèle d'étude est une rivière présentant successivement et sur une échelle assez courte, une zone naturelle, une zone agricole et une zone urbaine. Notre ambition est d'évaluer la diversité des communautés microbiennes à des échelles très fines au sein de chacune de ces zones. Des marqueurs de fonctionnement seront aussi estimés et l'ensemble de ces données devrait permettre avec les suivis physico-chimiques effectués en parallèle (qui nous donneront l'information sur les flux de contaminants et leur intensité), de détecter les effets éventuels des contaminants sur la structure et le fonctionnement des communautés microbiennes. Un DEA portant sur la distribution dans les biofilms des bactéries indicatrices de pollution fécale a été soutenue cette année. La comparaison des résultats obtenus sur les communautés autotrophes et hétérotrophes sera aussi intéressante en terme de recherche de biomarqueurs permettant l'évaluation de l'état « écologique » d'un site.

Par ailleurs, une collaboration avec la Faculté de Pharmacie de Montpellier et la Station Biologique de la Tour du Valat va nous permettre de travailler sur les écosystèmes relativement fermés que sont les rizières (stage de fin d'année ISIM ou DEA en février 2003). Ceux-ci ont un fonctionnement comparable à celui des mésocosmes aquatiques utilisés dans l'évaluation du risque écotoxicologique: phases d'assèchement, mise en eau, application de pesticides, incubation pendant plusieurs semaines. La disponibilité de parcelles exploitées en agriculture biologique devrait fournir les témoins nécessaires, et les contacts établis devraient faciliter le travail à distance (qui n'a pas posé de problème majeur lors des études pour l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, ou lors des travaux de thèse de Florence Seguin).

Au niveau d'un questionnement plus fondamental, nous désirons tout d'abord vérifier sur des systèmes expérimentaux diverses hypothèses issues de nos travaux et de la lecture de la bibliographie. De façon simpliste, le schéma « pollution par un contaminant = diminution de la diversité = fonctionnement perturbé de l'écosystème » est communément évoqué. Or, en fonction de l'intensité et de la fréquence des flux de contaminants, un maintien voire une augmentation de la diversité dans les communautés pourrait être attendue si l'on se réfère par exemple à l'hypothèse « d'Intermediate disturbance » pour expliquer l'incroyable diversité des communautés microbiennes aquatiques. De même, un changement dans la composition d'une communauté, voire une diminution de la diversité, n'a pas forcément un impact sur leur fonctionnement si l'on se réfère aux travaux qui soulignent par exemple la redondance fonctionnelle de certaines espèces dans des communautés très diversifiées. Ainsi, nous désirons créer des systèmes expérimentaux plus ou moins diversifiés du point de vue de leurs communautés microbiennes et soumettre ces canaux à des flux de contaminants d'intensité et de fréquence variable pour tester ces diverses hypothèses.

Une autre question fondamentale suscitant notre intérêt se rapporte à l'évaluation *in vitro* des effets de contaminations sub-létales par un herbicide sur diverses souches d'une espèce modèle (*Chlorella* sp.). Ces souches auront des origines différentes, et nous procéderons à la comparaison de différents traits de vie (taux de croissance, biomasse maximale atteinte dans milieu, tolérance plusieurs toxiques à modes d'action différents...) avant et après sélection par l'herbicide. Ces expérimentations devraient par exemple permettre de tester l'hypothèse d'une augmentation du taux de mutation sous l'effet d'un stress, déjà décrite chez les eubactéries et l'algue *Chlamydomonas*. Cette hypothèse est importante dans le cadre du PICT, et sa démonstration expérimentale représenterait une avancée majeure. Les résultats de ce type d'expérience permettraient de renforcer les hypothèses sous jacentes à la notion de restauration, en évaluant sur

un plan qualitatif et quantitatif les effets réels des contaminations à faible dose sur la diversité intra-spécifique des communautés de microalgues naturelles. Il serait alors possible d'estimer les effets et leur réversibilité éventuelle, mais il restera encore de nombreux paramètres à évaluer (notamment les re-colonisation de milieux ayant subi des contaminations ponctuelles). Cette notion de restauration prend actuellement de plus en plus d'importance dans les critères d'évaluation du risque, surtout en ce qui concerne l'usage des mésocosmes. Dans ce cadre, l'utilisation de notre équipement de cytométrie en flux constituera un réel avantage pour l'analyse détaillée de l'évolution de paramètres cellulaires en réponse aux toxiques et de leurs conséquences à l'échelle de la population.

L'association avec nos collègues de l'Université de Chambéry va donc permettre de prendre en compte dans nos travaux, l'ensemble des communautés microbiennes des écosystèmes aquatiques que nous étudions. Cette association nous donne aussi accès à des activités d'enseignement indispensables au bon développement de notre équipe à travers une ouverture supplémentaire vers l'extérieur. C'est dans ce but que nous nous impliquons fortement dans le projet de création d'un Master sur les hydrosystèmes de montagne à l'Université de Chambéry dans lequel nous serons responsables de plusieurs modules d'enseignement. De même, nous participons à l'animation de l'EDUS (Ecole Doctorale de l'Université de Savoie) avec, par exemple, l'animation en 2003 d'une journée de conférences sur la biodiversité.

Pour renforcer la thématique Ecotoxicologie au sein de notre groupe et ainsi contribuer à maintenir un équilibre entre nos deux activités principales de recherche, nous avons obtenu l'ouverture, au concours 2003, d'un poste de CR en Ecotoxicologie pour le remplacement d'A. Bérard. Il conviendra également dans un proche avenir, de renforcer l'UMR sur le zooplancton afin de favoriser les interfaces entre notre groupe et celui des ichtyologues au moment où les départs à la retraite de G. Balvay et N. Angeli sont d'ores et déjà programmés. De même, le départ à la retraite de J.C. Druart dans quelques années devra être anticipé si l'on veut garder au sein de l'UMR, une compétence sur la systématique des microalgues. Il faut avoir conscience que J.C. Druart est l'un des derniers spécialistes capables d'identifier, au niveau de l'espèce, ces algues en France.

*Organigramme de la future équipe « Microbiologie Aquatique » proposée
dans le cadre de l'élargissement de l'UMR*

Equipe Microbiologie Aquatique

Animateur : J.F. Humbert

Thématique

Microbiologie lacustre / cyanobactéries

(Resp. J.F. Humbert / D. Fontvieille)

*Ecologie des cyanobactéries,
relations avec la
boucle microbienne*

I. Domaizon (MCU)
P. Dufour (IRD, DR, HDR)
D. Fontvieille (PR, HDR)
J.F. Humbert (DR, HDR)
S. Jacquet (CR)
C. Leboulanger *proparte* (CR)
U. Dorigo (doctorante)
E. Forasacco (doctorante)
L. Oberhaus (doctorante,
co-tutelle ENPC)
1 thésard(e) débutant en 2003

*Impact toxique des
Cyanobactéries*

J.C. Cuber (PR, HDR)
S. Pelissier (MCU)

Thématique

Ecotoxicologie Microbienne

(Resp. C. Leboulanger)

*Impact des pesticides sur la
structure et le fonctionnement
des communautés microbiennes*

C. Leboulanger (CR, HDR en prépa)
1 CR recruté en 2003
J.F. Humbert *proparte* (DR)
1 doctorant(e) débutant en 2003
(co-tutelle CEMAGREF)

Ingénieurs

J.C. Druart (IE, Taxonomie)
B. Le Berre (AI, Biologie moléculaire)

Techniciens

E. Menthon (TR, Cultures *in vitro*)
JP Bosse (T.R., Biochimie)

+ équipe prélèvements de l'UMR

Il faut d'autre part rappeler que deux doctorats dirigés par D. Fontvieille seront soutenus début 2003 :

S. Viboud : les matières organiques facteurs de contrôle de développement des populations bactériennes de la zone pélagique des lacs

A. Bec : Utilisation des marqueurs lipidiques pour la traçage des flux de carbone au sein des chaînes trophiques.

Bibliographie (1999-2002) de l'équipe citée dans le texte

1. **HUMBERT J.F.**, LE BERRE B., 2001. Genetic diversity among two freshwater cyanobacteria species, *Planktothrix (Oscillatoria) rubescens* and *P. agardhii*. *Archiv für Hydrobiologie* 2, 197-206.
2. **GUGGER M.**, LYRA C., SUOMINEN I., TSITKO I., **HUMBERT J.F.**, SALKINOJA-SALONEN M., SIVONEN K., 2002. Cellular fatty acids as chemotaxonomic markers of the genera *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Nostoc* and *Planktothrix* (cyanobacteria). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 52, 1007-1015.
3. **GUGGER M.**, LYRA C., HENRIKSEN P., COUTE A., **HUMBERT J.F.**, SIVONEN K., 2002. Phylogenetic comparison of the genera *Anabaena* and *Aphanizomenon*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 52, 1867-1880.
4. **HUMBERT J.F.**, LATOUR-DURIS D., **LE BERRE B.**, SALENCON M.J. Lack of genetic differentiation in benthic and pelagic sub-populations of *Microcystis aeruginosa* in a French storage reservoir. Soumis à *FEMS Microbial Ecology*.
5. **BRIAND J.F.**, ROBILLOT C., QUIBLIER-LLOBERAS C., **HUMBERT J.F.**, COUTE A., BERNARD C., 2002. Environmental context of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) blooms in a shallow pond in France. *Water Research* 36, 3183-3192.
6. **LEBOULANGER C.**, DORIGO U., JACQUET S., **LE BERRE B.**, PAOLINI G., **HUMBERT J.F.**, 2002. Use of a submersible spectrofluorometer (FluoroProbe) for the survey of a toxic cyanobacteria, *Planktothrix rubescens*, in a large alpine lake. Sous presse dans *Aquatic Microbial Ecology*.
7. **HUMBERT J.F.** 2001. Méthodologies pour la mise en place d'un plan de surveillance des cyanobactéries dans le lac du Bourget. Rapport de fin d'étude, 33 p.
8. **HUMBERT J.F.**, PAOLINI G., LE BERRE B., 2001. Monitoring a cyanobacterial bloom and its consequences for water quality. In Harmful Algal Bloom 2000, Hallegraeff, G., et al. (Eds), *Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO 2001*, 496-499.
9. **DORIGO U.**, **LEBOULANGER C.**, 2001. A pulse-amplitude modulated fluorescence-based method for assessing the effects of photosystem II herbicides on freshwater periphyton. *Journal for Applied Phycology* 13, 509-515.
10. **DORIGO U.**, **BERARD A.**, **HUMBERT J.F.**, 2002. Comparison of eukaryotic community composition in a polluted river by partial 18S rRNA gene cloning and sequencing. Sous presse dans *Microbial Ecology*.
11. **SEGUIN F.**, **LE BIHAN F.**, **LEBOULANGER C.**, **BERARD A.**, 2002. A risk assessment of pollution induction of atrazine tolerance in phytoplankton communities in freshwater outdoor mesocosms, using chlorophyll fluorescence as an endpoint. *Water Research* 36, 3239-3248.
12. **BERARD A.**, **PELTE T.**, **DRUART J.C.**, 1999. Seasonal variations in the sensitivity of lake Geneva phytoplankton community structure to atrazine. *Archiv für Hydrobiologie* 145, 277-299.
13. **BERARD A.**, **LEBOULANGER C.**, **PELTE T.**, 1999. Seasonal and temperature dependence of *Oscillatoria limnetica* Lemmermann tolerance to atrazine among natural phytoplankton populations and in pure cultures. *Archive of Environmental Contamination and Toxicology* 37, 472-479.
14. **BERARD A.**, BENNINGHOFF C., 2001. Pollution-induced community tolerance (PICT) and seasonal variations in the sensitivity of phytoplankton to atrazine in nanocosms. *Chemosphere* 45, 427-437.
15. **SEGUIN F.**, **LEBOULANGER C.**, **RIMET F.**, **DRUART J.-C.**, **BERARD A.**, 2001. Effects of atrazine and nicosulfuron on phytoplankton in systems of increasing complexity. *Archive of Environmental Contamination and Toxicology* 40, 198-208.
16. **NYSTRÖM B.A.**, BECKER VAN SLOOTEN K., **BÉRARD A.**, GRANDJEAN D., **DRUART J.-C.**, **LEBOULANGER C.**, 2002. Toxic effects of Irgarol 1051 on phytoplankton and macrophytes in Lake Geneva. *Water Research* 36, 2020-2028.
17. **LEBOULANGER C.**, **RIMET F.**, **HEME DE LA COTE M.**, **BERARD A.**, 2001. Effects of atrazine and nicosulfuron on freshwater microalgae. *Environment International* 26, 130-135.

Principaux équipements acquis depuis la formation de l'équipe en 1998

- Biologie moléculaire :
 - Speed-vac, centrifugeuses, spectrophotomètre...
 - 2 appareils à PCR, 3 générateurs/cuves à électrophorèse, 1 système de DGGE
 - Séquenceur automatique ABI 373
 - Congélateur – 80 °C & conservateur à azote liquide
 - Système numérique pour saisie de gels + soft d'analyse
- Biochimie :
 - Lecteur de microplaques

- Fluorimètre (Turner)
- Détecteur UV à barrette de diodes pour HPLC (Waters)
- Détecteur de fluorescence pour HPLC (Waters)
- Cytomètre en flux / trieur de cellules FACSCALIBUR
- Compteur à scintillation liquide (Packard)
- Sonde spectrofluorimétrique immergeable (BBE Moldaenke)
- 2 systèmes de mesure de lumière LI-COR
- Hottes à flux laminaire
- Microscope inversé + caméra + informatique
- Caméra numérique + soft pour microscope à épifluorescence (Leica)

PUBLICATIONS/COMMUNICATIONS EQUIPE DECOP 1998-2002

1. Publications scientifiques dans revues indexées :

1. BART-DELABESSE E., **HUMBERT J.F.**, DELABESSE E., BRETAGNE S., 1998. Microsatellites markers for typing *Aspergillus fumigatus* isolates. *Journal of Clinical Microbiology* 36, 2413-2418. (Impact Factor = 3.5)
2. **BERARD A.**, **PELTE T.**, **MENTHON E.**, **DRUART J.C.**, BOURRAIN X., 1998. Caractérisation du phytoplancton de deux systèmes limniques vis à vis d'un herbicide inhibiteur de la photosynthèse. La méthode PICT (Pollution-induced Community Tolerance) : application et signification. *Annales de Limnologie* 34, 269-282. (IF = 0.43)
3. FOURNIER D., **DRUART J.C.**, ECTOR L., COSTE M., 1998 – Intégration de l'Indice Biologique Diatomée I.B.D. dans les réseaux de mesures de qualité en Rhône-Méditerranée-Corse : Appréciation de sa variabilité saisonnière en Rhône-Alpes par rapport à l'Indice de polluosensibilité Spécifique I.P.S. *Cryptogamie, Algol.*, 20 (2) : 136-137. (IF = 0.58)
4. ELARD L., SAUVE C., **HUMBERT J.F.**, 1998. Fitness of benzimidazole-resistant and -susceptible worms of *Teladorsagia circumcincta*, a nematode parasite of small ruminant. *Parasitology* 117, 571-578. (IF = 1.95)
5. GONZALEZ J.M., TORRETON J.-P., **DUFOUR P.**, CHARPY L., 1998. Temporal and spatial dynamics of the pelagic microbial food web in an atoll lagoon. *Aquatic Microbial Ecology*, 16 : 53-64 (IF = 2.19).
6. **LEBOULANGER C.**, MARTIN-JEZEQUEL V., DESCOLAS-GROS A., JUPIN H.J., 1998. Photorespiration in continuous culture of *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyta) : relationships between serine, glycine, and extracellular glycolate. *Journal of Phycology* 34, 651-654. (IF = 1.77)
7. **LEBOULANGER C.**, SERVE L., COMELLAS L., JUPIN H., 1998. Determination of glycolic acid released from marine phytoplankton by post-derivatization gas chromatography-mass spectrometry. *Phytochemical Analysis* 9, 5-9. (IF = 1.21)
8. **BERARD A.**, **PELTE T.**, **DRUART J.C.**, 1999. Seasonal variations in the sensitivity of lake Geneva phytoplankton community structure to atrazine. *Archiv für Hydrobiologie* 145, 277-299. (IF = 1.07)
9. **BERARD A.**, **LEBOULANGER C.**, **PELTE T.**, 1999. Seasonal and temperature dependence of *Oscillatoria limnetica* Lemmermann tolerance to atrazine among natural phytoplankton populations and in pure cultures. *Archive of Environmental Contamination and Toxicology* 37, 472-479 (IF = 1.44)
10. **DUFOUR P.**, BERLAND B., 1999. Nutrient control of phytoplanktonic biomass in atoll lagoons and Pacific ocean waters: studies with factorial enrichment bioassays. *J Exp. Mar. Biol. Ecol.* 234 : 147-166 (IF = 1.47)
11. **DUFOUR P.**, CHARPY L., BONNET S., GARCIA N., 1999. Phytoplankton nutrient control in surface oceanic water of the Tuamotu archipelago (south Pacific sub tropical gyre). *Marine Ecology Progress Series*, 179 :285-290 (IF = 1.90)
12. ELARD L., **HUMBERT J.F.**, 1999. Importance of the mutation of amino acid 200 of the isotype 1 α -tubulin gene in the benzimidazole resistance of the small-ruminant parasite *Teladorsagia circumcincta*. *Parasitology Research* 85, 452-456. (IF = 1.02)
13. ELARD L., CABARET J., **HUMBERT J.F.**, 1999. PCR diagnosis of benzimidazole-susceptibility or -resistance in natural populations of the small ruminant parasite, *Teladorsagia circumcincta*. *Veterinary Parasitology* 80, 231-237. (IF = 1.3)
14. RABOUAM C., COMES A.M., BRETAGNOLLE V., **HUMBERT J.F.**, PERIQUET G., BIGOT Y., 1999. Features of DNA fragments obtained by random amplified polymorphic DNA (RAPD) assays. *Molecular Ecology* 8, 493-505. (IF = 2.48)

15. ANDREFOUËT S., CLAEREBOUDT M., MATSAKIS P., PAGES J., **DUFOUR P.**, 2001. Typology of atolls by remote sensing in Tuamotu archipelago (French Polynesia) at landscape scale using SPOT-HRV images. *Int. J. Remote Sensing*, 22 : 987-1004 (IF = 0.83)
16. **ANNEVILLE O.**, **PELLETIER J.-P.**, 2000. Recovery of lake Geneva from eutrophication : quantitative response of phytoplankton. *Archiv für Hydrobiologie* 148, 604-624. (IF = 1.07)
17. SILVESTRE A., **HUMBERT J.F.**, 2000. Species identification and benzimidazole-resistance diagnosis in larval communities of small ruminant parasites. *Experimental Parasitology* 95, 271-276. (IF = 1.66)
18. **BERARD A.**, BENNINGHOFF C., 2001. Pollution-induced community tolerance (PICT) and seasonal variations in the sensitivity of phytoplankton to atrazine in nanocosms. *Chemosphere* 45, 427-437. (IF = 1.03)
19. **DORIGO U.**, **LEBOULANGER C.**, 2001. A pulse-amplitude modulated fluorescence-based method for assessing the effects of photosystem II herbicides on freshwater periphyton. *Journal for Applied Phycology* 13, 509-515. (IF = 0.63)
20. **DUFOUR P.**, ANDRÉFOUËT S., CHARPY L., GARCIA N., 2001. Atolls morphometry controls nutrient regime in their lagoons. *Limnology and Oceanography*, 46 (2): 456-461 (IF = 2.99)
21. FRUGET J.F., CENTOFANTI M., DESSAIX J.M., OLIVIER J.M., **DRUART J.C.**, MARTINEZ P.J., 2001. Temporal and spatial dynamics in large rivers : example of a long-term monitoring of the middle Rhône River. *Annales de Limnologie* 37, 237-251. (IF = 0.43)
22. **HUMBERT J.F.**, CABARET J., ELARD L., LEIGNEL V., SILVESTRE A., 2001. Molecular approaches to studying benzimidazole resistance in trichostrongylid nematodes, parasite of small ruminants. *Veterinary Parasitology*, 101, 405-414. (IF = 1.3)
23. **HUMBERT J.F.**, **LE BERRE B.**, 2001. Genetic diversity among two freshwater cyanobacteria species, *Planktothrix (Oscillatoria) rubescens* and *P. agardhii*. *Archiv für Hydrobiologie* 2, 197-206. (IF = 1.19)
24. **LEBOULANGER C.**, **RIMET F.**, **HEME DE LA COTE M.**, **BERARD A.**, 2001. Effects of atrazine and nicosulfuron on freshwater microalgae. *Environment International* 26, 130-135. (IF = 0.53)
25. LEIGNEL V., **HUMBERT J.F.**, 2001. Mitochondrial DNA variation in benzimidazole-resistant or -susceptible populations of the small ruminants parasite, *Teladorsagia circumcincta*. *Journal of Heredity* 92, 503-506. (IF = 1.51)
26. **SEGUIN F.**, **LEBOULANGER C.**, **RIMET F.**, **DRUART J.-C.**, **BERARD A.**, 2001. Effects of atrazine and nicosulfuron on phytoplankton in systems of increasing complexity. *Archiv of Environmental Contamination and Toxicology* 40, 198-208. (IF = 1.44)
27. SILVESTRE A., CABARET J., **HUMBERT J.F.**, 2001. Effect of benzimidazole under-dosing on the resistant allele frequency in *Teladorsagia circumcincta* (Nematoda). *Parasitology* 123, 103-111. (IF = 1.95)
28. **ANNEVILLE O.**, GINOT V., **DRUART J.C.**, ANGELI N., 2002. Long-term study (1974-1998) of seasonal changes in the phytoplankton in Lake Geneva: a multi-table approach. *Journal of Plankton Research* 24, 993-1008. (IF = 1.26)
29. **BERARD A.**, **DORIGO U.**, **HUMBERT J.F.**, **LEBOULANGER C.**, **SEGUIN F.**, 2002. La méthode PICT (Pollution-Induced Community Tolerance) appliquée aux communautés algales. Intérêt comme outil de diagnose et d'évaluation du risque écotoxicologique en milieu aquatique". *Annales de Limnologie*, 38, 247-261. (IF = 0.43)
30. **BRIAND J.F.**, ROBILLOT C., QUIBLIER-LLOBERAS C., **HUMBERT J.F.**, COUTE A., BERNARD C., 2002. Environmental context of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) blooms in a shallow pond in France. *Water Research* 36, 3183-3192. (IF = 1.29)
31. **GUGGER M.**, LYRA C., SUOMINEN I., TSITKO I., **HUMBERT J.F.**, SALKINOJA-SALONEN M., SIVONEN K., 2002. Cellular fatty acids as chemotaxonomic markers of the genera *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Nostoc* and *Planktothrix* (cyanobacteria). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 52, 1007-1015 (IF = 3.02)
32. **GUGGER M.**, LYRA C., HENRIKSEN P., COUTE A., **HUMBERT J.F.**, SIVONEN K., 2002. Phylogenetic comparison of the genera *Anabaena* and *Aphanizomenon*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 52, 1867-1880.(IF = 3.02)
33. **JACQUET S.**, HAVSKUM H., THINGSTAD F.T., VAULOT D., 2002. Effect of inorganic and organic nutrient addition on a coastal microbial community (Isefjord, Denmark). *Marine Ecology Progress Series* 228, 3-14. (IF = 1.93)
34. **JACQUET S.**, HELDAL M., IGLESIAS-RODRIGUEZ D., LARSEN F.T., WILSON W., BRATBAK G., 2002. Flow cytometric analysis of an *Emiliana huxleyi* bloom terminated by viral infection. *Aquatic Microbial Ecology* 27, 111-124. (IF = 2.19)
35. **JACQUET S.**, PRIEUR L., AVOIS-JACQUET C., LENNON J.-F., VAULOT D., 2002. Short-time-scale variability of picophytoplankton abundance and cellular parameters in surface waters of the Alboran Sea (W Mediterranean Sea). Sous presse dans *Journal of Plankton Research*. (IF = 1.08)
36. LEIGNEL V., CABARET J., **HUMBERT J.F.**, 2002. New molecular evidence for the existence of a *Teladorsagia* species complex. *Journal of Parasitology* 88, 135-140. (IF = 1.52)
37. **NYSTRÖM B.A.**, BECKER VAN SLOOTEN K., **BERARD A.**, GRANDJEAN D., **DRUART J.-C.**, **LEBOULANGER C.**, 2002. Toxic effects of Irgarol 1051 on phytoplankton and macrophytes in Lake Geneva. *Water Research* 36, 2020-2028. (IF = 1.29)

38. **SEGUIN F., LE BIHAN F., LÉBOULANGER C., BERARD A.**, 2002. A risk assessment of pollution induction of atrazine tolerance in phytoplankton communities in freshwater outdoor mesocosms, using chlorophyll fluorescence as an endpoint. *Water Research* 36, 3239-3248. (IF = 1.29)
39. SILVESTRE A., **HUMBERT J.F.**, 2002. Diversity of the benzimidazole resistance alleles in populations of small ruminant parasites. *International Journal for Parasitology* 32, 921-928. (IF = 2.81)
40. SILVESTRE A., LEIGNEL V., BERRAG B., **HUMBERT J.F.**, CHARTIER C., CABARET J., 2002. The selection of resistance to anthelmintics in nematodes of sheep and goats: pro and cons among breeding management factors. *Veterinary Research* 33, 465-481. (IF = 1.66)
41. **DORIGO U., BERARD A., HUMBERT J.F.**, 2002. Comparison of eukaryotic community composition in a polluted river by partial 18S rRNA gene cloning and sequencing. Sous presse dans *Microbial Ecology*. (IF = 2.9)
42. **ANNEVILLE O., SOUISSI S., IBANEZ F., GINOT V., DRUART J.C., ANGELI, N.**, 2002. Temporal mapping of phytoplankton assemblages in Lake Geneva : Annual and interannual changes in their patterns of succession. Sous presse dans *Limnology and Oceanography*. (IF = 3.1)
43. **LÉBOULANGER C., DORIGO U., JACQUET S., LE BERRE B., PAOLINI G., HUMBERT J.F.**, 2002. Use of a submersible spectrofluorometer (FluoroProbe) for the survey of a toxic cyanobacteria, *Planktothrix rubescens*, in a large alpine lake. Sous presse dans *Aquatic Microbial Ecology*. (IF = 2.4)
44. **DRUART J.C., BRIAND J.F.**, 2002. First occurrence of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju (Cyanobacteria) in a lotic system in France. Sous presse dans *Annales de Limnologie*. (IF = 0.43)
45. **BRIAND J.F., JACQUET S., BERNARD C., HUMBERT J.F.** Sanitary risks associated to cyanobacterial proliferations in surface freshwater ecosystems. Soumis à *Veterinary Research*.
46. HAVSKUM H., THINGSTAD F.T., ZWEIFEL U. L., SCHAREK R., PEREZ M., **JACQUET S.**, BERDALET E., SALA M.M., PETERS F., DOLAN J. R., MARASSÉ C., RASSOULZADEGAN F., HAGSTROM A., VAULOT D. Silicate interferes negatively with bacterial ability to consume labile DOC. En revision pour *Limnology and Oceanography*.
47. **JACQUET S., BRATBAK G.** Effects of UV radiation on marine virus-phytoplankton interactions. En révision pour *Microbial Ecology*.
48. MULLER, F., **JACQUET S.**, W. H. WILSON. Influence of major nutrients on the behavior of Cu, Zn and Mn during a marine mesocosm experiment. En revision pour *Limnology and Oceanography*.
49. EVANS C., ARCHER D., **JACQUET S.**, WILSON W.H. Viral lysis and microzooplankton grazing contribute to the decline of a *Micromonas* spp. population. Soumis dans *Aquatic Microbial Ecology*.
50. **HUMBERT J.F., LATOUR-DURIS D., LE BERRE B., SALENCON M.J.** Lack of genetic differentiation in benthic and pelagic sub-populations of *Microcystis aeruginosa* in a French storage reservoir. Soumis à *FEMS Microbial Ecology*.
51. **BERARD A., DORIGO U., MERCIER I., BECKEN-VAN SLOOTEN K., GRANDJEAN D., LÉBOULANGER C.** Compared ecotoxicological impact of the two triazines Irgarol 1051 and atrazine to microalgal communities of Lake Geneva. Soumis à *Chemosphere*.

2. Publications scientifiques dans revues non indexées :

1. **DRUART J.C., PELLETIER J.P.**, 1998. Variation de l'état trophique du lac d'Annecy (Haute savoie, France) d'après l'analyse des diatomées et des pigments algaux dans quelques carottages. *Archs Sci. Genève*, 51(3) : 325-333
2. CIESCINSKI J., CIECHALSKI J., **DRUART J.C.**, FILBRANDT-CZAJA, A., 2000. Premiers résultats paléocéologiques de trois lacs de la région du Parc National «Bory Tucholskie» (Pologne). *Syst. Geog. Pl.* 70 : 433-437.
3. **DUFOUR P.**, 1998. Ecological diversity of atoll lagoons. Lettre du PIGB-PMCR-France, *French IGBP-WCRP/News Letter*, 8 : 24-29.
4. **DRUART J.C., DORIOZ J.M., BLANC P., BALVAY G.**, 1999. Un lac à ménager : le lac Bénit (Haute Savoie). *Rev. Géogr. Alp.*, 3, 87-99 et 105.
5. **BERARD A., PELTE T.**, 1999. Les herbicides inhibiteurs du photosystème II, effets sur les communautés algales et leur dynamique = The impact of photo system II (PS II) inhibitors on algae communities and dynamics. *Revue des Sciences de l'Eau* 12, 333-361.
6. **RIMET F., HEME de LACOTTE M., LÉBOULANGER C., DRUART J.C., BERARD A.**, 1999. Comparaison des effets de l'atrazine et du nicosulfuron sur les communautés phytoplanctoniques du Léman. *Archs. Sci. Genève*, 52 (2) : 111-122.
7. MOSCARIELLO A., SCHNEIDER A.M., BENIER, C., **DRUART J.C.**, 2000. Holocene sediment record from lake Geneva, CH : a history of climate, environmental changes and human evolution. *Terra Nostra* 2000/7 : 70-76
8. **ANNEVILLE O., LÉBOULANGER C.**, 2001. Long-term changes in the vertical distribution of phytoplankton biomass and primary production in lake Geneva : a response to the oligotrophication. *Atti Assoc. Ital. Oceanol Limnol.* 14, 25-35.

9. **JACQUET S.**, 2001. Virus planctoniques: des tueurs très utiles ! *Biofutur* 213:57-61.
10. **JACQUET S.**, 2002. Picophage: le plus petit prédateur connu. *La Recherche*, 349:20-21.
11. **BERARD A.**, **BECKER-VAN SLOOTEN K.**, **MERCIER I.**, **NYSTRÖM B.**, **DORIGO U.**, **GRANDJEAN D.**, **DRUART J.C.**, **LEBOULANGER C.**, 2001. Effets de l'Irgarol 1051 sur les communautés algales: approches expérimentales et *in situ* pour évaluer la sensibilité, la destruction et la tolérance induite par l'herbicide antifouling. *Journal de Recherche Océanographique* 26, 67-68.

3. Thèses, DEA, DESS, ingénieur

Encadrement J.F. Humbert :

1. ELARD L., 1998. La résistance aux benzimidazoles chez *Teladorsagia circumcincta*, nématode parasite de petits ruminants : Etude du déterminisme génétique et recherche des conséquences sur la fitness des parasites. **Doctorat de l'Université de Tours.**
2. SILVESTRE A., 2000. Résistance aux benzimidazoles des communautés de nématodes parasites du tractus digestif de petits ruminants. Mécanismes génétiques et facteurs environnementaux. **Doctorat de l'Université de Tours** (co-encadrement J. Cabaret)
3. LEIGNEL V., 2000. Diversité génétique et résistance aux benzimidazoles chez *Teladorsagia circumcincta* (Nematoda, Trichostrongylidae) parasite de petits ruminants. **Doctorat de l'Université de Montpellier II** (co-encadrement J. Cabaret)

Encadrement A. Bérard :

1. SEGUIN F., 2001. Effets comparés de deux herbicides (l'atrazine et le nicosulfuron) sur un écosystème aquatique expérimental. **Doctorat de l'Université Paul Sabatier de Toulouse.** (co-encadrement C Bry)
2. RIMET F., 1998. Comparaison des effets de l'atrazine et du nicosulfuron sur la structure des communautés phytoplanctoniques du Léman. **DESS "Eaux continentales, pollutions et aménagement", Université de Franche-Comté.**
3. LE BIHAN F., 2001. Impact de l'Irgarol et du cuivre utilisés dans les peintures antifouling des bateaux sur les communautés phytoplanctoniques du Lac Léman. **DESS Université Catholique de l'Ouest, IEA Angers.**

Encadrement C. Leboulanger :

1. HEME DE LACOTTE M., 1998. Etudes des effets du nicosulfuron sur le phytoplancton lacustre. Dosage des acides aminés par HPLC. **Rapport diplômant Ingénieur ISIM (Montpellier)** (co-encadrement avec A. Bérard).
2. DORIGO U., 2001. Methodologies to assess the effects of pesticides on freshwater microphytobenthos. **Tesie de l'Université de Padoue (Italie)** (co-encadrement avec A. Bérard).

Encadrement P. Dufour :

1. MOLICA R., 2000-2003. **Doctorat de l'Université de Rio de Janeiro** (Brésil). Co-encadrement Dr. Sandra M.F.O AZEVEDO.
2. ANTHONIOZ M., 2001. Caractérisation de cinq souches tempérées et tropicales de *Cylindrospermopsis raciborskii*, cyanobactérie toxique : morphologie et croissance en fonction des conditions lumineuses, thermiques et nutritives. **Stage Inst. Sc. Ing. Clermont-Ferrand** (co-encadrement C. Leboulanger).
3. GROFF J., 2002. Caractérisation de deux souches souches tempérée et tropicale de *Cylindrospermopsis raciborskii*, cyanobactérie toxique : croissance et production d'akinètes comparées en fonction des conditions lumineuses et thermiques. **Stage de l'Ecole de Biologie Industrielle de Cergy** (co-encadrement : J.F. Briand).

Encadrement J. Pelletier (co-encadrement N. Angeli et V. Ginot) :

1. ANNEVILLE O., 2001. Diagnostic sur l'évolution de l'état de santé écologique du Léman par l'analyse des séries chronologiques du phytoplancton. **Doctorat de l'Université C. Bernard, Lyon.**

4. Communications scientifiques avec actes

Congrès internationaux :

1. ANDREFOUËT S., CLAEREBOUDT M., PAGES J., **DUFOUR P.**, 1998. A typology of atolls rims in the Tuamotu archipelago (French Polynesia) using remote sensing. ISRS European meeting ; Perpignan, sept 1998.
2. CLAEREBOUDT M., **DUFOUR P.**, LEGENDRE L., 1998. A modelling atoll lagoons: size does matter. Abstract ISRS European meeting ; Perpignan, sept 1998.

3. **DUFOUR P.**, ANDREFOUET S., BERLAND B. CHARPY L., GARCIA N., 1998 : Bottom-up regulation of phytoplankton by low nitrogen and phosphorus availability in Tuamotu atoll lagoons (central south Pacific). ASLO/ESA joint meeting, St Louis, Missouri, USA, 7-12/6/98.
4. **DUFOUR P.**, ANDREFOUËT S., CHARPY L., BONNET S., GARCIA N., 1998. Nutrient concentrations in lagoons are dependent on atoll morphology. ISRS European meeting ; Perpignan, sept 1998.
5. **LEBOULANGER C.**, **BERARD A.**, **RIMET F.**, **HEME DE LACOTTE M.**, 1998. Comparative effects of atrazine and nicosulfuron on freshwater microalgae. International Conference on Ecotoxicology and Environmental Safety (SECOTOX) Antalya, Turquie, 16-21 octobre 1998.
6. CIECINSKI J., CIECHALSKI J., **DRUART J.C.**, FILBRANDT-CZAJA A., 1999 - Premiers résultats paléocéologiques de trois lacs de la région du Parc National "Bory Tucholskie" (Pologne). 2ème Colloque International de Limnologie, Brest, 25-29 mai 1999.
7. CIESCINSKI J., CIECHALSKI J., **DRUART J.C.**, FILBRANDT-CZAJA A., 1999 - Premiers résultats paléocéologiques de trois lacs de la région du Parc National «Bory Tucholskie» (Pologne). Colloque : Algues d'eaux douces : taxonomie, biogéographie et conservation, 19 novembre 1999. Jardin Botanique National de la Belgique, Bruxelles.
8. **HUMBERT J.F.**, LE BERRE B., 1999. Genetic diversity among two freshwater cyanobacteria, *Planktothrix (Oscillatoria) rubescens* and *P. agardhii*. II European Phycological Congress, Montecatini, Septembre 1999.
9. LEIGNEL V., CABARET J.F., **HUMBERT J.F.**, 1999. Evolution of the proportion of benzimidazole-resistant individuals in a *Teladorsagia circumcincta* population submitted to different protocols of treatment. Int. Congress of Vet. Parasitol. (WAAVP), Copenhague, Août 1999.
10. LEIGNEL V., CABARET J.F., **HUMBERT J.F.**, 1999. Molecular evidence for a new *Teladorsagia* species parasite of the goat. Int. Congress of Vet. Parasitol. (WAAVP), Copenhague, Août 1999.
11. MOSCARIELLO A., SCHNEIDER A.M, BENIER C., **DRUART J.C.**, 1999. Late Holocene Sedimentation and Paleoenvironment of Geneva Bay (Lake Geneva, Switzerland). 2ème Colloque International de Limnologie, Brest, 25-29 mai 1999.
12. NOEL H., LALLIER-VERGES E., BRAUER, A., BEAULIEU de J.L., DEARING J., **DRUART J.C.**, DISNAR J.R., GARBOLINO E., 1999. Erosion, Land Use and Sedimentary Organic and minerogenic Fluxes At Annecy, Le Petit Lac, The French Alps (France). 2ème Colloque International de Limnologie, Brest, 25-29 mai 1999
13. SILVESTRE A., **HUMBERT J.F.**, 1999. Molecular tool for species identification and diagnosis of the benzimidazole-resistance in three Trichostrongylid species. Int. Congress of Vet. Parasitol. (WAAVP), Copenhague, Août 1999.
14. VINCON-LEITE B., GAYTE X., BALVAY G., BLANC P., **DRUART J.C.**, FONTVIEILLE D., TASSIN B., 1999. Interannual variability of phytoplankton dynamics in Lake Bourget (Savoy, France) during two successive years (1995-1996). Congrès Lake 99, Copenhague, 17-21 mai 99.
15. **DUFOUR P.**, TORRÉTON J.-P., 2000. Bacterioplankton is a poor trophic resource for the pearl oyster *Pinctada margaritifera* ; evidence from spatial distributions. 9th Int. Coral Reefs Symp., Nov. 2000, Bali.
16. **DUFOUR P.**, TORRÉTON J.-P., 2000. Spatial homogeneity in atoll lagoons of the Tuamotu archipelago. 9th Int. Coral Reefs Symp., Nov. 2000, Bali.
17. **GUGGER M.**, LYRA C., HENRIKSEN P., COUTE A., **HUMBERT J.F.**, SIVONEN K., 2000. Sequencing of two genera of toxic freshwater cyanobacteria based on PCR-amplified DNA from 16rRNA, 16S-23S spacer and rubisco spacer. Euroconférence de l'Institut Pasteur, Paris, Mars 2000.
18. **GUGGER M.**, LYRA C., HENRIKSEN P., COUTE A., **HUMBERT J.F.**, SIVONEN K., 2000. Taxonomic study on two genera of toxic freshwater cyanobacteria, *Anabaena* and *Aphanizomenon*. Workshop EUROCYAN, Toulouse, Décembre 2000.
19. CIESCINSKI J., **DRUART J.C.**, DABKOWSKI R., CHODAKOWSKI K., **MERCIER I.**, CIECHALSKI J., 2000. Carottage et congélation « in situ » de sédiments du lac Warszyn de la région du parc National « Bory Tucholskie », Pologne. Colloque ADLaF, Mont-Rigi (Belgique), 12-15 septembre 2000.
20. **HUMBERT J.F.**, PAOLINI G., LE BERRE B., BOSSE J.P., MENTHON E., 2000. Toxic cyanobacterial blooms in the lake Bourget (France). Harmful Algal Bloom Congress, Hobart, Février 2000.
21. **LEBOULANGER C.**, **HUMBERT J.F.**, 2000. Use of a fluorimetric probe for the survey of toxic cyanobacteria in great lakes. Congrès EUROCYAN, Toulouse, Décembre 2000.
22. **BERARD A.**, **DORIGO U.**, **SEGUIN F.**, **LEBOULANGER C.**, 2001. Risk assessment and diagnostic of pollution : use of chlorophyll fluorescence as endpoint in revealing PICT in algal communities contaminated by PSII inhibitors. Affiche congrès SETAC, Madrid, Mai 2001.
23. BERNARD C., **BRIAND J.F.**, ROBILLOT C., HENNION M.C., QUIBLIER-LLOBERAS C., BRIENT L., VEZIE C., **HUMBERT J.F.**, SARRAZIN G., 2001. Toxic cyanobacteria in French freshwaters: present state of knowledge. Congrès International sur les Cyanobactéries, ICTC V, Australie.
24. CIESCINSKI J., WISNIEWSKA M., **DRUART J.C.**, 2001. Trofia wody i osadow dennych jezior warszyn, Gardlicno i Czarne w Borach Tucholskich. Water trophy versus sediments in Warszyn, Gardlicno and Czarne lakes. 52 Zjazd Polskiego towarzystwa Botanicznego. Poznan (Pologne), 24-28 septembre 2001.
25. **DORIGO U.**, **DRUART J.C.**, **HUMBERT J.F.**, 2001. Molecular approaches to evaluate biodiversity in benthic microalgal communities. Congrès SETAC, Madrid, Mai 2001.

26. **DRUART J.C.**, CIESCINSKI J., **2001**. Relationship between main nutrients (C, N, P) and diatoms in the sediment of lake Warszyn (National Park "Bory Tucholskie", Poland). SEFS-2, Toulouse 8-12 juillet 2001.
27. **GUGGER M.**, LYRA C., HENRIKSEN P., COUTE A., **HUMBERT J.F.**, SIVONEN K., **2001**. Polyphasic taxonomy on two genera of freshwater cyanobacteria, *Anabaena* and *Aphanizomenon*. Congrès International sur les Cyanobactéries, ICTC V, Australie.
28. **GUGGER M.**, **MOLICA R.**, **BRIAND J.F.**, BERNARD C., **HUMBERT J.F.**, **2001**. Genetic relationships between *Cylindrospermopsis* and *Raphidiopsis* strains originating from several continents. Congrès International sur les Cyanobactéries, ICTC V, Australie.
29. **JACQUET S.**, BRATBAK G., **2001**. Viruses of marine phytoplankton are differently sensitive to UV radiations. 9th International Symposium of Microbial Ecology, Amsterdam, The Netherlands, August 2001.
30. LARSEN A., FONNES G.A., THYRHAUG R., ERGA S.R., **JACQUET S.**, BRATBAK G., **2001**. Dynamics and succession during the spring bloom in Norwegian coastal current, with emphasis on the smallest participants. 9th International Symposium of Microbial Ecology, Amsterdam, The Netherlands, August 2001
31. **BRIAND J.F.**, ANTONIOZ M., **HUMBERT J.F.**, **LEBOULANGER C.**, **DUFOUR P.**, **2002**. Invasion of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) in temperate latitudes : selection, physiological tolerance or global warming ? Harmful Algal Bloom Congress, St Petersburg (USA), Octobre 2002.
32. **DORIGO U.**, **HUMBERT J.F.**, **2002**. Methodologies to assess the effects of pesticides on freshwater microphytobenthos. Ecotoxicology of freshwater microorganisms - European Workshop, Thonon.
33. **HUMBERT J.F.**, **DORIGO U.**, **LEBOULANGER C.**, **JACQUET S.**, **LE BERRE B.**, **PAOLINI G.**, **2002**. Use of a submersible spectrofluorometer (FluoroProbe) for the survey of a toxic cyanobacteria, *Planktothrix rubescens*, in a large alpine lake. Harmful Algal Bloom Congress, St Petersburg (USA), Octobre 2002.
34. **JACQUET S.**, LARSEN A., IGLESIAS-RODRIGUEZ D., HELDAL M., BRATBAK G., **2002**. Analysis of an *Emiliana huxleyi* bloom terminated by viral infection. Analysis of single cells in the marine phytoplankton workshop, Bremerhaven, Germany, April 2002
35. **JACQUET S.**, **LEBOULANGER C.**, ANNEVILLE O., **LEBERRE B.**, PAOLINI G., **HUMBERT J.F.**, **2002**. Toxic cyanobacterial bloom in response to re-oligotrophisation: an unexpected consequence of lake restoration ? SAME 8 (Symposium of Aquatic Microbial Ecology), Taormina, Italy, October 2002.
36. LARSEN A., THYRAUG R., SANDAA R.A., CASTBERG T., BRUSSAARD C., JACOBSEN A., **JACQUET S.**, HELDAL M., THINGSTAD F.T., BRATBAK G., **2002**. Marine phytoplankton viruses Ecology, physiology and host virus interactions. ASCMAP (Analysis of Single Cells in the Marine Phytoplankton), Bremerhaven, Germany, April 2002
37. **LEBOULANGER C.**, **HUMBERT J.F.**, **2002**. Theoretical considerations on the effect of xenobiotics on the diversity and the functioning of aquatic ecosystems. Ecotoxicology of freshwater microorganisms - European Workshop, Thonon.
38. MULLER F., WILSON W.H., **JACQUET S.**, **2002**. Influence of major nutrients on the behaviour of Cu, Zn, and Mn during a marine mesocosm experiment. Phytoplankton productivity, major international conference, Bangor, UK, March 2002

Congrès nationaux :

1. ELARD L., **HUMBERT J.F.**, 1998. Fitness comparée de vers sensibles ou résistants aux benzimidazoles chez *Teladorsagia circumcincta*, un nématode parasite de petits ruminants. Congrès de Biologie et de Génétique des populations (Petit Pois Dérivé), Lille, Septembre 1998.
2. **HUMBERT J.F.**, CABARET J., LEIGNEL V., 1998. Mise au point de protocoles de traitements anthelminthiques pour limiter la sélection de parasites résistants. Colloque Biotechnocentre, Seillac, Novembre 1998.
3. **HUMBERT J.F.**, ELARD L., CABARET J., LEIGNEL V., 1998. Déterminisme génétique et conséquences de l'acquisition de la résistance aux benzimidazoles sur la fitness et la structure des populations de *Teladorsagia circumcincta*, nématode parasite de petits ruminants. Compte-rendu de l'AIP "Structuration génétique des populations naturelles" INRA-BRG, Paris Décembre 1998.
4. LEIGNEL V., CABARET J., **HUMBERT J.F.**, 1998. Chez les chèvres, un *Teladorsagia* peut en cacher un autre. Congrès de Biologie et de Génétique des populations (Petit Pois Dérivé), Lille, Septembre 1998. P
5. **RIMET F.**, **HEME de LACOTTE M.**, **LEBOULANGER C.**, **DRUART J.C.**, **BERARD A.**, 1998. Comparaison des effets de l'atrazine et du nicosulfuron sur les communautés phytoplanctoniques du Léman. Poster présenté au colloque pluridisciplinaire «Découvrir le Léman 100 ans après F.A. Forel», Nyon (Suisse), 17-19 septembre 1998.
6. **SEGUIN F.**, BRY C., BEC A., **BERARD A.**, **DRUART J.C.**, 1999. Effets comparés de deux herbicides (Atrazine et Nicosulfuron) sur un écosystème aquatique expérimental : premiers résultats. Congrès groupe français des Pesticides, Périgueux, 17-19 mai 1999.
7. **BERARD A.**, **LEBOULANGER C.**, 1999. Ecotoxicologie algale, herbicides et dynamique des communautés phytoplanctoniques. Ecole INRA Ecotoxicologie, 2-3 février 1999. Evian.
8. **BERARD A.**, BECKER VAN SLOOTEN K., **MERCIER I.**, **NYSTRÖM B.**, **DORIGO U.**, GRANDJEAN D., **DRUART J.C.**, **LEBOULANGER C.**, 2000. Effets de l'Irgarol 1051â sur les communautés algales : approches expérimentales et in situ pour évaluer la sensibilité, la déstructuration et la tolérance induite par l'herbicide antifouling Affiche + actes. XXVI ème Colloque de l'UOF . Zones littorales et anthropisation. La Rochelle 4-6 juillet 2000.
9. CABARET J., ELARD L., LEIGNEL V., SILVESTRE A., **HUMBERT J.F.**, 2000. La résistance ciblée aux anthelminthiques des nématodes: Le cas des benzimidazoles. Journées d'animations du département de Santé Animale, Orléans, Octobre 2000.
10. CIESCINSKI J., **DRUART J.C.**, DABKOWSKI R., CHODAKOWSKI K., **MERCIER I.**, CIECHALSKI J., 2000. Carottage et congélation « in situ » de sédiments du lac Warszyn de la région du parc National « Bory Tucholskie », Pologne. Colloque CILEF, Clermont-Ferrand, 16-21 juillet 2000.
11. **LEBOULANGER C.**, **MERCIER I.**, **NYSTRÖM B.**, BECKER VAN SLOOTEN K., GRANDJEAN D., **DORIGO U.**, **DRUART J.C.**, **BÉRARD A.**, 2000. Evaluation du risque et diagnose des effets écotoxicologiques d'un herbicide sur les communautés algales. Premiers résultats d'approches in situ et expérimentales couplées sur une triazine : l'Irgarol 1051. Affiche + actes. 30ème Congrès du Groupe Français des Pesticides. Reims 29-31 mai 2000.
12. LEIGNEL V., **HUMBERT J.F.**, 2000. Analyse de la variabilité mitochondriale dans les populations de *Teladorsagia circumcincta* (nématode de petits ruminants) résistantes ou sensibles aux benzimidazoles. Congrès de Biologie et de Génétique des populations (Petit Pois Dérivé), Dijon, Août 2000.
13. LEIGNEL V., **HUMBERT J.F.**, CABARET J., 2000. Influence des traitements anthelminthiques sur la sélection de génotypes résistants. Congrès SFP, Montpellier, Mars 1997.
14. SEGUIN F., **DRUART J.C.**, BRY C., 2000. Effets de deux herbicides (atrazine et nicosulfuron) sur les diatomées du périphyton : approche expérimentale en mésocosme aquatique. XXX ème Congrès du groupe français des Pesticides, Reims, 29-31 mai 2000.
15. **SEGUIN F.**, **LE BIHAN F.**, **LEBOULANGER C.**, **BERARD A.**, 2000. Evaluation du risque écotoxicologique en systèmes expérimentaux : Impacts de l'atrazine sur la tolérance des communautés phytoplanctoniques en mésocosmes lenticques. Congrès CILEF, 16-21 juillet Clermont-Ferrand.
16. SILVESTRE A., CABARET J., **HUMBERT J.F.**, 2000. Diversité des allèles de résistance aux benzimidazoles chez les nématodes trichostrongles de petits ruminants. Congrès de Biologie et de Génétique des populations (Petit Pois Dérivé), Dijon, Août 2000.
17. **DUFOUR P.**, 2001. Déterminisme et conséquences de l'invasion de *Cylindrospermopsis raciborskii*, cyanobactérie toxique. Séminaire "Invasions Biologiques". 6 et 7 juin 2001, Paris.
18. Réseau RITEAU, 2001. Prototype de système d'alerte pour les proliférations de cyanobactéries toxiques dans les lacs : diagnostic et prévision. Salon POLLUTEC, Paris, Décembre 2001.
19. **LEBOULANGER C.**, **LE BIHAN F.**, **DORIGO U.**, **BERARD A.**, 2002. Réaction des microalgues planctoniques aux gradients de pollution: le cas des additifs anti-fouling dans le Léman. 3e congrès du GMRE et 32e congrès du GFP, Marrakech.
20. **HUMBERT J.F.**, **BERARD A.**, **DRUART J.C.**, **LEBOULANGER C.**, 2002. Impact des herbicides sur les communautés de microalgues. Réunion Ecotoxicologie INRA, Antibes, septembre 2002.

5. Conférences sur invitation :

1. **HUMBERT J.F.**, 2000. Conférencier invité dans le cadre des journées de l'AGHTM sur le thème "Rôle des microorganismes dans les systèmes aquatiques". Titre de la conférence "Les cyanobactéries dans les eaux douces : Dynamique et conséquences sanitaires". Chambéry, Avril 2000.
2. **LEBOULANGER C., ANNEVILLE O.**, 2000. Recovery of Lake Geneva from Eutrophication : what could we learn from long-term recording of phytoplankton ? Lecture (invité) au Congrès de l'AIOL, Garda, Italie, 25-27 septembre 2000-09-28
3. **HUMBERT J.F.**, 2001. Conférencier invité par le Conseil Scientifique Consultatif du groupe DANONE. Titre de la conférence "Biologie, écologie et impact environnemental des cyanobactéries". Paris, Juin 2001.
4. **LEBOULANGER C., CAUZZI N., HUMBERT J.F.**, 2001. Conférencier invité dans un Workshop International "Toxicity assessment, online biomonitoring chlorophyll algae pigments photosynthesis". Titre de la conférence "Use of fluoroprobe for monitoring a *Planktothrix rubescens* (cyanobacteria) bloom in an alpine lake" Kiel, Allemagne, Juin 2001.
5. **HUMBERT J.F.**, 2001. Conférencier invité aux 12èmes Rencontres Régionales de la Recherche organisées par la Région Rhône-Alpes. Titre de la conférence "Anthropisation et incidence des cyanobactéries dans les écosystèmes aquatiques", Lyon, Septembre 2001.
6. **HUMBERT J.F.**, 2001. Conférencier invité au colloque de la SFET. Titre de la conférence « Déterminisme des efflorescences de cyanobactéries en milieu aquatique » Paris, Décembre 2001.
7. **HUMBERT J.F., LEBOULANGER C.**, 2001. Conférencier invité par le Centre de Recherche Gabriel Lippmann du Luxembourg. Titre de la conférence "Les efflorescences à cyanobactéries toxiques dans le lac du Bourget".
8. **HUMBERT J.F.**, 2002. Conférencier invité par le MNHN Paris dans le cadre de l'Ecole Doctorale « Cryptogames et perturbations environnementales : Apports de la systématique et de l'étude des peuplements » Titre de la Conférence "Diversité génétique de deux espèces de cyanobactéries, *Planktothrix rubescens* et *P. agardhii* ».
9. **HUMBERT J.F.**, 2002. Conférencier invité par la DRASS de l'Ile de France pour une session d'informations aux personnels des DDASS de la région Ile de France « Les cyanobactéries et leur impact sanitaire ».

6. Chapitres d'ouvrages et ouvrages entiers :

1. COMES A.M., **HUMBERT J.F.**, LAURENT F., 1999. Rapid cloning of PCR derived RAPD probes. In Expression Genetics : Differential Display. Ed. by A. Pardee and M. McClelland. BioTechniques Books, Natick, MA, Chap 56, 1-4.
2. **BALVAY G., PELLETIER J.P., DRUART J.C.** 2001 – L'écosystème lentique. In : L'eau dans l'espace rural, vie et milieux aquatiques A. Neveu, C. Riou, R. Bonhomme, P. Chassin, F. Papy, éd. : 151-76.
3. **HUMBERT J.F., PAOLINI G., LE BERRE B.**, 2001. Monitoring a cyanobacterial bloom and its consequences for water quality. In Harmful Algal Bloom 2000, Hallegraeff, G., et al. (Eds), Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO 2001, 496-499.
4. **HUMBERT J.F.**, 2001. Déterminisme des efflorescences de cyanobactéries en milieu aquatique. Chapitre d'un ouvrage intitulé « Explorer, exploiter les toxines et maîtriser les organismes producteurs », édité par Elsevier, 55-64.
5. **HUMBERT J.F., BERARD A., LEBOULANGER C.**, 2001. Impact écologique des cyanobactéries. Chapitre réalisé à la demande de l'éditeur (IFREMER-AFSSA) pour un ouvrage intitulé "Les toxines d'algues dans l'alimentation", 89-108.

7. Documents à vocation de transfert :

1. **HUMBERT J.F., BERARD A., LEBOULANGER C.**, 1998. Premier bilan sur le bloom toxique de cyanobactéries observé dans le lac du Bourget. Rapport d'étude, 8 p.
2. **BALVAY G., DRUART, J.C.**, 1998 - Le plancton du lac de Miribel - Jonage en 1997. INRA Thonon, Rapport IL 130.98, 63 pp.
3. **REVACLIÉ R., PELLETIER J.P., DRUART J.C.**, 1998 - Évolution du plancton du Léman. Campagne 1997. In : Rapport sur les études et recherches entreprises dans le bassin lémanique. Programme quinquennal 1995-2000. CIPEL Lausanne : 75-84.
4. **BALVAY G., BLANC P., DRUART J.C.** 1998. – Suivi de la qualité des eaux du lac d'Annecy. Syndicat intercommunal du lac d'Annecy : 1-64 +2 annexes.
5. **DRUART J.C.**, 1998. Le phytoplancton et le périphyton du Rhône (Contrat A.R.A.L.E.P.B.P.). Synthèse Février-décembre 97. Rapport IL 139.98, 46 pp.

6. **DRUART J.C., 1998** - Le périphyton (autre que les diatomées) du Rhône (Contrat A.R.A.L.E.P.B.P.). Synthèse Février-décembre 97. Rapport IL 140.98, 18 pp.
7. **BALVAY G., DRUART J.C., 1998** – Lac de Salagou (Hérault). Rapport IL 141.98, 13 pp.
8. **GAYTE X., FONTVIEILLE D., VINCON-LEITE B., TASSIN B., BLANC P., DRUART J.C., BALVAY G., PELLETIER J., PAOLINI G. – 1998**. Analyse de l'évolution de la qualité des eaux du lac du Bourget (1995-96). Univ. de Savoie (GRETI) ; Ecole Nationale des Ponts et chaussée (CERGRENE) ; INRA (SHL Thonon) et cellule Technique du lac du Bourget. 346 pp.
9. **DRUART J.C., BLANC P., DUBOIS J.P., 1998** – Le lac des Praz (Savoie), un milieu fragile à protéger. Rapport IL. 152.98, 16 pp.
10. **BÉRARD A., PELTE, T., DRUART J.C., 1998** – Action des herbicides inhibiteurs de la photosynthèse sur l'évolution des peuplements phytoplanctoniques. Cas des retenues de la Bultière (Vendée) et de Villaumur (Ille et Vilaine), expérimentations et suivis PICT Synthèse des campagnes 1996-1997-1998. Rapport INRA IL. 148.98/Agence de l'eau Loire Bretagne. 35 pp.+ annexes.
11. **DRUART J.C., RIMET F., 1998** – Etude du périphyton du bassin Seine-Normandie. Calcul d'indices sur les peuplements diatomiques, année 1998. Rapport IL. 151.98, 30p.
12. **DRUART J.C., RIMET F., 1998** – Etude du périphyton du bassin Rhin-Meuse. Calcul d'indices sur les peuplements diatomiques, année 1998. Rapport IL. 153.98, 43p.
13. **DRUART J.C., RIMET F., 1998** – Etude du périphyton du bassin Rhin-Meuse. Calcul d'indices sur les peuplements diatomiques, année 1998 (Etude GREBE) Rapport IL. 154.98, 70p.
14. **BROCHIER J.L., BOREL J.L., DRUART J.C., 1998**. – Climats et terroir de 1000 av. J.-C. d'après la séquence sédimentaire lacustre de Colletière. In : «L'habitat fortifié littoral (XIe s) de Colletière à Charavines (lac de Paladru, Isère) dans son environnement». Rapport de synthèse 1996-1998. Projet 1999-2001. Conservation du Patrimoine de l'Isère – Musée national des Arts et traditions populaires – Centre d'ethnologie française, 28-34 pp.
15. **DRUART J.C., 1998**. Le phytoplancton de la retenue de Pannecièrre. Rapport de l'année 1997. Rapport IL., 133-98, 17 pp.
16. **DRUART J.C., 1998** - Suivi des peuplements phytoplanctoniques du barrage de la Cantache - Campagne 1997 (janvier-novembre). INRA Thonon, Rapport I.L. 144-98, 79 pp.
17. **DRUART J.C., 1998** – Le phytoplancton du plan d'eau de la Bultière (Vendée) - Campagne 1997. INRA Thonon, Rapport I.L. 143-99, 107 pp.
18. **DRUART J.C., 1999** - Le phytoplancton du Lac d'Aiguebelette (Savoie).en 1998. Rapport IL 157.99, 8 p.
19. **DRUART J.C., 1999** - Le phytoplancton du Lac de Paladru (Isère).en 1998. Rapport IL 158.99, 15 p.
20. **BALVAY G., BLANC P., DRUART J.-C., GUICHARD V., 1999**. – Suivi de la qualité des eaux du lac d'Annecy. Campagne 1998. Thonon : Institut de limnologie, SILA Annecy ; rapport 161/99, 2 fascicules, 66 pp + 100 p. + annexes.
21. **BALVAY G., DRUART J.C., 1999** - Le plancton du lac de Miribel-Jonage (Rhône) en 1998. INRA Thonon, Rapport IL 160/99, 64 p.
22. **DRUART J.C., REVACLIER R., PELLETIER J.P., VANSTEELANT-EL JAY A., 1999** - Évolution du phytoplancton du Léman. Campagne 1998. In : Rapp Comm. Int.Prot. eaux Léman contre pollut. (CIPEL) ; p. 69-78.
23. **DUFOUR P. et L. CHARPY. 2000**. Atolls de Polynésie. Version française <http://www.com.univ-mrs.fr/IRD/atollpol/>; version anglaise <http://www.com.univ-mrs.fr/IRD/atollpol/ukintro.html>
24. **REVACLIER R., DRUART J.C., 2000** - Évolution du phytoplancton du Léman. Campagne 1999. In : Rapp Comm. Int.Prot. eaux Léman contre pollut. (CIPEL) ; p. 67-78.
25. **DRUART J.C., VANSTEELANT-EL JAY A., 1999**. Le phytoplancton de la retenue de Pannecièrre (Nièvre) et du plan d'eau de Bouvent dans le Morvan. Rapport 1998. Thonon : station d'hydrobiologie Lacustre ; rapport 162/99, 25 p.
26. **DRUART J.C., VANSTEELANT-EL-JAY A., 1999** - Suivi des peuplements phytoplanctoniques du barrage de la Cantache - Campagne 1998 (février-décembre). Thonon : station d'Hydrobiologie lacustre ; rapport 163/99, 80 p.
27. **DRUART J.C., 1999** - Suivi des peuplements phytoplanctoniques du lac Disney (Seine et Marne) - Campagne 1998 (mai-août). Thonon : Station d'hydrobiologie lacustre ; rapport 164/99, 72 p.
28. **DRUART J.C., 1999** – Le phytoplancton du plan d'eau de Bultière (Vendée) - Campagne 1998. Etude réalisée pour la Compagnie des eaux de l'Ozone. 85250 Chavagnes en Pailliers. Thonon : Station d'hydrobiologie lacustre ; rapport 165/99, 68 p.
29. **DRUART J.C., MERCIER I., 1999** – Etude du périphyton du bassin Rhin-Meuse. Calcul d'indices sur les peuplements diatomiques, année 1999. Etude réalisée pour le Grèbe. Thonon : Station d'hydrobiologie lacustre ; rapport 167/99, 68p.
30. **DRUART J.C., RIMET F., 1999** - Le phytoplancton et le périphyton du Rhône, contrat A.R.A.L.E.P.B.P. synthèse Février-décembre 98. Thonon : Station d'hydrobiologie lacustre ; rapport 156/99, 73 p.
31. **GERDEAUX D., ANGELI N., BALVAY G., DRUART J.C., FONTVIEILLE D., GUILLARD J., LAFONT, M., PELLETIER J., ROSSO-DARMET A., VERNEAUX J., VERNEAUX V., VIBOUD S., 1999**. Le

- fonctionnement trophique du lac d'Annecy. Rapport de fin de contrat, IXème Contrat Plan Etat-Région, Région Rhône Alpes, 111p.
32. **DRUART J.C., MERCIER I.**, 2000 – Etude du périphyton du bassin Seine-Normandie. Calcul d'indices sur les peuplements diatomiques, année 1999. Rapport IL. 169.2000, 30p.
 33. **DRUART J.C.**, 2000 - Le phytoplancton du Lac d'Aiguebelette (Savoie).en 1999. Rapport IL 170.2000, 18 p.
 34. **DRUART J.C.**, 2000. Le phytoplancton du lac de Paladru (Isère) en 1999. Rapp. SHL 171.2000, 14 p
 35. **DRUART J.C., MERCIER I.**, 2000 - Le phytoplancton et le périphyton du Rhône (Contrat A.R.A.L.E.P.B.P.). Synthèse mars-décembre 99. Rapport SHL 172.2000, 63 pp.
 36. **DRUART J.C.**, 2000 – Le phytoplancton de la retenue de Pannecière (Nièvre), rapport 1999. INRA-Thonon, Rapport SHL, 173/2000, 17 pp.
 37. **DRUART J.C., MERCIER I.**, 2000. Etude des peuplements phytoplanctoniques des bassins intérieurs du site Euro Disney (Seine et marne) – Décembre 1999. INRA – Thonon, Rapport SHL, 174/2000, 43 pp.
 38. **DRUART J.C.**, 2000 - Suivi des peuplements phytoplanctoniques du barrage de la Cantache - Campagne 1999 (janvier-novembre). INRA Thonon : Rapport SHL 178-00, 50 pp.
 39. **BALVAY G., DRUART J.C.**, 2000. Rapport de mission en limnologie, Autriche 1-12 mai 2000. Rapport INRA-Thonon, 35 p.
 40. **DRUART J.C., CAUZZI N.**, 2000 – Etude du périphyton du bassin Seine-Normandie. Calcul d'indices sur les peuplements diatomiques, année 2000. Rapport SHL. 189.2000, 29p.
 41. **DRUART J.C.**, 2000 – Le phytoplancton de la retenue de Pannecière (Nièvre), rapport 2000. INRA-Thonon, Rapport SHL, 190/2000, 13 pp.
 42. **BALVAY G., LAZZAROTTO J., DRUART J.-C., GUICHARD V.**, 2001. – Suivi de la qualité des eaux du lac d'Annecy. Campagne 2000. Rapport SILA Annecy (éd.) et INRA-Thonon-SHL n° 201-2001, 2 fascicules, 89 pp + annexes + 130 pp.
 43. **BERARD A., BOSSE J.P., CAUZZI N., DORIGO U., DRUART J.C., HUMBERT J.F., LEBOULANGER C., NYSTRÖM B., SAINT OLIVE A., SEGUIN F.**, 2001. La méthode PICT (Pollution-Induced Community Tolerance) appliquée aux communautés algales. Faisabilité et applicatio. INRA Thonon, Agence de l'Eau Loire-Bretagne : SHL 199-2001 : 46 pages, 15 tableaux et 30 figures.
 44. **DRUART J.C., CAUZZI N.**, 2001 - Le phytoplancton et le périphyton du Rhône (Contrat A.R.A.L.E.P.B.P.). Synthèse mars-novembre 2000. Rapport SHL-Thonon, 191.2001, 53 pp.
 45. **DRUART J.C., REVACLIÈRE R., CAUZZI N., LAVIGNE S.** 2001 - Évolution du phytoplancton du Léman. Campagne 2000. *In* : Rapp Comm. Int.Prot. eaux Léman contre pollut. (CIPEL), p. 81-90.
 46. **DRUART J.C.**, 2001 - Suivi des peuplements phytoplanctoniques du barrage de la Cantache - Campagne 2000 (mars-décembre). INRA Thonon : Rapport SHL 200-01, 50 pp.
 47. **HUMBERT J.F.**, 2001. Méthodologies pour la mise en place d'un plan de surveillance des cyanobactéries dans le lac du Bourget. Rapport de fin d'étude, 33 p.
 48. **DRUART J.C.**, 2002 – Le phytoplancton du plan d'eau de la Bultière (Vendée). Campagne 2001. INRA Thonon. Rapport SHL 217.02, 59 pp.
 49. **BERARD A., DORIGO U., HUMBERT J.F., LEBOULANGER C., SEGUIN F.**, 2001. La méthode PICT appliquée aux communautés de microalgues. Rapport bibliographique pour l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 41 p.

8. Rapporteurs pour revues scientifiques :

P. Dufour : Annales de Limnologie(Int. J. Limnol.), Mar Ecol. Progr. Ser., Rev. Sc. Eau

J.F. Humbert : Annales de Limnologie (Int. J. Limnol.), Journal of Parasitology, International Journal for Parasitology, Journal of Plankton Research, Water Research, un chapitre d'un ouvrage sur les cyanobactéries (IFREMER/AFSSA).

S. Jacquet : Aquatic Microbial Ecology, Journal of Plankton Research

C. Le Boulanger : Annales de Limnologie (Int. J. Limnol.), BMC Ecology (revue électronique), Human and Ecological Risk Assessment, Water Research

9. Documents et communications de vulgarisation :

1. **DUFOUR P., CHARPY L.**, 2000. Atolls de Polynésie. Version française <http://www.com.univ-mrs.fr/IRD/atollpol/>; version anglaise <http://www.com.univ-mrs.fr/IRD/atollpol/ukintro.html>
2. **HUMBERT J.F.**, 2000. Conférencier invité dans le cadre d'un cycle de conférences intitulé "Echos de la Recherche" sur le thème "Santé de l'homme, santé de l'environnement : de nouveaux défis pour la recherche".

Titre de la conférence : "Santé des lacs alpins : Effets de l'anthropisation et problèmes sanitaires". Lyon, Avril 2000.

3. **DRUART J.C., BALVAY G., 1999.** Rapport d'activité Communication et Presse. Année 1998. Rapport INRA-Thonon RACP 155-99, 50 pp.
4. **DRUART J.C., BALVAY G., 2000.** Rapport d'activité Communication et Presse. Année 1999. Rapport INRA-Thonon RACP 1.2000, 13 p + annexes.
5. **DRUART J.C., BALVAY G., 2001.** Rapport d'activité Communication et Presse. Année 2000. Rapport INRA-Thonon RACP 194.2001, 10 p + 68 pages annexes.

PUBLICATIONS/COMMUNICATIONS EQUIPE FONTVIEILLE 1998-2002

Publications scientifiques dans revues indexées :

1. AMBLARD C., BOISSON J.C., BOURDIER G., **FONTVIEILLE D., GAYTE X., SIME-NGANDO T., 1998.** Ecologie microbienne en milieu aquatique : des virus aux protozoaires. *Revue des Sciences de l'Eau*, n° spécial 10^{ème} ann. : 145-162.
2. VINCON-LEITE B., BOURNET P.E., **GAYTE X., FONTVIEILLE D., TASSIN B., 1998.** Impact of a flood event on the biogeochemical behaviour of a mesotrophic alpine lake : lake Bourget (Savoie). *Hydrobiologia*. 373/374: 361-377.
3. **VIBOUD S., FONTVIEILLE D., 1998.** Evolution des effectifs et des biovolumes des populations microbiennes dans deux lacs de niveaux trophiques différents. *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 123, 4 : 373-381.
4. **GAYTE X., FONTVIEILLE D., 1999.** Rôle de l'interface cours d'eau-lac dans la transformation des flux de nutriments apportés par les affluents : Analyse en première approche des caractéristiques des sédiments de la zone de confluence du principal affluent du lac du Bourget. *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 124 (1) : 121-122.
5. **GAYTE X., FONTVIEILLE D., WILKINSON K., 1999.** Bacterial stimulation in mixed cultures of bacteria and organic carbon coming from river and lakes waters. *Microb. Ecol.*, 38: 285-295.
6. **DOMAIZON I., DEVAUX J., 1999.** Impact of silver carp on zooplankton communities. Consequences for the use of silver carp in biomanipulation. *Comptes Rendus de l'Académie des sciences*, 322, 621-628.
7. **DOMAIZON I., DEVAUX J., 1999.** Nouvelle approche des biomanipulations des réseaux trophiques aquatiques : Introduction d'un poisson phytoplanctonophage, la carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix*). *L'Année Biologique*, 38, 91-106.
8. **DOMAIZON I., DEVAUX J., 1999.** Experimental study of the impacts of silver carp on plankton communities of eutrophic Villerest reservoir (France). *Aquatic Ecology*, 33, 193-204
9. **GAYTE X., CLARET C., FONTVIEILLE D., 2000.** Dynamics of biodegradable and refractory dissolved organic matter in a meso-eutrophic lake. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 27, 3674-3677.
10. **DOMAIZON I., DESVILETTES C., DEBROAS D., BOURDIER G., 2000.** Influence of zooplankton and phytoplankton on the fatty acids composition of digesta and tissue of silver carp : mesocosm experiment. *Journal of Fish Biology*, 57, 417-432.

3. Thèses, DEA, DESS :

Encadrement D. Fontvieille

1. LASSABATERE L., 1998. Influence d'un géotextile avec et sans biofilm sur le transfert du zinc dans un sol fluvio-glaciaire dans des conditions saturées. DEA Analyse et Modélisation des Systèmes Biologiques, Univ. Claude Bernard, Lyon, 30 pp.
2. VINCENTI S., 1999. Etude comparative d'indices zooplanctonique d'évaluation de l'état trophique du lac Léman. DEA Espaces Montagnards Gestion et Environnement, Université Joseph Fourier, 45pp.
3. LAURENT-GONNET W., 2000. Contribution des flagellés à la régulation des populations bactériennes du lac Léman. DEA Espaces Montagnards Gestion et Environnement, Université Joseph Fourier. 56pp.
4. ROSAT-BRUSIN H., 2001. Mise en évidence de carences nutritionnelles du bactérioplancton dans deux lacs alpins en période printanière. Problèmes méthodologiques associés. DEA Espaces Montagnards Gestion et Environnement, Université Joseph Fourier. (stage interrompu pour raisons personnelles)
5. COMTE J., 2002. Etude en première approche du fonctionnement de la boucle microbienne dans le lac du Bourget (Savoie), 117pp.
6. GAY C., 2002. Variabilité de la contamination des eaux de surface par les bactéries fécales : méthodes de suivis, et première évaluation en zone rurale, 64pp.
7. FAUVET G., 2000. Incidence des géotextiles sur les biofilms microbiens des milieux filtrants et sur leurs potentialités d'épuration biologique. Thèse de doctorat, Univ. de Savoie 190pp.

8. BRUNET C., 2000. Structure et activité des biofilms microbiens de la surface des sédiments en tant qu'indicateurs des pollutions trophiques et toxiques des eaux courantes. Thèse de doctorat, Univ. Cl. Bernard, Lyon I, 187pp.
9. VIBOUD S. La circulation du carbone organique dans les premiers niveaux trophiques de la zone pélagique du lac Léman : éléments de contrôle et processus de régulation. Thèse de doctorat, Univ. de Savoie en cotutelle avec l'université de Genève (en préparation pour 2003).
10. BEC A. Transferts de carbone organique entre les communautés microbiennes et le mésoplancton : cas de deux lacs de statuts trophiques différents. Doctorat de l'Université de Savoie en cotutelle avec l'université Blaise Pascal, Clermont Ferrand (en préparation pour 2003).

4. Communications scientifiques avec actes :

Congrès internationaux :

1. GAYTE X., FONTVIEILLE D. 1998. Dynamics of biodegradable and refractory dissolved organic carbon (BDOC, RDOC) in a meso-eutrophic lake (Lake Bourget, France) 27th SIL Congress, Dublin, Ireland.
2. FAUVET G., FONTVIEILLE D., 1998. Effect of geotextile filters on efficiency of organic carbon consumption in a biological reactor. *International Conference on Microbial Ecology of Biofilms LAKE BLUFF (III), USA.*
3. BRUNET C., BOISSON J.C., FONTVIEILLE D., 1998. Stream periphyton response to changes in energy supply along a self-purification gradient downstream the discharge of a wastewater treatment plant. *SIL congress, DUBLIN, Ireland.*
4. DOMAIZON I., DEVAUX J., 1998. Impacts of *Hypophthalmichthys molitrix* on plankton communities and water quality of an eutrophic reservoir. XXVII International congress SIL, Dublin, Irlande.
5. CHARPIN M., DOMAIZON I., DEVAUX J., 1998. Impact of summer nitrogen depletion on the nutritional state of phytoplanktonic communities in the eutrophic Lake Aysat. XXVII International congress SIL, Dublin, Irlande.
6. VINÇON-LEITE B., GAYTE X., BALVAY G., BLANC P., DRUART J.C., FONTVIEILLE D., TASSIN B., 1999. Interannual variability of phytoplankton dynamics in Lake Bourget (Savoie, France) during two successive years (1995-96). Lake 99 Conference, COPENHAGUE, Danemark.
7. VINÇON-LEITE B., GAYTE X., BALVAY G., BLANC P., DRUART J.C., FONTVIEILLE D., PAOLINI G., TASSIN B., 1999. Complementary monitoring strategy for long-term lake survey - Case study of Lake Bourget (Savoie, France). Lake 99 Conference, COPENHAGUE, Danemark.
8. VIBOUD S., FONTVIEILLE D., 2000. Change in structure and carbon transfer strategy of microbial communities over the two basins of the lake Annecy (France). 7th European Marine Microbiology Symposium, Sept. 2000, The Netherlands
9. DOMAIZON I., BASSET M., SARGOS D., DEBROAS D., 2000. Effets des ressources et de la prédation sur la structure et le fonctionnement du réseau trophique microbien : approche expérimentale en mésocosmes. CILEF/AFL, France.
10. JARDILLIER L., BASSET M., DOMAIZON I., DEBROAS D., AMBLARD C., 2000. Effets de la prédation des protistes phagotrophes et des cladocères sur la dynamique de différents groupes bactériens en milieu lacustre. CILEF/AFL, France.
11. DEBROAS D., DOMAIZON I., JARDILLIER L., BASSET M., AMBLARD C., 2001. Bottom-up and top-down effects on the bacterial community structure. SIL, Australie.
12. DOMAIZON I ; VIBOUD S., FONTVIEILLE D., 2002. Taxon specific bacterial grazing rates of flagellates in lake Annecy – importance of mixotrophy in microbial food web. 8th Symposium on Aquatic Microbial Ecology, Taormina.
13. VIBOUD S., FONTVIEILLE D., 2002. Relationships between bacterioplanktonic population structure and production efficiency: a case study from two alpine lakes. 8th Symposium on Aquatic Microbial Ecology, Taormina.

Congrès nationaux :

1. VIBOUD S., FONTVIEILLE D., 1998. Evolution des effectifs et des biovolumes des populations microbiennes dans deux lacs de niveaux trophiques différents. Bull. Soc. zool. Fr, 123, 4 : 373-381.
2. GAYTE X. & FONTVIEILLE D., 1999. Rôle de l'interface cours d'eau lac dans la transformation des flux de nutriments apportés par les affluents : Analyse en première approche des caractéristiques des sédiments de la zone de confluence du principal affluent du lac du Bourget. Bull. Soc. Zool. Fr., 124 (1): 121-122.
3. BRUNET C., BOISSON J.C., FONTVIEILLE D., 1999. Evolution de la dynamique de croissance de biofilms épilithiques soumis à une forte charge en éléments nutritifs. Etudes en canaux artificiels. CR du congrès AFL-UOF, Bordeaux 1999.
4. FONTVIEILLE D., VIBOUD S., FAUVET G., 1999. Développements et rôle des biomasse fixées en eaux courantes. *Techniques, Sciences, Méthodes*, 11: 55-60.

Contrats de recherche :

1. GAYTE X., VINCON-LEITE B., FONTVIEILLE D., TASSIN B., BLANC P. PELLETIER J. BALVAY G., 1998. Evolution des apports de nutriments et de l'état trophique du lac du Bourget. Rapport au District Urbain de la Cluse de Chambéry (DUCC) et à l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse. 310pp.
2. FONTVIEILLE D., VIBOUD S., 1999. Evolution hydrobiologique du lac de Tignes. Rapport de fin de contrat, commune de Tignes (Savoie), 60pp
3. FONTVIEILLE D., VIBOUD S., GAYTE X., 1999. Le bactérioplancton du Léman. Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman (CIPEL). Campagne 1998 : 87-100.
4. GERDEAUX D., VERNEAUX V., VIBOUD S., FONTVIEILLE D., ANGELI N., ROSSO-DARMET A., LAFONT M., 1999. Le fonctionnement trophique du lac d'Annecy. Rapport de fin de contrat, IX^{ème} Contrat Plan Etat-Région, Région Rhône Alpes, 111p.
5. FONTVIEILLE D., VIBOUD S., BERNARD G., 2000. Carte bathymétrique du lac de Tignes. CDROM réalisé pour la commune de Tignes (Savoie).
6. FONTVIEILLE D., VIBOUD S., 2000. Le bactérioplancton du Léman. Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman (CIPEL). Campagne 1999 : 113-128.

8. Rapporteurs pour revues scientifiques :

D. Fontvieille : Revue de Biologie Tropicale de l'ORSTOM, Annales de Limnologie, Revue des Sciences de l'Eau, Hydrobiologia, Water Research.

I. Domaizon: Revue des Sciences de l'eau.

9. Documents et communication de vulgarisation :

FONTVIEILLE D. & PAOLINI G., 1999. Structure des communautés biologiques et fonctionnement du lac du Bourget. Conférence, MJC d'Aix les Bains.

Organisation de congrès et colloques :

Organisateur du Congrès de l'Association Française de Limnologie d'avril 1998 sur le site de l'Université de Savoie au Bourget du Lac.

Organisateur du colloque "Rôle des microorganismes dans les systèmes aquatiques : biodégradation, transferts de biomasse, interaction avec les autres organismes, incidences sur les activités humaines", en collaboration avec la Commission Hydrologie Appliquée de l'AGHTM (Association Générale des Hygiénistes et des Techniciens Municipaux), Université de Savoie, Le Bourget du Lac, avril 2000.

Organisateur de la 2^{ème} réunion contractuelle des membres du **consortium EUROLAKES** (Université de Savoie, Le Bourget du Lac, janvier 2001) sur le thème de la gestion des grands lacs européens. Cette réunion a rassemblé pendant 4 jours une quarantaine de personnes venues des 7 pays partenaires du contrat. La 1^{ère} demi-journée (publique) était consacrée à des exposés donnés par les représentants des principales administrations en charge des problèmes des lacs alpins : Région Rhône Alpes, Agence de l'Eau, Conseil Général de Savoie, Conservatoire des Milieux Naturels.

PUBLICATIONS/COMMUNICATIONS EQUIPE CUBER 1998-2002

Publications scientifiques dans revues indexées :

1. NEMOZ-GAILLARD E., BERNARD C., ABELLO J., CORDIER-BUSSAT M., CHAYVIALLE J.A., **CUBER J.C.**, 1998. Regulation of cholecystokinin secretion by peptones and peptidomimetic antibiotics in STC-1 cells. *Endocrinology*, 139, 3, 932-938.
2. SAIFIA S., CHEVRIER A.-M., BOSSHARD A., **CUBER J.C.**, CHAYVIALLE J.A., ABELLO J., 1998. Galanin inhibits glucagon-like peptide-1 secretion through pertussis toxin-sensitive G protein and ATP-dependent potassium channels in rat ileal L-cells. *J. Endocrinol.*, 157, 33-41.
3. NEMOZ-GAILLARD E., CORDIER-BUSSAT M., FILLOUX X., **CUBER J.C.**, VAN OBBERGHEN E., CHAYVIALLE J.A., ABELLO J., 1998. Bombesin stimulates cholecystokinin secretion through mitogen-activated protein kinase-dependent and -independent mechanisms in the enteroendocrine STC-1 cell line. *Biochem. J.*, 199331, 129-135.
4. NEMOZ-GAILLARD E., BOSSHARD A., REGAZZI R., BERNARD C., **CUBER J.C.**, TAKAHASHI M., CATSICAS S., CHAYVIALLE J.A., ABELLO J., 1998. Expression of SNARE proteins in enteroendocrine cell lines and functional role of tetanus toxin-sensitive proteins in cholecystokinin release. *Febs Lett.*, 425, 1, 60-70.
5. CORDIER-BUSSAT M, BERNARD C, LEVENEZ F, KLAGES N, LASER-RITZ B, PHILIPPE J, CHAYVIALLE JA, **CUBER JC** 1998. Peptones stimulate the secretion of the incretin hormone glucagon-like peptide 1 and the transcription of the proglucagon gene. *Diabetes*, 47, 7, 1038-1045.
6. DUMOULIN V., MORO F., BARCELO A., DAKKA T., **CUBER J.C.**, 1998. Peptide YY, glucagon-like peptide-1 and neurotensin responses to luminal factors in the isolated vascularly perfused rat ileum. *Endocrinology*, 139, 9, 3780-3786.
7. YE F., CHEVRIER A.M., LANGLOIS D., **CUBER J.C.**, SAEZ J.M., CHAYVIALLE J.A., ABELLO J., 1998. Insulin-like growth factor I receptors are expressed by the entero-endocrine cell line STC-1: relationship with proliferation and cholecystokinin expression. *Horm. Res.*, 50, 3, 183-189.
8. PLAISANCIE P., BARCELO A., MORO F., CLAUSTRE J., CHAYVIALLE J.A., **CUBER J.C.**, 1998. Effects of neurotransmitters, gut hormones and inflammatory mediators on mucus discharge in rat colon. *Am. J. Physiol.*, 275, G1073-G1084.
9. SAURIN J.C., NEMOZ-GAILLARD E., SORDAT B., **CUBER J.C.**, COY D., ABELLO J., CHAYVIALLE J., 1999. Bombesin stimulates adhesion, spreading, lamellipodia formation, and proliferation in the human colon carcinoma Isreco1 cell line. *Cancer Res.*, 59, 4, 962-967
10. ANINI Y., FU-CHENG X., **CUBER J.C.**, KERVRAN A., CHARIOT J., ROZE C., 1999. Comparison of the postprandial release of peptide YY and proglucagon derived peptides in the rat. *Eur. J. Physiol.*, 438, 3, 299-306
11. CLAUSTRE J., BRECHET S., PLAISANCIE P., CHAYVIALLE J.A., **CUBER J.C.**, 1999. Stimulatory effect of β -adrenergic agonists on ileal L cell secretion and modulation by α -adrenergic activation. *J. Endocrinol.*, 162, 2, 271-278
14. MERLE A., FAUCHERON J.L., DELAGRANGE P., RENARD P., ROCHE M., **PELLISSIER S.**, 2000. Nycthemeral variations of cholecystokinin action on intestinal motility in rats: effects of melatonin and S 20928 a melatonin receptor antagonist. *Neuropeptides* U.K, 34, 6, 385-391
15. CHABERT J., **PELLISSIER S.**, ROCHE M., 2000. Reversed bowel segments for the treatment of short bowel syndrome: assessment of their minimal length in correlation with electromyographic pattern in the rat. *Neurogastroenterology and Motility*, 12, 53-63
12. BARCELO A., CLAUSTRE J., MORO F., CHAYVIALLE J.A., **CUBER J.C.**, PLAISANCIE P., 2000. Mucin secretion is modulated by luminal factors in the isolated vascularly perfused rat colon. *Gut*, 46, 2, 218-224
13. MERLE A., DELAGRANGE Ph., LESIEUR D., RENARD P., **CUBER J.C.**, ROCHE M., **PELLISSIER S.**, 2000. Effects of melatonin and its inhibition by S22153 on small bowel motility patterns in rats. *J. of Pineal Research*, 29, 2, 116-124
14. MORO F., LEVENEZ F., NEMOZ-GAILLARD E., **PELLISSIER S.**, PLAISANCIE P., **CUBER J.C.**, 2000. Release of guanylin immunoreactivity from the isolated vascularly perfused rat colon. *Endocrinology*, 141, 2594-2599, 2000
15. CUCHE G., **CUBER J.C.**, MALBERT C.H., 2000. Ileal short chain fatty acids inhibit gastric motility by an humoral pathway. *Am. J. Physiol.*, 279,5, G925-G933
16. BRECHET S., PLAISANCIE P., DUMOULIN V., CHAYVIALLE J.A., **CUBER J.C.**, CLAUSTRE J., 2001. Involvement of β 1- and β 2- but not β 3- adrenoceptor activation in adrenergic PYY secretion from the isolated colon. *J. Endocrinol.*, 198, 177-183
17. BARCELO A., CLAUSTRE J., TOUMI F., BURLET G., CHAYVIALLE J.A., **CUBER J.C.**, PLAISANCIE P., 2001. Effect of bile salts on colonic mucus secretion in the isolated vascularly perfused rat colon. *Dig. Dis. Sci.*, 46, 6, 1223-1231

18. MORO F., LEVENEZ F., DURUAL S., PLAISANCIE P., THIM L., GIRAUD A.S., **CUBER J.C.**, 2001. Secretion of the trefoil factor TFF3 from the isolated vascularly perfused rat colon. *Regulatory Peptides*, 101, 1-3, 35-41

4. Communications scientifiques avec actes :

1. MORO F., LEVENEZ F., GUIGNARD H., CHAYVIALLE J.A., GIRAUD A.S., **CUBER J.C.** Intestinal guanylin is both a lumone and a hormonal peptide in rats. Annual Meeting of the American Gastroenterological Association and Digestive Disease Week, New Orleans, 17-20 mai 1998, *Gastroenterology*, 1998, 114 (4): G1631.
2. MORO F., LEVENEZ F., GUIGNARD H., CHAYVIALLE J.A., GIRAUD A.S., **CUBER J.C.** Secretion of intestinal trefoil factor from the isolated vascularly perfused rat colon. Annual Meeting of the American Gastroenterological Association and Digestive Disease Week, New Orleans, 17-20 mai 1998, *Gastroenterology*, 1998, 114 (4): G1632
3. BARCELO A., PLAISANCIE P., CHAYVIALLE J.A., **CUBER J.C.** Régulation de la sécrétion de mucus par les acides gras à chaîne courte. Réunion des Centres de Recherche en Nutrition Humaine, Lyon, 1998
4. MERLE A., **PELLISSIER S.**, DELAGRANGE Ph., ROCHE M. Nycthemeral variations of intestinal motility in rats : effects of melatonin and S 22153 a melatonin receptor antagonist. 17th International Symposium on Gastrointestinal Motility. Bruges, Belgique, septembre 1999 *Neurogastroenterology and Motility* 1999, 11, 4, 275.
5. MERLE A., DELAGRANGE Ph., ROCHE M., **PELLISSIER S.** Cholecystokinin effect on intestinal motility depends on the light-dark cycle in the rat: actions of melatonin and its receptor antagonist S 20928. Brain-Gut Symposium, Toulouse, Juillet 2000, *Neurogastroenterology and Motility*, 2000, 12, 397.
6. MERLE A., DELAGRANGE Ph., ROCHE M., **PELLISSIER S.**, Modulation of intestinal motility by melatonin in rats. Implication of cholecystokinin. 68^{ème} Meeting de la Société de Physiologie, Liège, septembre 2000, *European Journal of Physiology*, 2000, 439, R 252, 80
7. BARCELO A., CLAUSTRE J., BURLET G., CHAYVIALLE J.A., **CUBER J.C.**, PLAISANCIE P. Régulation de la sécrétion de mucines dans un modèle de côlon isolé perfusé et vascularisé de rat. Réunion du Club d'Etude des Cellules Epithéliales Digestives. Paris, 2000
8. DURUAL S., BLANCHARD C., BOUZAKRI K., STUTVOET S., HEIM M., LABOISSE C., VIDAL H., MINTY C., **CUBER J.C.** Les IL-4/13 stimulent l'expression du peptide en feuille de trèfle 3 (TFF3) : implication possible de STAT-6. Réunion du Club d'Etude des Cellules Epithéliales Digestives. Nîmes, 2001
9. LEVENEZ F., DURUAL S., BLANCHARD C., **CUBER J.C.** Bile salts are physiological stimulants of trefoil factor 3 (TFF3) secretion in the rat. Annual Meeting of the American Gastroenterological Association and Digestive Disease Week, Atlanta, 20-24 mai, 2001
10. DURUAL S., MORO F., GOUYER V., BLANCHARD K., LABOISSE C., AUBERT J.P., GIRAUD A., **CUBER J.C.** Expression of the human trefoil factor 3 (TFF3) in relation to growth and differentiation of HT-29 cell subpopulations. Annual Meeting of the American Gastroenterological Association and Digestive Disease Week, Atlanta, 20-24 mai, 2001
11. **PELLISSIER S.**, CHABERT J., FAUCHERON J.L., ROCHE M. Determination of the optimal length of a reversed loop in short bowel syndrome. Experimental study in rats. 69^{ème} réunion de la Société de Physiologie, Montpellier, septembre 2001, *European Journal of Physiology*, 2001, 442, R131, 190.

5. Conférences sur invitation :

1. **CUBER J.C.** Les fonctions exocrines et endocrines intestinales. Ecole Normale Supérieure de Lyon, 1998
2. **CUBER J.C.** Le système endocrine intestinal: CEA Fontenay-aux-Roses, 1999
3. **CUBER J.C.** Protection de la barrière intestinale et peptides en feuille de trèfle, Club français de Motricité Digestive, Grenoble, 2000

7. Chapitres ouvrage et ouvrages entiers :

1. CHABERT J., **PELLISSIER S.**, ROCHE M., **1998.** Study of short bowel syndrome in rats: effects of a reversed loop on the motility adaptations of the remaining intestine. 8th World Congress of the International Gastro-Surgical Club, Eds : Bismuth H., Galmiche J.P., Huguier M., Jaeck D., p179-183.
2. **CUBER J.C.**, 1999. Peptide release from the upper small intestine. in *Gastrointestinal Endocrinology*. The Human Press Inc., Totowa, NJ, p335-p357.

8. Rapporteurs pour revues scientifiques :

J.C. Cuber et S. Pelissier : Endocrinology, American Journal of Physiology, Oncogene, Gut, European Journal of Physiology, Life Sciences, Digestion, Gastroentérologie Clinique et Biologique.

Contrats de recherche et partenariat industriel

Contrat de recherche avec l'INRA de Rennes :

Dosage d'hormones intestinales chez le porc, 1997-1998

Contrats de recherche avec l'Industrie Pharmaceutique :

Rythme circadien de la motricité intestinale chez le rat et screening pharmacologique de divers ligands mélatoninergiques (1997-1998)

Mise en évidence de plusieurs sous-types réceptoriels de la mélatonine dans la réponse motrice de l'intestin à la prise de nourriture chez le rat (1998-1999)

Actions de ligands mélatoninergiques dans la réponse motrice inflammatoire de l'intestin grêle et du colon chez le rat (1999-2001)

Biosynthèse de la mélatonine intestinale (2000-2001)

Etude de l'action de ligands mélatoninergiques sur la prise pondérale (2001-2002)

Contrat de recherche avec l'Industrie Alimentaire :

Influence des probiotiques sur la barrière intestinale : 2000-2002

Contrat de recherche avec les Hôpitaux :

Influence de la nutrition entérale sur les sécrétions endocrines chez l'enfant : 2002

Etude par électromyographie de la motricité du réservoir iléal en J et de l'iléon d'amont après coloproctomie totale et anastomose iléo-anale chez l'homme (2000-2002)

Brevet Européen d'Application Thérapeutique

Utilisation de ligands mélatoninergiques pour l'obtention de compositions pharmaceutiques destinées à la prévention ou au traitement des pathologies du système gastrointestinal.

Demande de Brevet français déposée le 23 juin 1999 à l'Institut National de la Propriété Industrielle sous le n° 9908019

Ph. DELAGRANGE, P. RENARD Laboratoires SERVIER

S. PELLISSIER, A. MERLE Laboratoire de Physiologie et Pharmacologie Appliquées à l'Environnement- Université de Savoie

EQUIPE RTR :

**RELATIONS TROPHIQUES, REHABILITATION
ET GESTION DES RESSOURCES PISCICOLES**

1. Introduction :

Les programmes de recherche sur les poissons lacustres ont pris de l'importance à Thonon au début des années 80 lorsque le niveau d'eutrophisation de la plupart des lacs subalpins devenait préoccupant. Dans ce contexte, les recherches en ichtyologie avaient pour principal objectif la restauration des populations de salmonidés lacustres en déclin. En effet l'eutrophisation croissante avait provoqué la dégradation des frayères naturelles des salmonidés lacustres, ce qui avait entraîné une diminution du recrutement. Actuellement la qualité des eaux des lacs subalpins s'améliore à la suite des mesures prises pour contrôler les apports en éléments fertilisants. Le retour des lacs à un état oligotrophe et le développement des programmes de pacage lacustre ont favorisé le retour d'un peuplement piscicole dominé par les salmonidés et la perche fluviatile dans la plupart des lacs. Les pêches d'omble chevalier et de corégone ont retrouvé ou même parfois dépassé les niveaux enregistrés avant la phase d'eutrophisation tandis que les populations de truite de lac qui se reproduisent dans les affluents n'ont pas évolué aussi favorablement. Le cas de la truite est en effet plus complexe que celui des autres salmonidés lacustres. Dans les mêmes bassins versants, cohabitent des populations migratrices et sédentaires. Les populations autochtones de souche méditerranéenne sont concurrencées dans beaucoup de cours d'eau par des souches d'origine atlantique issues du repeuplement. C'est pourquoi nous avons décidé d'entreprendre un programme d'écogénétique visant à gérer les différents écotypes et à restaurer la biodiversité d'origine.

Dans les lacs oligotrophes, la productivité piscicole dépend en grande partie du bon fonctionnement du réseau trophique. La boucle microbienne assure le recyclage de la matière organique et des nutriments et permet de compenser la faiblesse des apports externes. En association avec des biologistes de l'université de Chambéry, dans le cadre de l'UMR CARRTEL, des programmes de recherche ont été engagés sur le fonctionnement du réseau trophique du lac d'Annecy. Des équipes de recherche des universités de Besançon, de Clermont-Ferrand et de Montréal participent aussi à ce programme pluridisciplinaire. Le lac d'Annecy est redevenu nettement oligotrophe tout en conservant une forte production piscicole avec des espèces à haute valeur halieutique (corégone et omble chevalier) contrairement à certains lacs suisses où ces espèces sont atteintes de nanisme. De plus les larves et les alevins de perche représentent chaque été à Annecy une biomasse considérable, la survie larvaire étant vraisemblablement favorisée par la qualité de proies disponibles. Ceci permet de supposer que l'efficacité du réseau trophique présente des variations importantes à la fois sur les plans quantitatifs et qualitatifs entre différents lacs de degré trophique comparable.

L'eutrophisation a constitué pendant les années 70 et 80 la principale source de perturbation menaçant l'équilibre écologique des lacs. Au cours des vingt dernières années, l'évolution du climat s'est traduite par une élévation moyenne de la température de l'eau du Léman d'un degré. Les poissons comme tous les ectothermes sont extrêmement sensibles à une élévation de la température. Le réchauffement des lacs est par conséquent susceptible de modifier la vitesse de croissance des poissons, le déroulement de leur cycle reproducteur, la survie des stades embryolavaires,... et d'agir indirectement en modifiant la disponibilité en nourriture, plus particulièrement en modifiant la dynamique saisonnière du zooplancton. Dans ce contexte, les

suivis diachroniques initiés au cours des années 80 sur la dynamique des populations et le déroulement des cycles reproducteurs ont pris une nouvelle importance. Les bases de données constituées par le suivi du zooplancton et des principales espèces exploitées fournissent des informations très intéressantes pour permettre d'évaluer l'impact des changements globaux (changements à la fois climatiques et trophiques). L'intérêt de ces bases de données est renforcé par l'existence à Thonon de séries de données sur l'évolution physicochimique du Léman, sur le climat et sur le phytoplancton, ce qui nous permet d'étudier l'évolution des différentes populations piscicoles dans le contexte de l'évolution de tout l'écosystème.

RELATIONS TROPHIQUES, REHABILITATION ET GESTION DES RESSOURCES PISCICOLES

Responsable : C. Gillet

Thématique Etude des Réseaux Trophiques des Ecosystèmes Lacustres

(Facteurs de productivité piscicole en lacs)

(Animateur D. Gerdeaux)

N. Angeli (CNRS CR)
G. Balvay (CR)
D. Gerdeaux (DR)
J. Guillard (IR 50 %)

Doctorant

A. Bec
S. Nicopoulos
M.E. Perga

Equipe associée LBE Besançon

V. Verneaux (MC)
D. Gilbert (MC)

Thématique Réhabilitation et gestion des ressources piscicoles

(Animateur A. Champigneulle)

A. Champigneulle (IR)
J.P. Dubois (CR)
C. Gillet (CR)
G. Monet (IR 20 %)

Assistant Ingénieur - Techniciens

M. Colon (AI)
J. Escomel (TR)
V. Hamelet (TR)
P. Laurent (TR U. Exp)

2. Etude des Réseaux Trophiques des Ecosystèmes Lacustres (*Facteurs de productivité piscicole en lacs*).

2.1. Introduction :

Les travaux de recherche développés sur la dynamique des populations de poissons du lac d'Annecy ont montré que le lac soutient une production halieutique forte malgré un statut trophique pauvre (Fig. 1.). Le laboratoire disposait en 1999 de nombreuses données limitées au compartiment pélagique, phytoplancton et zooplancton. Un programme pluridisciplinaire a été initié en 1999 pour aborder simultanément le compartiment littoral et benthique du lac et plus particulièrement dans un premier temps le macrobenthos, oligochètes et chironomes ainsi que le compartiment bactérien pélagique. Il a bénéficié de crédits de la Région Rhône-Alpes en 1999 dans le cadre du IX^{ème} contrat de Plan, puis en 2000-2003 dans le cadre de l'appel d'offre « Développement durable » de la Région. Un financement de l'ACI « Ecologie Quantitative » a été également obtenu dans le cadre d'un programme fédérateur « Signification fonctionnelle de la biodiversité dans les écosystèmes aquatiques : approches expérimentales et théoriques » (Responsables : C. Amblard, et G. Lacroix). Les travaux de suivi sont pour partie financés annuellement par le SILA (Syndicat Intercommunal du lac d'Annecy) et par les associations de pêcheurs amateurs et professionnels.

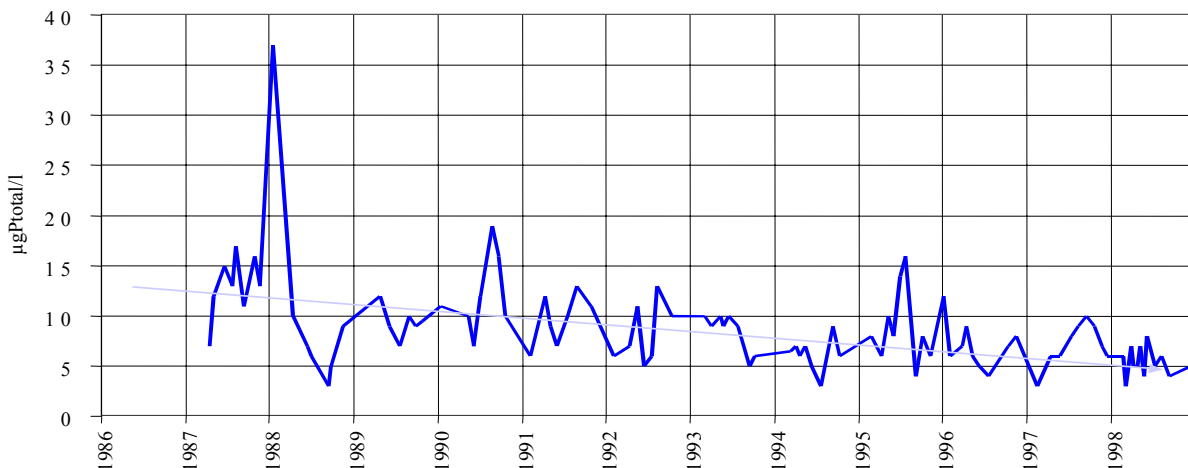


Figure 1 : Evolution des teneurs en phosphore dans le lac d'Annecy.

Participant ou ont participé à ce projet des collègues de l'UMR (N. Angeli, G. Balvay, I. Domaizon, J. C. Druart, D. Fontvieille, D. Gerdeaux, S. Viboud), des collègues du laboratoire associé de Besançon (D. Gilbert, V. Verneaux), des collègues de l'Université de Clermont-Ferrand (G. Bourdier, C. Desvilletes) et du Cemagref Lyon (M. Lafont).

Les travaux de 3 thèses s'inscrivent dans ce cadre : A. Bec, thèse de l'Université de Savoie en collaboration avec Clermont (1999-2002) sur l'utilisation des acides gras comme traceurs des chaînes trophiques, M.-E. Perga, thèse AMN ENS Lyon, sur l'écologie isotopique des communautés de poissons, et S. Nicopoulos, bourse de thèse Région en cotutelle avec UQAM-GEOTOP, Dolorès Planas, sur l'écologie du compartiment littoral et benthique.

2.2. Principaux résultats :

- Compartiment benthique :

Très peu de connaissances étaient disponibles et anciennes (1973-1974). Il était indispensable d'effectuer un nouvel inventaire et de caractériser la biodiversité du macrobenthos. Les oligochètes et les chironomes ont été étudiés respectivement par M. Lafont et V. Verneaux. La communauté des oligochètes est riche de 10 espèces de Tubificidae et une de Lumbriculidae. L'indice oligochète EOS2 (Juget *et al.*, 1995)¹⁰, valeurs de 11 à 8, traduit dans l'ensemble une bonne capacité d'assimilation des sédiments étudiés, mais les oligochètes « sensibles » restent peu représentés. Leur rareté traduit que la restauration des sédiments du lac se poursuit. La variété taxinomique du peuplement macrobenthique est de 58 taxons. La densité moyenne est de 451 individus/0,1m². La grande richesse résulte du grand nombre de genres chironomidiens (33 genres, 130 espèces). Comparé à d'autres lacs, le lac d'Annecy peut être qualifié de lac à forte biodiversité macrobenthique. L'étude de la distribution bathymétrique du peuplement a montré que le déficit faunistique suivant la profondeur est assez faible. Selon l'indice Verneaux¹¹, le lac est considéré comme polybiotique et méro-biotique traduisant un très bon potentiel biogénique du lac avec un fonctionnement quasi optimal. Cette étude préliminaire descriptive du macrobenthos a été prolongée par une étude plus fonctionnelle à partir de 2000. Une estimation des biomasses présentes a été réalisée et une étude des régimes alimentaires faite par examen de contenus de tubes digestifs avant l'utilisation des isotopes stables de l'azote et du carbone. La part des sédiments est toujours forte avec au moins 75% du volume. On note un net gradient bathymétrique de la composition de la fraction identifiable qui est essentiellement des diatomées à 5 et 15 m de fond, puis du zooplancton et du macrobenthos à 30 m de fond. La signature isotopique $\delta^{13}\text{C}$ a été étudiée de façon à calculer la part des effets bathymétrique, saisonnier, générique et géographique dans le déterminisme de cette signature. C'est la profondeur qui explique la majeure partie de cette signature (Fig. 2).

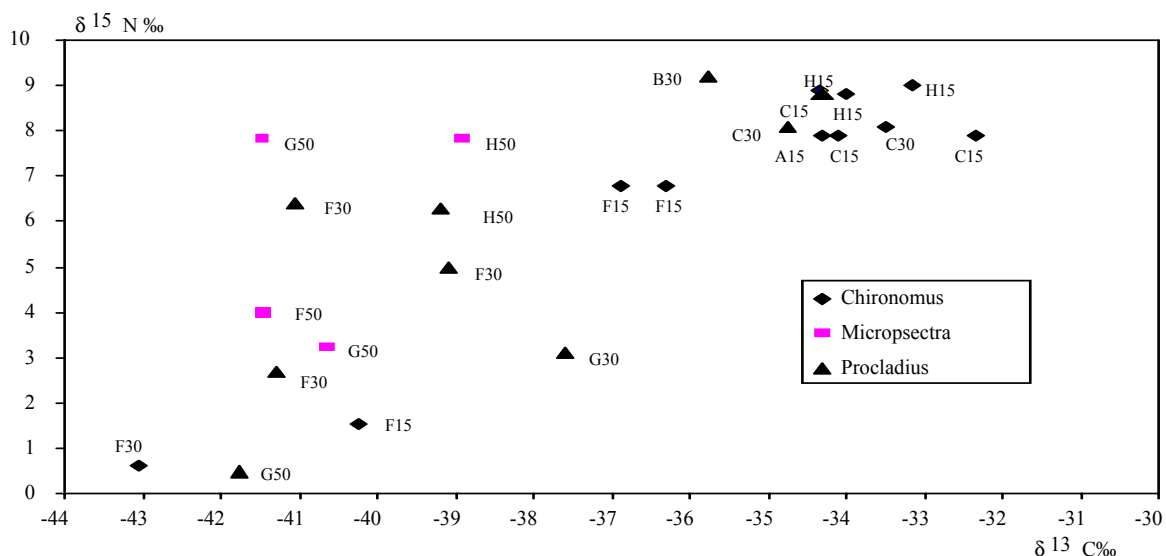


Figure 2 : Position trophique de quelques larves chironomidiennes issues des peuplements de -15m, -30m et -50 m (échantillons 1999).

1- Juget J., Lafont M., Mouthon J. & Gerdeaux D., 1995. Structure des communautés benthiques et pisciaires. In: "Limnologie générale", R. Pourriot & M. Meybeck (eds), Masson, Paris, Milan, Barcelone : 494-513.

¹¹ Verneaux V. et Aleya L., 1998.- Bathymetric distribution of chironomids communities in ten French lakes: Implication on lake classification. *Arch. Hydrobiol.* **142** (2): 209-228.

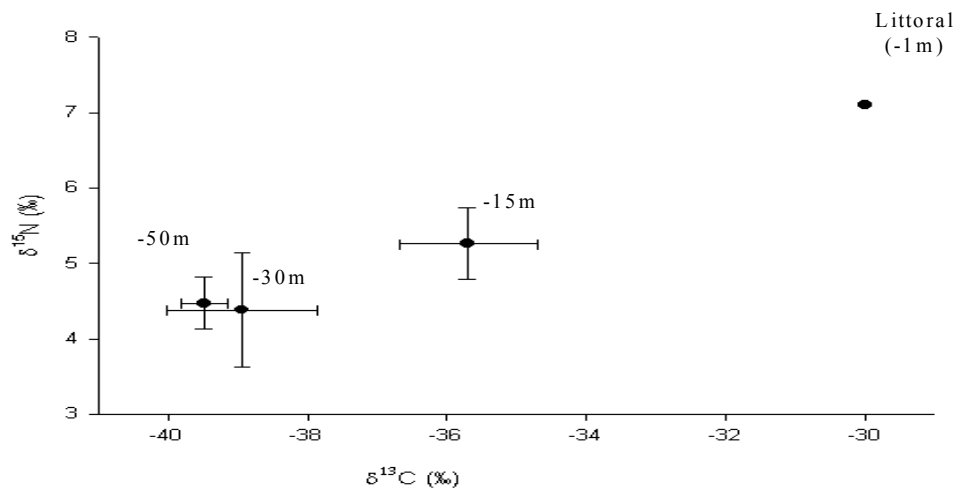


Fig 3 : Signature moyenne en carbone ($\delta^{13}\text{C}$) et en azote ($\delta^{15}\text{N}$) des larves de Diptères chironomides selon la profondeurs d'échantillonnage (août 2001)

Les travaux se poursuivent depuis pour comprendre l'origine des différentes sources de carbone à l'origine de cette forte variabilité de signature isotopique. Les résultats de 1999 sont confirmés par les dosages ultérieurs (Fig. 3). La thèse de S. Nicopoulos abordera l'étude de la production du biofilm benthique pour rechercher l'origine de la signature aussi basse du carbone. Les biofilms épipélétique et épiphytique seront étudiés et leur production comparée en simultanément avec la production primaire. Les mises au point méthodologiques sont faites. Un petit carottier permet de faire les mesures de production primaire épipélétique et les comptages. Des analyses isotopiques sur les différentes classe de taille des organismes microscopiques du sédiment, la fraction comprise entre 25 μm et 10 μm , la fraction <10 μm et les bactéries sont envisagées. Les mêmes mesures seront réalisées pour les micro-organismes associés aux plantes aquatiques (*Chara* sp).

- Compartiment pélagique :

Le compartiment planctonique est suivi au lac d'Annecy depuis longtemps. La biodiversité phytoplanctonique est forte avec plus de 130 taxons dénombrés chaque année. Le peuplement est dominé par les diatomées, les chrysophycées, les dinophycées et les cryptophycées. Le nanophytoplancton constitue une part importante de la biomasse. Sa part dans la production phytoplanctonique est importante, mais le picoplancton est aussi à prendre en compte (Fig.4).

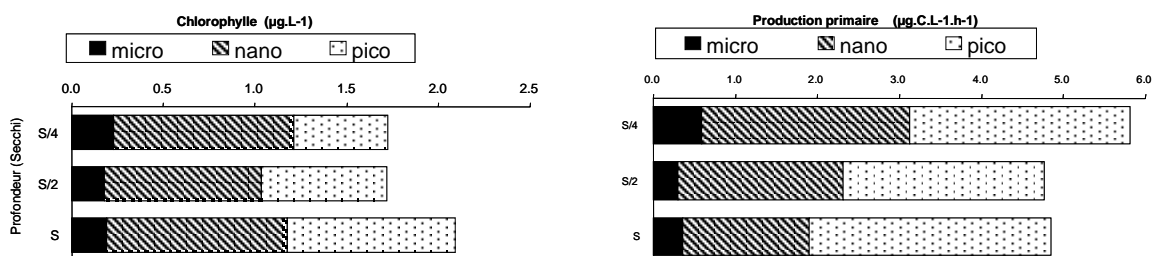


Fig. 4 : Contribution relative des fractions micro-, nano- et picophytoplanctoniques à la biomasse pigmentaire (Chlorophylle a) et la production primaire (fixation de carbone) dans le grand lac en mai 98.

Cette forte contribution du nano et picoplancton à la production primaire est un élément très favorable au transfert de l'énergie vers le zooplancton qui consomme cette ressource.

Le zooplancton du lac d'Annecy est pauvre en espèces. On rencontre 7 à 8 espèces de Cladocères, *Daphnia* (3 esp.), Bosminidae (3 esp.), *Leptodora kindtii* et *Bythotrephes longimanus*, ; 3 espèces de cyclopoïdes, une espèce de calanoïde peu fréquente ; une vingtaine d'espèces de rotifères. Les protozoaires n'ont pas fait l'objet d'un suivi, mais ont été étudiés ponctuellement. Les densités de zooplancton montrent que cette ressource subit une forte pression estivale de prédation par les poissons et qu'en été elle constitue un facteur limitant la croissance des alevins de l'année.

La boucle microbienne pélagique a été étudiée par des méthodes classiques dont les résultats peuvent se résumer en deux points essentiels :

- un bon équilibre entre les organismes autotrophes (dont beaucoup, au plan microbien, sont également mixotrophes) et les organismes hétérotrophes. Il en résulte une utilisation probablement assez optimale des ressources trophiques du lac.

- des valeurs particulièrement importantes tant pour les flux de production bactérienne que pour le flux de prédation des flagellés sur les bactéries par comparaison aux valeurs observées dans des lacs géographiquement voisins ou non (production bactérienne en moyenne cinq fois plus grande que celle mesurée dans le lac Léman et deux fois plus élevée que celle mesurée dans le lac du Bourget ; prédation en moyenne trois fois plus élevée dans le lac d'Annecy que dans le lac Pavin).

La communauté piscicole est dominée par quelques espèces qui constituent l'essentiel de la biomasse : truite, omble chevalier, corégone, perche, brochet, gardon. La pêche exploite surtout les salmonidés. La truite et l'omble sont soutenus par alevinage, alors que la population de corégone est issue de la seule reproduction naturelle. La production halieutique est très forte au lac d'Annecy et l'étude de la croissance saisonnière du corégone a montré un ralentissement estival en relation avec la baisse de la densité du zooplancton et une part très importante des chironomes dans leur alimentation hivernale. La part des chironomes dans l'alimentation de l'omble est encore plus importante (Fig. 5)

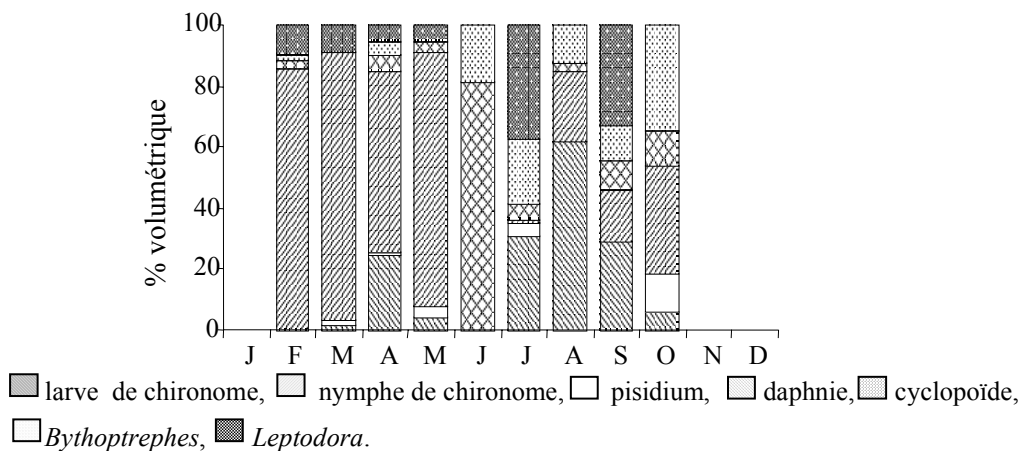


Fig 5. : Evolution saisonnière du régime alimentaire de l'omble chevalier.

La forte pression de pêche sur les salmonidés, l'effort d'alevinage multiplié par 3 ces 10 dernières années ont conduit à se préoccuper de l'impact de cette gestion sur la pêche et sur le fonctionnement de l'écosystème. Alors que la dynamique de la population de corégone est modélisée, la population d'omble reste à étudier. L'effort de recherche a porté sur la gestion de l'omble chevalier avec le suivi de tous les alevins marqués en 1997 qui sont entrés dans la pêcherie en 1999 et en sont sortis cette année. Un nouveau marquage a été réalisé en 2000.

La communauté zooplanctonique du lac d'Annecy est caractérisée par la présence importante de *Cyclops prealpinus* qui est un bon vecteur des cestodes parasites des salmonidés : *Eubothrium salvelini et crassum* et *Proteocephallus longicollis*. La prévalence parasitaire est extrêmement forte sur les salmonidés du lac d'Annecy. Une collaboration a été engagée avec un collègue slovaque, V. Hanzelova, pour étudier ces parasites (1 an : Bourse OTAN + Ministère). Les travaux ont abouti à des résultats de parasitologie plus que d'écologie en raison des problèmes d'identification qui ont été rencontrés. Aucun impact négatif fort n'a pu être mis en évidence en particulier sur les ombles et les corégones. La très forte prévalence parasitaire surprend quand on voit la faible part des cyclopidés dans l'alimentation des poissons.

Les résultats précédents montrent que les connections trophiques semblent très bien fonctionner au lac d'Annecy. Le phytoplancton est facilement consommable par le zooplancton. La boucle microbienne pélagique fonctionne très bien. Quand les ressources alimentaires pélagiques manquent, le poisson exploite les chironomides dont la biodiversité est élevée et le fonctionnement très bon. L'utilisation des isotopes stables du carbone et de l'azote permet une approche des parts respectives de toutes les voies trophiques et l'utilisation des acides gras complète l'approche au niveau pélagique.

L'étude des Acides Gras a permis de montrer l'importance des organismes hétérotrophes dans le régime alimentaire de *Daphnia hyalina*. Les AG d'origine bactérienne sont des marqueurs organiques naturels des bactéries mais également des flagellés hétérotrophes et des ciliés, prédateurs de ces bactéries. Leur présence dans les lipides neutres de *Daphnia hyalina* dénote de l'importance de ces organismes hétérotrophes dans son régime alimentaire (Fig. 6). Il semble que l'évolution de la contribution de ces AG dans les lipides neutres des Daphnies suive plutôt celle mesurée sur la MOP de la classe de taille (30-5µm). Ce résultat semble donc souligner l'importance des flagellés hétérotrophes et des ciliés dans le régime alimentaire de *Daphnia hyalina*.

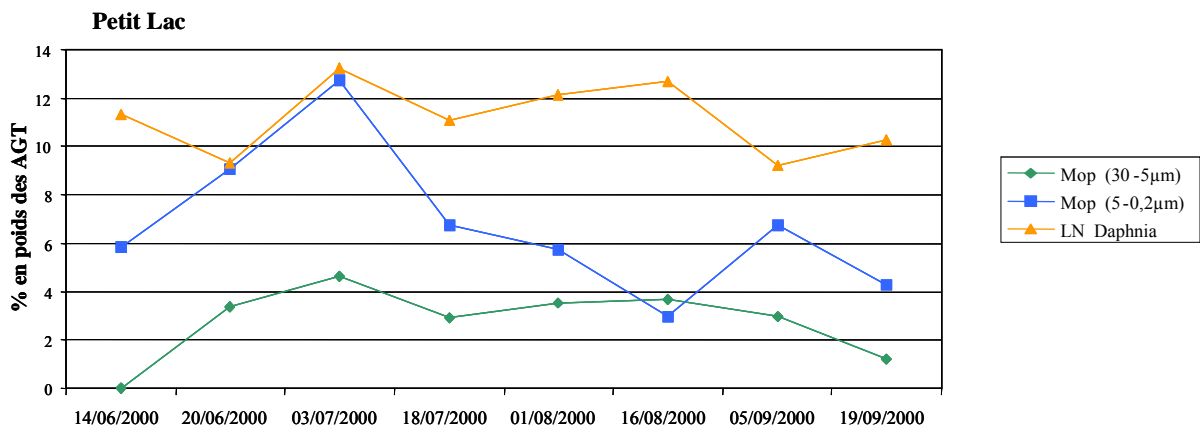


Fig. 6 : Evolution des teneurs en acides gras d'origine bactérienne (AG ramifiés + 18:1 (n-7) extraits de la matière organique particulaire (classes de taille (30-5µm) et (5-0.2µm) et des Lipides Neutres de *Daphnia hyalina*. Les résultats sont exprimés en pourcentage de poids des acides gras totaux.

Il semble que la production zooplanctonique du lac d'Annecy bien que limitée par la faible production primaire est néanmoins favorisée par la présence d'algues de très bonne qualité nutritionnelle. Cette faible production primaire souligne d'autant plus l'importance des protozoaires hétérotrophes dans le régime alimentaire du zooplancton. La littérature scientifique souligne souvent le rôle des protozoaires dans la régulation des populations bactériennes et semble considérer souvent ces derniers comme uniquement bactérivores. Cependant la forte contribution du picoplancton autotrophe à la production algale du lac d'Annecy ainsi que la présence observée de protozoaires typiquement algivores (ciliés Tintinnides) tendent à montrer que le phénomène de « trophic upgrading » est susceptible d'augmenter la production zooplanctonique. Néanmoins, la prédation des protozoaires sur le picoplancton autotrophe peut constituer une concurrence alimentaire vis à vis des zooplanctontes comme notamment les Daphnidae. Il reste donc à savoir si le phénomène de « trophic upgrading » représente alors un bénéfice pour la production zooplanctonique par rapport à la concurrence alimentaire et à l'augmentation des intermédiaires trophiques qu'il engendre.

Les isotopes stables du carbone et de l'azote sont utilisés pour explorer le réseau trophique. Le carbone est employé pour connaître la nature de la matière organique à l'origine des productions zooplanctonique et chironomienne et leur transmission au poisson.

L'étude sur les chironomes montre qu'une source de carbone au $\delta^{13}\text{C}$ très bas existe dans le lac. Cette source est issue d'une succession de minéralisations ou du métabolisme de bactéries chimiotrophes. Les recherches engagées dans la thèse de S. Nicopoulos devront apporter une réponse à cette question. Cette source contribue en partie à l'alimentation de l'omble et du corégone (Fig. 7).

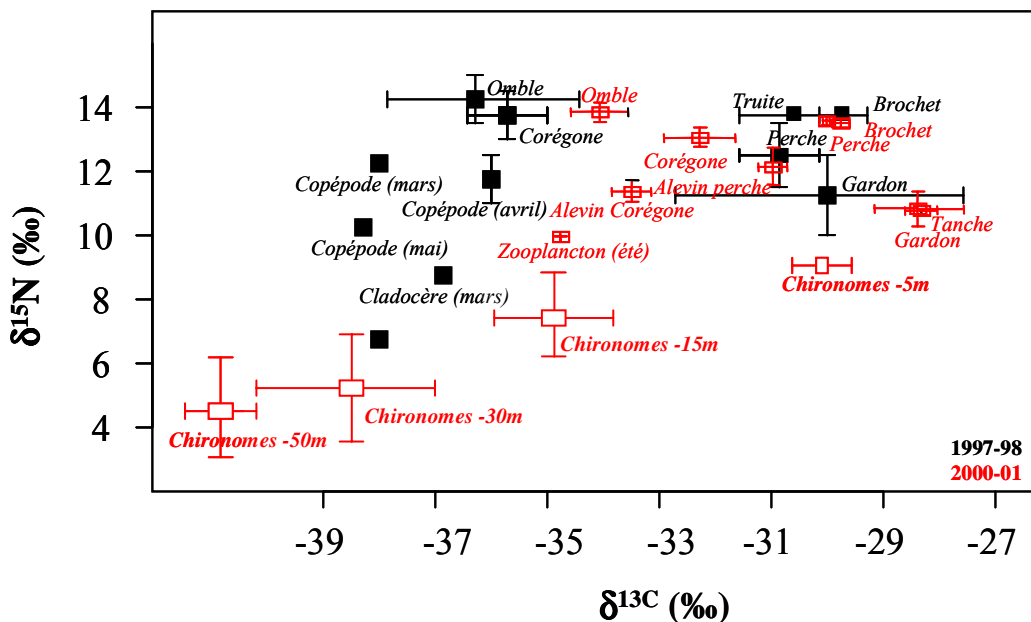


Fig. 7 : Signature isotopique des chironomes, des poissons et quelques données sur le plancton du lac d'Annecy.

La durée d'intégration du signal isotopique est de l'ordre de plusieurs mois dans le muscle du poisson alors qu'elle n'est que de quelques semaines dans le foie. Des résultats préliminaires ont montré que le foie apporte un signal riche (Fig. 8). En 2002, des échantillons ont été collectés mensuellement sur les corégones des lacs d'Annecy et du Léman ainsi que des échantillons de zooplancton sur lesquels

des mesures isotopiques seront faites pour chaque taxon principal : *Leptodora kindtii*, *Bythotrephes longimanus*, Daphnies, Cyclopides. L'évolution de la signature isotopique montre qu'en saison de faible production primaire, le zooplancton utilise significativement bactéries et protozoaires hétérotrophes comme ressource alimentaire. Entre 2000 et 2001, l'allongement hivernal des chaînes trophiques est passé de 2 à 1,5, ce qui signifie que la part relative d'organismes hétérotrophes dans l'alimentation du zooplancton a été plus faible en 2001. Dans la suite du travail, la prise en compte d'autres paramètres mésologiques (production primaire, intensité du brassage, profils thermiques) devrait permettre de préciser les facteurs influençant la consommation relative d'organismes hétérotrophes par le zooplancton.

L'atténuation des variations lors du transfert trophique zooplancton–corégone est due, pour une part, au turn-over du foie, moins rapide que celui du zooplancton. Mais, elle pourrait aussi être due à une sélection du corégone sur un type de proies zooplanctoniques, en fonction de la nature de ses protéines (bactériennes ou phytoplanktoniques), ou à une transmission différentielle de celles-ci. Le travail mené au cours de l'année 2002 permettra de compléter les séries de données 2000-2001 ainsi que de préciser l'étape de transmission du signal entre zooplancton et corégone.

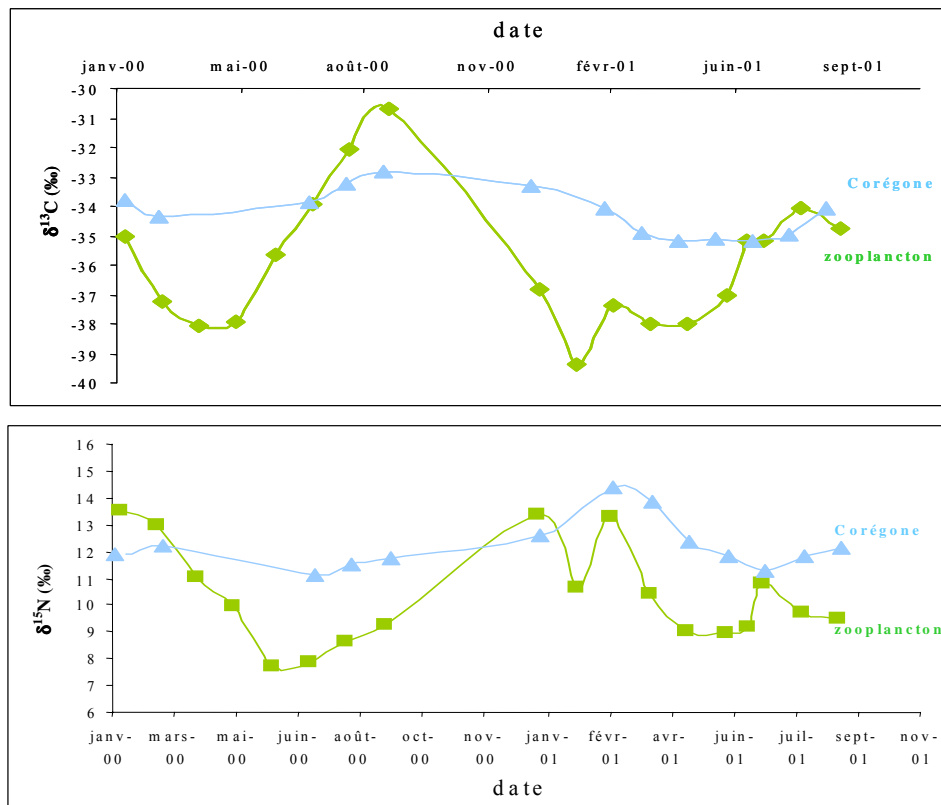


Figure 7. Evolution des signatures isotopiques $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ au cours du suivi 2000-2001 dans le foie des corégones et dans le zooplancton.

En 2003, tous ces résultats et une première synthèse de l'approche isotopique vont être publiés et présentés à la 7^{ème} Conférence Internationale des Limnologues d'Expression Française (CILEF - 2003) qui se tiendra cet été à Montréal. Une collaboration avec le Musée – Observatoire des lacs alpins de la ville d'Annecy est entreprise pour diffuser les résultats de ce projet.

Le programme sera poursuivi en 2003-2004 principalement dans le cadre des 2 thèses en cours. Le recrutement espéré d'un CR travaillant sur le recrutement des poissons s'inscrira dans le prolongement des travaux sur l'importance de la qualité nutritive du plancton et sur l'ajustement de la dynamique de la ressource aux besoins des jeunes poissons. Le réchauffement actuel des lacs entraîne un avancement de la dynamique saisonnière du plancton favorable au recrutement des corégones. Le manque de disponibilité estivale du zooplancton ne permettrait pas à la perche d'accumuler suffisamment de réserves pour avoir une bonne survie hivernale. La situation actuelle du lac d'Annecy présenterait un ensemble de situations toutes favorables à un fonctionnement excellent de l'écosystème en termes de production halieutique.

La thèse de M.E. Perga comprend une approche plus globale de l'utilisation des isotopes stables pour appréhender, au travers du poisson, le fonctionnement global de l'écosystème lacustre. Une étude synchronique de la signature du corégone dans 22 lacs périalpins français, suisses, italien et allemand montre que la surface du lac explique 76% de la variabilité du signal isotopique, la concentration en phosphore étant la seconde variable explicative (Fig. 8).

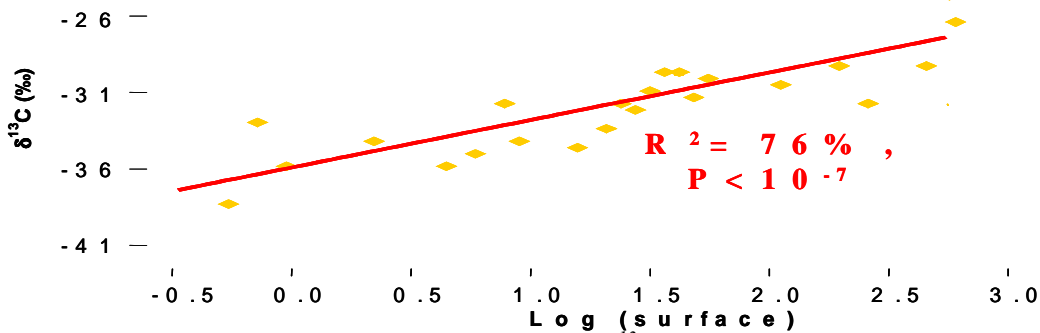


Fig 8. Relation entre surface du lac et signature $\delta^{13}C$ du corégone dans 22 lacs périalpins.

Une étude diachronique complémentaire a utilisé des écailles de corégone archivées au laboratoire depuis 1956. La méthodologie d'utilisation des écailles archivées a été mise au point. Les résultats confirment les conclusions de l'étude synchronique (Fig 9). Ils vont être complétés par le même travail réalisé sur une collection analogue provenant du lac de Constance qui a suivi la même évolution du niveau de trophie que le Léman et sur une collection du lac de Walenstadt (Suisse) que est ultraoligotrophe après avoir été mésotrophe.

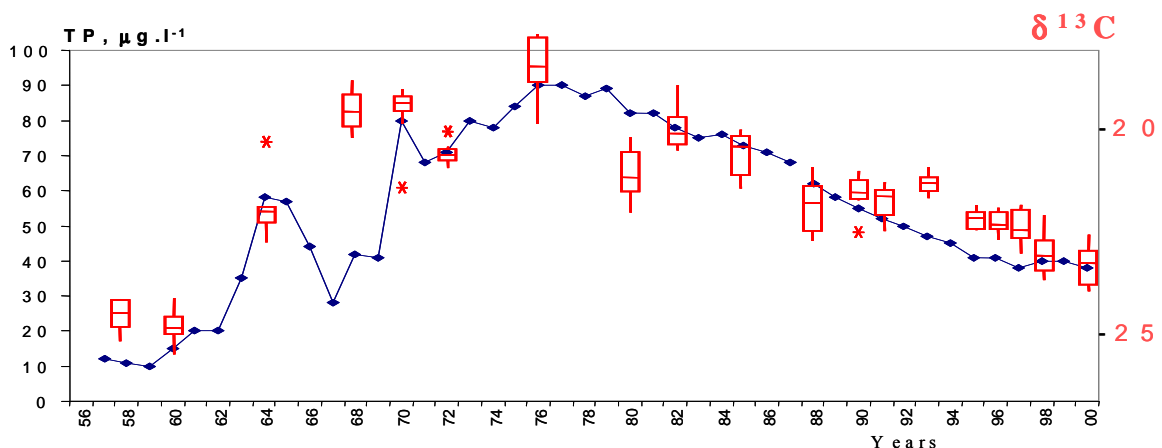


Fig 9 : Evolutions de la concentration en Phosphore total (points) au Léman et de la signature isotopique du corégone (boîtes).

Tous les résultats sont cohérents. Ils s'inscrivent tous dans un modèle global de fonctionnement du cycle du carbone où plus un lac profond est grand et plus il est eutrophe, plus il fonctionne comme puits de carbone. Les lacs étudiés sont tous des lacs calciques. Il sera intéressant de développer la même approche sur des lacs sur substrat acide. La collaboration engagée avec l'UQAM-GEOTOP devrait permettre ce prolongement de la thèse.

2.3. Aspects éco-éthologiques des relations entre larves et alevins de perches et leurs proies planctoniques.

2.3.1. Problématique :

Le léger ralentissement estival de la croissance du corégone, décelé au cours des années 90 et l'effondrement passager des biomasses des daphnies pouvant survenir en juillet (soit peu après le développement larvaire des perches et gardons), incitait à s'intéresser aux planctonophages épilimniques. Au lac d'Annecy, ces espèces ne développent jamais de fortes cohortes de 1+, mais les perches de l'année sont toujours abondantes en région pélagique et ce, jusque tard en saison, contrairement à ce qui est généralement rapporté sur les migrations ontogéniques du genre *Perca*, qu'il s'agisse de l'espèce fluviatile ou de la perchaude. La voracité des larves et très jeunes alevins de poissons étant, par unité de biomasse, nettement plus élevée que celle de leurs aînés (cf. par ex. Post, 1990¹²), ce bon recrutement de la perche s'accompagne fatalement d'un pic épilimnique de planctonophagie, laquelle, chez les poissons, pèse principalement sur les grosses proies, et ce, très précocement (dès 15 mm chez la perche : Menher *et al.*, 1998¹³). Ce point est important. D'une part, en effet, par le jeu des cascades trophiques et des allométries impliquées dans la majorité des processus de transfert, la prédation taille-sélective a des répercussions complexes sur la productivité, la structure et la dynamique des différents compartiments planctoniques (Cf. par ex. les revues de Lazzaro et Lacroix, 1995¹⁴, Angeli *et al.*, 2001). Les grosses proies planctoniques les plus appréciées des corégones ou des salmonidés se recrutent en outre parmi les daphnies et cladocères prédateurs. Or, de par leurs nombreuses singularités, les daphnies peuvent jouer un rôle clef dans le fonctionnement du système pélagique et les transferts (Lazzaro et Lacroix, loc. cit.; Gaedke et Straile, 1999¹⁵). D'après les travaux de Romaré (2000¹⁶) sur les causes de raréfaction de la perche au cours de l'eutrophisation, l'effondrement passager des daphnies au milieu de l'été, avec en suite relais partiel par des petits cladocères, impliquerait une dégradation de la qualité nutritionnelle du zooplancton. Romaré montre en effet qu'une croissance rapide des perchettes ne peut être obtenue qu'avec une diète riche en daphnies, une diète composée de petits cladocères et copépodes n'assurant qu'une faible croissance (phénomène qu'éclaire le travail de thèse d'A. Bec sur les teneurs en acide gras du zooplancton au lac d'Annecy).

2.3.2. Démarche :

Les études sur les 0+ de perches du lac d'Annecy ont donc ainsi accordé une attention particulière à la structure en taille du zooplancton et à la proportion de daphnies et cladocères prédateurs dans la diète des larves et alevins et l'évolution de ces proportions dans les gradients verticaux ou horizontaux de densité en planctonophages. Ces aspects ont donc été abordés en relations avec une évaluation du mode d'occupation de l'espace par les 0+ et de l'incidence que peuvent avoir sur leur régime alimentaire et croissance, les stratégies spatiales spécifiques développées par les différentes classes d'âge/taille, de cladocères et copépodes. Ces stratégies dépendent des capacités de réactions phototactiques des lignées ou des clones vis-à-vis des prédateurs épilimniques (ou plus exactement de la concentration en phéromones excrétée par ceux-ci).

¹² Metabolic allometry of larval juvenile yellow perch (*Perca flavescens*): in situ estimates and bioenergetic models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*

¹³ Gape-size dependent feeding of age-0 perch (*Perca fluviatilis*) and age-0 zander (*Stizostedion lucioperca*) on *Daphnia galeata*. *Archiv Für Hydrobiologie* 42: 191-207

¹⁴ In : Pourriot R., Meybeck M. (eds.), *Limnologie Générale*, 648-686.

¹⁵ Daphnids: keystone species for the pelagic food web structure and energy flow. - A body size-related analysis linking seasonal changes at the population and ecosystem levels. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues*. 53: 587-610

¹⁶ Growth of larval and juvenile perch: the importance of diet and fish density. *J. Fish Biol.* 56: 876-889

Après des campagnes exploratoires intensives mais ponctuelles, l'étude plus fine relancée cette année tente de couvrir la phénologie saisonnière jusqu'à la fin de l'hivernage. Pour la répartition des larves, jeunes alevins, et gros éléments du zooplancton prédateur comme les chaoboridés aux répartitions très hétérogènes, l'étude en cours bénéficie de filets rapides conçus pour minimiser l'évitement par les organismes et de sondeurs à plus haute fréquence que celui de la station (120 et 200 kHz, prêtés par l'IRD dans le cadre du programme SINFAMI ciblé sur les biais induits par le zooplancton dans l'évaluation des biomasses ichtyaires). Autre nécessité méthodologique, la construction d'un corps lesté tractable, sur lequel peut être fixé un sondeur émettant vers la surface, a permis d'évaluer la proportion d'alevins présents dans les premiers mètres sous la surface (une zone pour laquelle le signal émis depuis un bateau est inexploitable).

2.3.3. Résultats :

Contribution des perchettes à la biomasse détectée, variations circadiennes et saisonnières:

L'effort de captures consenti cette année a confirmé pour l'ensemble du lac ce que suggéraient les premières campagnes fondées surtout sur des approches locales : dans le grand lac les perchettes ont une écrasante contribution (>95% cette année) aux stocks d'alevins pélagiques, et ce, même en régions sub-littorales. La relation entre tailles des cibles/intensité du signal acoustique ayant été affinée au fil des campagnes, on peut ainsi attribuer à la perche la quasi-totalité des petites cibles détectées dans l'épilimnion, ce qui porterait cette année, pour juin et août, à plus de 85 % leur contribution moyenne à la biomasse ichtyaire détectée en eau libre. Compte tenu des importants besoins énergétiques des larves et jeunes alevins, et de la faible abondance du zooplancton prédateur au lac d'Annecy, les perches risquent donc d'avoir une forte contribution dans l'impact du poisson sur les dynamiques planctoniques. La contribution des perchettes à la biomasse ichtyaire diminue peu durant la saison chaude. Au niveau des migrations circadiennes, les couvertures acoustiques diurnes et nocturnes du lac, effectuées systématiquement cette année à chaque campagne, montrent une faible variation jour/nuit de la biomasse des petites cibles (ce qui suggère de faibles échanges entre les quelques herbiers où l'on ne peut accéder et le pélagial). Les cartes établies rendent compte également d'une certaine persistance des lieux de forte abondance (effet possible de la localisation des frayères). Ainsi, la nuit, quand la répartition des perchettes est moins hétérogène à petite échelle, les fortes abondances nocturnes se retrouvent à chaque campagne au sud du petit lac et dans la zone correspondant au tiers Nord et à la moitié Ouest du grand lac.

Croissance des perchettes :

Le couplage des évaluations acoustiques et des captures permet de constater que la croissance ne compense pas les pertes subies tout au long de l'été par ces jeunes perches. Mais, malgré la fréquence des campagnes 2002, la maille d'observation reste toute fois encore trop lâche pour situer clairement l'occurrence des accidents survenus dans la courbe de croissance des derniers stades larvaires et jeunes poissons. D'autres facteurs que les ressources pouvant intervenir, l'aspect parasitisme a été un peu pris en compte cette année en ce qui concerne le foie. Le taux de *Triaenophorus* s'élève rapidement (40-60% des sujets examinés début juillet) pour plafonner ensuite au voisinage de 90%. On constate toutefois, en début d'automne, une forte réduction de la fréquence des gros kystes comportant plusieurs parasites et qui, en début d'été provoquaient pour certains de très fortes indurations des tissus hépatiques. Cette réduction tendrait à conforter l'hypothèse d'une contribution, directe ou indirecte du parasite aux pertes de différentes origines subies précocement par la cohorte.

Réactions des proies ; conséquences pour le perchettes et les proies :

Les résultats les plus originaux de ces approches concernent surtout les aspects éco-éthologiques des relations proie-prédateur. L'exploitation des récoltes permettant d'affiner l'évaluation

de l'impact des stratégies spatiales du plancton sur le régime alimentaire des perches est encore en cours, mais les campagnes ponctuelles faites de 1996 à 1998 montraient déjà clairement qu'à la fin du printemps ces réactions d'évitement d'une forte biomasse pélagique épilimnique conduisent :

- dans le plan horizontal, au développement de forts gradients de biomasse entre régions sublittorales et pélagiques et à de forts remaniements circadiens de ces gradients (Masson *et al.* 2001) ;
- dans le plan vertical, à une forte structuration se répercutant sur le spectre de taille des proies dans l'épi- et le métalimnion, avec d'énormes remaniements circadiens de ces caractéristiques (Cachera, 1998);
- à des réponses différentielles des catégories planctoniques à la prédation qui se traduisent aussi par une cinétique de migrations verticales à valeur adaptative beaucoup plus limitée chez les copépodes que chez les daphnies (Cachera, 1998 ; Masson *et al.* 2001).

Durant une partie plus ou moins longue de la saison (dépendant apparemment de la force de la cohorte de 0+) les daphnies ne commencent en effet à gagner massivement l'épilimnion qu'au moment où, d'après les expériences *in vitro* de Flick *et al.*, (1997¹⁷), l'intensité lumineuse ferait drastiquement chuter les possibilités de capture des proies par les perches. En juin-juillet, cette période critique survient peu après le crépuscule civil (éphéméride qui ponctue approximativement la fin de l'éclatement des bancs d'alevins). D'après les chroniques crépusculaires actuellement dépouillées, on peut dire qu'à la fin du printemps et au début de l'été, la fenêtre spatio-temporelle de chevauchement des aires de répartition perche/daphnie est plus étroite que celle reportée pour le seul lac pour lequel des chroniques crépusculaires ont été publiées : 1 h en juin au lac Maarseveen en Hollande (Flick *et al.*, loc. cit.), contre quelques 30-40 mn au lac d'Annecy à la même époque. Si l'on tient compte du fait que l'éclatement des bancs ne commence à s'esquisser qu'à peine 10 à 15 minutes avant le crépuscule civil, la période durant laquelle les perchettes pourraient consommer activement les daphnies risque d'être encore bien plus courte que ne le laisse supposer la répartition de celles-ci, sauf peut-être vers la pleine lune et à condition que la lune soit levée avant la phase post-crépusculaire de redispersion du zooplancton dans la colonne d'eau, plus précoce chez les daphnies que chez les copépodes).

Les données conjointes sur les répartitions des prédateurs et proies, le régime alimentaire des perchettes et les cinétiques de migrations des organismes, montrent que ces réactions du plancton trouvent évidemment de fortes répercussions :

- sur le régime alimentaire des perchettes;
- sur leur degré de sélectivité (encore à préciser pour les chroniques 2000), mais qui, pour les relevés faits durant les campagnes exploratoires, était encore faible à la fin du crépuscule, suggérant que les alevins puissent être encore affamés lorsque la lumière devient un facteur limitant la capture des proies ;
- et/ou (cas de cette année) sur le degré d'extension de leur aire de répartition vers les strates froides, et qui doit avoir un coût énergétique tout autant pour les daphnies qui évitent ce prédateur que pour les perchettes qui apprécient cette catégorie de proies et en auraient besoin pour leur croissance (Romare, 2000, loc. cit.).

Ce contrôle partiel du régime alimentaire des perchettes et de leur aire de répartition, exercé par les réactions différentielles d'évitement du plancton, semble perdurer plus ou moins longtemps en saison et dépendre de la biomasse d'alevins. En 2002 celle-ci était forte et, contrairement aux observations faites en octobre 1997, il semblerait (mais le dépouillement des récoltes reste à affiner) que non seulement les daphnies présentaient encore d'amples migrations verticales (évitant même le

¹⁷ The extent of predation by juvenile perch during diel vertical migration of *Daphnia* Archiv. Hydrobiol. 49: 51-58

métalimnion durant le jour), mais que les copépodes consentaient eux aussi un plus important effort diurne pour éviter les strates superficielles.

2.4. Perspectives de la thématique ERTTEL

La thématique se développe sur l'écosystème modèle : lac d'Annecy qui constitue potentiellement un ORE où l'étude du fonctionnement global des réseaux trophiques sera développée dans le cadre de l'évolution prévisible du lac en terme de trophie et de thermique. Les 2 prochaines années seront consacrées principalement à la réalisation des 2 thèses de S. Nicopoulos et M.E. Perga qui sont réalisées dans le cadre de collaborations interdisciplinaires entre les membres de la thématique. Parallèlement aux travaux de l'équipe, des recherches de paléocéologie ont été réalisées dans le cadre du programme CLIMASILAC coordonné par le BRGM et une thèse est en cours sur la modélisation thermique du lac d'Annecy et l'influence du réchauffement global (thèse CEA codirigée par C. Beck, Université de Chambéry)¹⁸. Les collaborations avec l'Université du Québec à Montréal, GEOTOP, vont être amplifiées ces prochaines années pour achever rapidement la compréhension du fonctionnement global des réseaux trophiques et aborder le cycle biogéochimique du carbone à l'échelle du lac et de son bassin-versant. A court terme, l'équipe BV sera sollicitée pour contribuer à l'étude des apports en matière organique et à leur devenir. Cet aspect sera également être abordé en collaboration avec l'Institut Forel de l'Université de Genève.

La gestion de la ressource halieutique du lac a été et reste le point de départ des questions de recherche posées sur le lac d'Annecy. Le financement attribué par la Région Rhône-Alpes est celui de la thématique « Développement Durable ». Le volet gestion est abordé dans le cadre d'un suivi à long terme de la dynamique de la communauté piscicole. Les travaux développés sur le recrutement larvaire des principales espèces de poissons du lac d'Annecy ne pourront se développer que si les compétences du laboratoire en écologie des jeunes stades de poissons et en écologie du zooplancton et des relations zooplancton-poisson aussi bien en terme quantitatif que qualitatif (ajustement des dynamiques de répartitions spatiales, qualité nutritionnelle du zooplancton, dynamique des daphnidés....) sont maintenues.

La communauté zooplanctonique du lac d'Annecy est caractérisée par la présence de cyclopidés vecteurs de nombreux parasites des poissons. La prévalence des cestodes est très forte dans le lac d'Annecy, ce qui est propice à des études d'écologie parasitaire. Les cestodes parasites des salmonidés ont été étudiés dans le cadre d'une collaboration avec V. Hanzelova. Le cycle biologique est maintenant bien décrit pour *Proteocephallus longicollis*. Le *Triaenophorus nodulosus* a un cycle à 3 hôtes dont le brochet. Cette espèce voit ses effectifs augmenter fortement au lac d'Annecy. Il constitue la principale proie du Grand Cormoran en hiver et les pêcheurs le pêchent de plus en plus. La part de cette espèce dans la dynamique du peuplement piscicole est encore mal connue et sa gestion est remise en cause. On le soupçonne d'avoir un impact de prédation sur l'omble chevalier dont les captures baissent alors que l'effort de pacage est fort et stable ces dernières années. Une étude prospective sur la signature isotopique du carbone du foie du brochet est en cours pour détecter la part que pourrait avoir le corégone et l'omble dans l'alimentation du brochet. La parasitose des jeunes perches par le *Triaenophorus nodulosus* est très importante. A-t-elle un rôle clé dans la dynamique de l'espèce ou intervient-elle seulement de

¹⁸ Beck C., Van Rensbergen P., De batist M., Berthier F., Lallier S., & Manalt F.- The Late Quaternary sedimentary infill of Lake Annecy (northwestern Alps): an overview from two seismic-reflection surveys. *Journal of Paleolimnology*, 25 :149-161.

façon marginale ? La forte mortalité des juvéniles de perche est peut-être un facteur important du bon fonctionnement de l'écosystème en restituant chaque année au système une part importante de matière organique, séquestrée en été, rapidement recyclée. La compréhension du fonctionnement global des réseaux trophiques dans le lac d'Annecy constitue un cadre où toutes ces questions sont intégrées.

3. Fonctionnement, Réhabilitation et Gestion des Ressources Piscicoles.

3.1. Introduction :

Le deuxième groupe de l'équipe RTR est composé de deux chercheurs (2 CR1 : C. Gillet et J.P. Dubois) et de deux ingénieurs IR (G. Monet et A. Champigneulle). G. Monet travaille à 80 % en consacrant par ailleurs la plus grande partie de son temps de travail à des charges collectives (informatique, réseau, site Web) pour l'Unité.

Le premier groupe de l'équipe RTR (facteurs de productivité piscicole) analyse en détail le fonctionnement d'un lac modèle, Annecy, qui fournit une importante référence en préfigurant probablement la situation à venir dans les autres lacs, Léman et Bourget. Le deuxième groupe, ressources piscicoles, intègre dans ses préoccupations, des applications d'aide à la gestion piscicole ou des finalités aquacoles. Un volet important (C. Gillet) concernant en particulier la compréhension et la maîtrise de la reproduction de l'omble chevalier en captivité s'inscrit dans un réseau européen (CHARRNET) et dans un contexte de diversification de l'aquaculture (PEP aquacole Région Rhône-Alpes). Les travaux de soutien au développement de l'aquaculture ne sont pas présentés dans le présent document, sauf au travers des documents écrits produits. Par ailleurs les travaux de J.P. Dubois menés dans la période 1998-2002 sur un programme touchant à la santé humaine (dermatite des baigneurs par un Schizostome *Trichobilharzia sp.*) également non présentés, ont fait l'objet de plusieurs travaux listés dans la bibliographie.

Le choix a donc été fait de ne présenter qu'une partie des programmes menés.

Il s'agit d'une part d'un programme sur la place du repeuplement dans le fonctionnement et la gestion des populations de salmonidés (omble, corégone et truite) en lacs et torrents. En ce qui concerne l'omble et le corégone, les principaux résultats acquis ont été publiés. Le recueil des données de séries à long terme est cependant poursuivi et sera analysé (collaboration avec D. Gerdeaux) dans les nouveaux contextes d'évolutions trophiques et climatologiques ainsi que du peuplement piscicole (expansion actuelle du brochet). Dans les années récentes la thématique repeuplement a été fortement recentrée autour de la truite mais en développant par contre un programme interdisciplinaire associant les 2 ingénieurs (A. Champigneulle : écologie-halieuistique et G. Monet : analyse d'images) sur place, en interface entre gestionnaires et plusieurs laboratoires extérieurs en génétique des populations (INRA Jouy et Université de Berne). C'est principalement cette nouvelle thématique interdisciplinaire qui sera développée dans le présent rapport.

L'autre programme porte sur de longues séries de suivis. Il s'agit d'une part de suivis de la fraie de deux espèces (perche et gardon) présentes dans la plupart des pays européens. Ces espèces ne font pas l'objet de repeuplement dans les lacs étudiés. Ces longues séries de données alimentent les banques de données de la « zone atelier » des lacs et torrents nord-alpins. Le fonctionnement de cette phase amont du recrutement naturel piscicole est analysé ici dans le contexte des évolutions trophiques et climatologiques des lacs. Les données acquises par les études en conditions contrôlées de l'influence de la température sur l'écophysiologie de la reproduction de l'omble trouvent donc également leur place dans ce programme en raison du contexte des changements climatiques globaux. Par ailleurs le travail de thèse d'Anneville sur l'analyse des chroniques

lémaniques (physico-chimie et plancton) s'est achevé en 2001. 25 années de séries de prélèvement ont été analysées englobant les phases d'eutrophisation et de réoligotrophisation. Un résumé des principaux résultats est présenté dans une troisième partie.

3.2. Evaluation de stratégies de gestion des populations de salmonidés dans les lacs et torrents nord-alpins.

Le repeuplement, pratique de gestion piscicole très courante, a été utilisé en aveugle depuis plus d'un siècle. Une des thématiques développées par l'équipe RTR est l'évaluation de la contribution du repeuplement dans les populations et les pêcheries de Salmonidés (omble chevalier, corégone, truite) en lacs et torrents. Les travaux sont menés à grande échelle sur la « zone atelier » (Fig. 10) qui englobe les 3 grands lacs sub-alpins (Léman, Annecy, Bourget) et leurs affluents ainsi que les torrents nord-alpins.

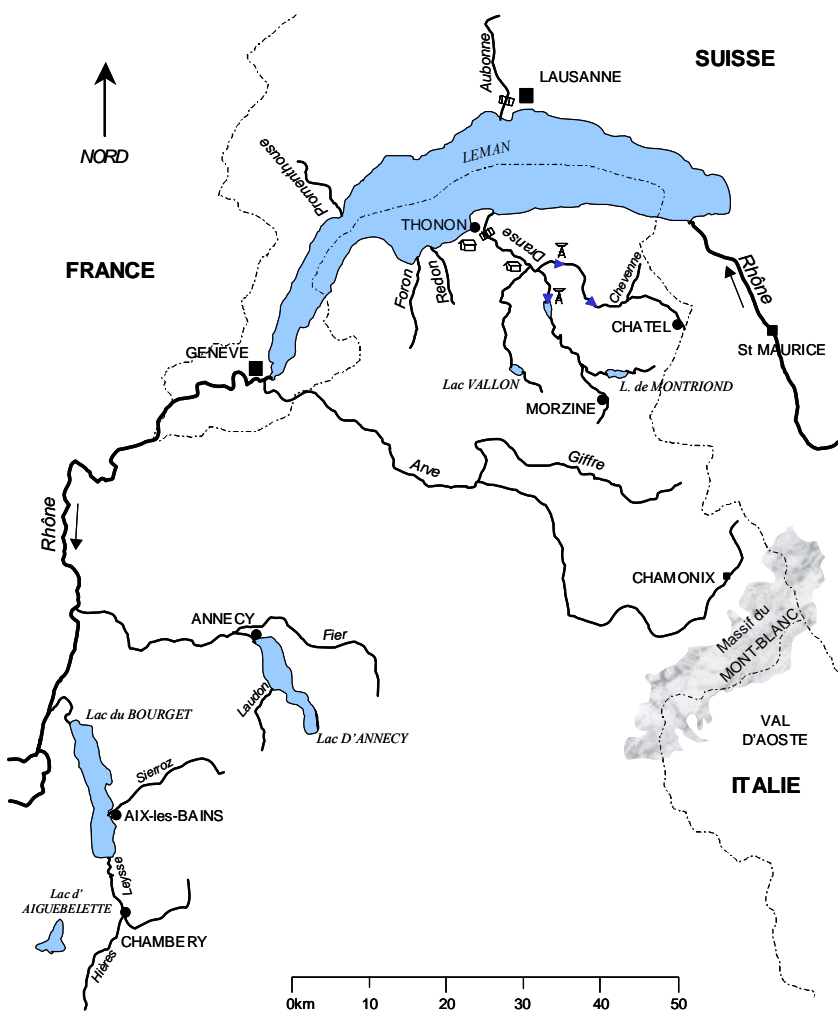


Figure 10:
Localisation de la «zone atelier» des grands lacs et torrents nord-alpins

Dans le cas de la truite, la thématique d'évaluation du repeuplement a été élargie à la structuration, au fonctionnement et aux stratégies de gestion des écotypes lacustres et sédentaires. Cette dernière recherche intègre une approche écogénétique et s'inscrit dans la démarche de préservation du patrimoine truite, développée dans un ouvrage récent par 20 généticiens européens (Laikre *et al.*, 2000¹⁹). La mise au point de techniques de marquage de masse (Champigneulle et Rojas Beltran, 2001) par fluoromarquage des otolithes (baignation CHT et ARS) permet de séparer

¹⁹ Laikre *et al.*, 2000. FAIR concerted action TROUTCONCERN.

recrutement naturel et repeuplement y compris à très grande échelle et dans le cas de déversements de stades précoces.

3.2.1. Pacage lacustre d'omble et de corégones.

Bilan

Pour l'omble chevalier (ponte profonde) et le corégone (ponte littorale), deux espèces bouclant totalement leur cycle en lac, les populations et les captures se sont effondrées dans la période d'eutrophisation. La stratégie de pacage lacustre (capture de géniteurs *in situ* puis passage des œufs en éclosérie et relâcher d'alevins nourris afin de court-circuiter les stades sensibles initiaux) a été évaluée par d'importantes campagnes de marquage puis par des analyses de longues séries de données de repeuplement et de captures. Ces données ont fait l'objet d'une synthèse récente (Champigneulle *et al.*, 2001).

Les recherches menées ont montré que le développement du pacage a contribué à la réhabilitation des populations et les pêcheries d'omble dans les trois grands lacs et de corégones dans les lacs Léman et du Bourget. Les résultats obtenus au Léman et au lac du Bourget ont été parmi les premiers acquis au niveau international sur les taux de recapture et la contribution des relâchers d'alevins d'omble et de corégone de 3-8 cm dans des grands lacs où préexistait une production naturelle (Champigneulle *et al.*, 2001).

Le suivi de la dynamique du corégone au Léman montre que la population a vu ses effectifs très fortement augmenter depuis 10 ans. Une analyse des données de pêche, d'alevinage, de climatologie et de qualité d'habitat disponibles conduit à proposer une explication faisant intervenir simultanément tous les facteurs explicatifs (Fig. 11) (article soumis, Congrès corégones 2002 en Finlande). La pression de pêche sur le corégone n'est pas très élevée au Léman et une bonne part des poissons peut se reproduire une fois. L'alevinage serait plus efficace par sa contribution à la reproduction que par sa contribution aux captures directes des poissons déversés. Ceci expliquerait qu'un décalage de 7 ans entre l'alevinage et la pêche donne une excellente corrélation. En effet, des données suisses concluent que la survie embryonnaire est bonne au Léman. L'alevinage a contribué à la réexpansion de la population dans les années 80, mais il n'explique plus aujourd'hui que 20% des captures. Le réchauffement des eaux du lac est de plus favorable au recrutement du corégone. La thèse d'Anneville a bien montré que la dynamique du plancton est avancée d'un mois par rapport aux années 70. Par contre l'éclosion des œufs de corégone n'est avancée que d'une semaine, car la reproduction est retardée en raison du réchauffement et la durée développement embryonnaire bien que raccourcie amène les œufs à l'éclosion une semaine plus tôt qu'avant seulement. Les larves se trouvent donc aujourd'hui dans une situation de ressource trophique meilleure qu'auparavant. Tous ces éléments entreraient en synergie pour favoriser la dynamique du corégone. Cet exemple est à notre connaissance le premier de ce type soumis à publication. Sur le plan de la gestion, les captures de corégones ayant atteint depuis 7 ans au Léman un niveau très élevé non explicable par le seul effet du pacage, un moratoire du pacage en alevins vésiculés a été décidé à partir de 2003.

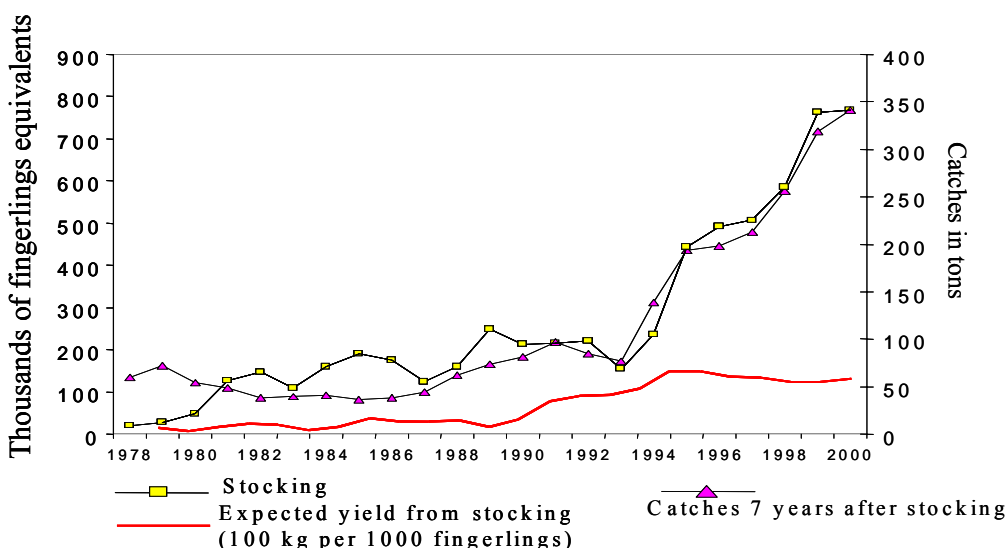


Figure 11 : Relations entre les déversements en corégones et les captures dans le Léman.

3.2.2. Structuration, fonctionnement et stratégies de gestion des populations de truite (*Salmo trutta*) en lacs et torrents nord-alpins.

Les populations alpines de truite ont souvent été étudiées trop globalement pour permettre une analyse pertinente de leur fonctionnement. En effet, ces populations peuvent présenter diverses composantes selon l'origine du recrutement (naturel et/ou repeuplement), leur génotype (forme atlantique, méditerranéenne ou hybride) ou écotype (truite sédentaire en torrent ou migrant en lac). L'originalité du programme développé consiste donc à analyser la structuration, la dynamique et le fonctionnement de ces diverses composantes, prises seules ou en interaction entre elles et en relation avec le milieu et les pratiques de gestion, repeuplement en particulier.

Des techniques d'écologie (pêche électrique, piégeage, marquage, scalimétrie), de génétique (microsatellites de l'ADN et ADN mtd ; collaboration INRA Jouy: S. Launey, R. Guyomard ; Université de Padoue: A. Lucarda ; Université de Berne: C. Largiader et L. Escoffier) ont été mises en oeuvre pour échantillonner et séparer les composantes des populations. Des programmes associant écologie et génétique à plusieurs échelles et en situation réelle intégrant les questionnements des gestionnaires (partenariat : CSP, DDAF, Associations de pêcheurs) ont été engagés.

Evaluation des pratiques en usage pour le repeuplement

Les expérimentations menées ont permis de suivre jusqu'au stade de géniteur de truite de lac la dynamique de contribution d'alevins nourris (lacustres ou domestiques) déversés en affluent dans le cas du Redon, un affluent modèle du Léman. Des relâchers expérimentaux réalisés directement en lac ont également été évalués dans les lacs Léman et Bourget (Champigneulle *et al.*, 2001).

Des campagnes de fluoromarquage (CHT ou ARS) ont été pratiquées sur la totalité des alevins de truites domestiques Atl déversées à des stades précoces à grande échelle sur des portions de rivières de 10 à plusieurs dizaines de Km (d'abord dans le Doubs franco-suisse puis dans des torrents alpins : Fier, Giffre et Dranse d'Abondance en Haute-Savoie). L'étude menée sur le Doubs franco-suisse (Champigneulle *et al.*, 2002) a permis d'évaluer la dynamique de la contribution du repeuplement dans la population en place et la pêche (20-25% pour une cohorte donnée) et un taux de recapture par pêche de 4-5 pour mille a été calculé (Champigneulle et Cachera, 2002). Sur le Fier (Caudron et Champigneulle, 2002) comme sur le Doubs (Champigneulle *et al.*, 2002), malgré une forte contribution au stade 0+ et une taille supérieure à celle des 0+ issus du recrutement naturel, il y a une régression de la contribution de la composante repeuplée à la population en place aux stades ultérieurs. Par ailleurs, il y a une remontée du taux de contribution dans la pêche (stade 2+) comparativement à celui évalué au stade 1+, puis une baisse aux stades >2+ (Fig. 12).

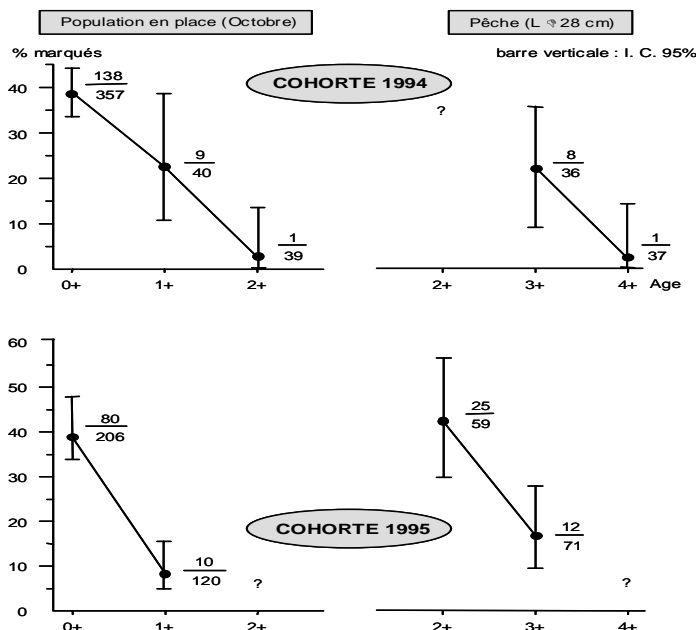


Figure 12 : Contribution du repeuplement en alevins vésiculés dans la population en place et la pêche sur le Doubs franco-suisse (Champigneulle *et al.*, 2002).

Ceci conduit à émettre l'hypothèse d'une capturabilité par pêche plus forte et rapide pour les truites issues du repeuplement. Les études montrent que, chaque fois que possible, la dynamique des populations de truite faisant l'objet de repeuplements devrait être analysée en séparant les composantes recrutement naturel et repeuplement puisque ces deux composantes peuvent avoir des dynamiques différentes, tant au niveau de la population en place que dans la fraction exploitée.

Ecogénétique

Les données sur les principales caractéristiques de la biologie et de l'écologie de la truite de lac ainsi que la contribution du repeuplement dans le système Léman-affluents de taille moyenne ont été synthétisées (Champigneulle, 1999) et complétées par des données récentes sur le système Dranse, deuxième plus grand affluent du Léman (Colon, 2001 ; Monet et Soares, 2001).

Une nouvelle dimension interdisciplinaire a été récemment apportée par des approches d'écogénétique (collaboration SHL - INRA Jouy génétique - Université de Berne, 2 contrats BRG) à deux échelles : le site atelier de la Dranse d'Abondance et l'ensemble de la zone (Fig. 10). Les principales souches de pisciculture utilisées pour le repeuplement des systèmes étudiés ont également été échantillonnées pour génotypage. Les données acquises sur la biologie et le repeuplement sont réanalysées et complétées dans ce nouveau contexte d'analyse de la structuration génétique spatio-temporelle en contexte repeuplé.

Les populations de truite de la zone lémanique se rattachent à deux rameaux évolutifs de l'espèce *Salmo trutta* : le rameau méditerranéen (d'origine naturelle) et le rameau atlantique (d'origine récente via le repeuplement mais peut-être également ancienne via des migrations de populations depuis le bassin du Rhin). Les résultats (Launey *et al.*, 2002) montrent que les populations se rattachent très majoritairement au rameau atlantique. Les populations Atl sédentaires sont génétiquement plus proches des populations domestiques de pisciculture utilisées pour le repeuplement que ne le sont les populations migratrices (Launey *et al.*, 2002). L'analyse génétique d'échantillons anciens (collections d'écailles) devrait permettre de faire des hypothèses sur l'origine précise (repeuplement ou migration ancienne) des allèles atlantiques. Les travaux conduiront à des recommandations pour la gestion du patrimoine truite dans le système lémanique.

Chez la truite, le déterminisme (génétique, environnemental ou mixte) conduisant aux migrants (lac TL ou mer) et sédentaires (TS), est encore mal élucidé (Jonsson et Jonsson, 1993²⁰; Northcote, 1992²¹). Une meilleure connaissance de ce déterminisme est cependant nécessaire pour une bonne gestion des populations. Les écotypes TL et TS sont-ils en compétition ? Est-ce que les TL contribuent à la production de TS ou est-ce qu'elles détournent à leur profit la capacité d'accueil des affluents ? Les travaux d'écologie menés (Champigneulle *et al.*, 1999 ; Champigneulle, 2002 soumis) montrent que dans les zones de sympatrie TL-TS, la stratégie TL est plus avantageuse que la stratégie TS. S'il y avait un support génétique, les TL seraient alors susceptibles de détourner à leur profit la productivité des affluents ouverts sur le Léman. Dans une étude génétique en cours sur la zone ORE, cette problématique du déterminisme TL et TS est abordée dans des sites où cohabitent (sympatrie) ou non (allopatric) les deux rameaux évolutifs Atl et Méd (et leurs hybrides).

L'écologie et la génétique de la truite autochtone Méd. en torrents ont été étudiées sur un site modèle de la zone, le site des Dranses (Fig.1) et en particulier sur la Dranse d'Abondance (DA.) et le ruisseau de Chevenne, un affluent à forte pente (10%). Sur le cours principal de la DA, il y a une population fonctionnelle à dominante Méd. (Fig. 13) alors que dans les parties amont du

²⁰ Jonsson, Jonsson, 1993. Reviews in Fish Biol. and Fisheries, 3, 348-365.

²¹ Northcote, 1992. Nord. J. Freshwater Res., 67, 5-17.

réseau et en amont d'obstacles (ex. : amont du R. de Chevenne, Fig. 13), il y a des populations Atl dominantes introduites et soutenues par le repeuplement. Il y a une tendance à un accroissement du % de Méd. quand on va des truites les moins âgées vers les truites les plus âgées. Pour des truites de taille comparable du R. de Chevenne, les individus Méd. ont une longueur de nageoire pectorale supérieure à celle des Atl, les hybrides étant intermédiaires. La suite de l'étude permettra, pour un milieu donné et entre milieux, des comparaisons fines entre Atl, Méd et Hyb. sur les aspects : structure de taille, morphométrie, schémas de croissance-maturation et longévité dans la population en place.

Une étude fine (Champigneulle, soumis) a mis en évidence la diversification des microhabitats de fraie, certaines frayères étant creusées dans des conditions non décrites jusqu'à présent dans la littérature. Le suivi de la destruction des frayères par des crues (phénomène fréquent en torrent) a montré que ce sont les frayères creusées en microhabitats atypiques qui ont le mieux résisté aux crues. Une recherche d'écogénétique originale utilisant les microsatellites de l'ADN (Largiader *et al.*, 2001) a montré sur le Ruisseau de Chevenne: 1) que les ovules déposés dans une même frayère pouvaient être fécondés par deux ou trois mâles, 2) l'existence d'un taux élevé (36%) de surcroisement, 3) le rôle majeur des mâles Atl pour la formation des hybrides (couplage microsatellites et ADNmt, non publié)

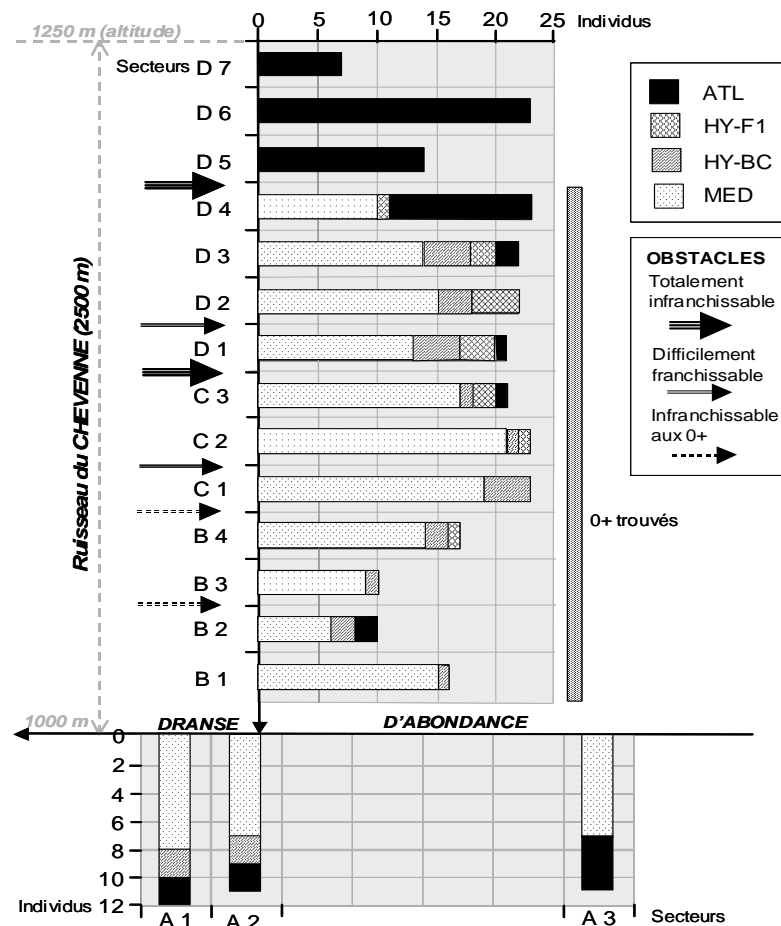


Figure 13. Structuration spatiale des génotypes Méd.-Atl.-Hyb. dans un torrent (Dranse d'Abondance – affluent : R. de Chevenne) fractionné par des obstacles et soumis à une forte pression de repeuplement en alevins Atl. domestiques (données Largiader et Champigneulle, non publiées).

Evaluation de stratégies de conservation et de réhabilitation de populations autochtones méditerranéennes sédentaires en torrents : Vers une gestion plus durable utilisant un savoir faire en ingénierie écologique.

Dans le contexte fréquent de zones fortement repeuplées et anthropisées, il est nécessaire de : 1) savoir identifier à grande échelle les populations autochtones, 2) savoir les conserver et les réhabiliter, 3) savoir reconstruire des populations de TS autochtones à partir de celles existant encore. Outre la stratégie essentielle de réhabilitation des milieux, au niveau des populations de la « zone atelier », plusieurs stratégies sont expérimentées :

+ La stratégie d'arrêt total des repeuplements (zone sanctuaire) est expérimentée sur trois sites de la zone abritant une population Méd. dominante. Un programme d'échantillonnage est mené pour rendre possible l'analyse de l'évolution de la structure génétique après arrêt du repeuplement. Les études menées permettront de donner, pour la « zone atelier », des lignes directrices sur les critères de choix et sur la gestion de zones sanctuaires pour conserver et réhabiliter une population de TS Méd..

+ Les stratégies de repeuplements de réhabilitation sur des sites aptes à soutenir une production naturellement renouvelée, mais non naturellement recolonisables par une population Méd. préexistante. Il s'agit de repeuplements temporaires utilisant, soit des stades précoces F1 issus de parents Méd génotypés, soit des transferts de géniteurs sauvages méditerranéens prélevés sur des sites peu introgressés et excédentaires des zones sanctuaires. Les opérations sont suivies grâce à des campagnes de marquage (fluoromarquage à l'ARS dans le cas des alevinages précoces) et de génotypage.

Changement d'échelle.

Il y a urgence à repérer à plus grande échelle et à gérer tant qu'elles existent encore, les populations Méd. fonctionnelles sur la « zone atelier ».

Un programme portant sur le repérage et les stratégies de conservation et de réhabilitation de populations autochtones, a été lancé en partenariat Fédération de Pêche de la Haute-Savoie-CARRTEL (A. Champigneulle et G. Monet) - INRA Jouy (R. Guyomard, S. Launey, F.Krieg), CSP dans le cadre d'un programme européen INTERREG III avec l'Italie (Val d'Aoste + Universités de Padoue et Turin). La technique de fluoromarquage des otolithes à l'alizarine RedS a été mise en œuvre pour marquer tout l'alevinage (4 millions en début 2002) pratiqué sur l'ensemble de la Haute-Savoie. Ceci permettra de séparer les 2 composantes de recrutement et donc de localiser les populations fonctionnelles. La distribution spatiale des populations introduites et autochtones (avec divers degrés de fonctionnalité) sera mise en relation avec les caractéristiques du milieu (habitats, physico-chimie, occupation des sols, bassins versants...) et des pratiques de gestion piscicole au travers d'un SIG. Plusieurs centaines de truites génotypées ont été photographiées. Ce matériel est utilisé pour évaluer la possibilité de discriminer pour la zone ORE une partie des truites Atl, Méd et Hyb par analyses méristiques et morphométriques. Les premiers résultats indiquent que des critères reposant sur le nombre et la forme des marques de parr, les critères nombre-taille-localisation des points noirs et des points rouges permettraient une discrimination partielle (Méd et Atl typiques) sur des truites de moins de 30 cm (G. Monet). Si elle est validée, la méthodologie sera développée (nécessité d'un relais) pour établir des cartes de macrorépartition présumée (validation postérieure par génotypage) de populations fonctionnelles et des populations de truites Méd. à une échelle géographique plus vaste et pour permettre aux gestionnaires de mener et suivre des opérations de conservation et de réhabilitation de populations autochtones, stratégies de gestion au préalable validées sur les sites pilotes de la « zone atelier ». Il sera utile de mettre en commun les approches dans la zone nord-alpine (INRA Jouy et

Thonon), le Doubs franco-suisse et suisse (Largiadier, Université de Berne) et dans le Sud de la France (CNRS, Montpellier, Berrebi).

Survie des stades embryolaire en rivière.

Tableau 1 : Survie au stade oeillé (%) de 5 lots d'œufs différents dans des rivières plus au moins chargées en P : de 15 à 500µl/l des stades embryolaire en rivière (Aquaé 2002).

lot- rivière	2-1 oligotrophe	2-3 oligotrophe	6-2 oligotrophe	6-3 oligotrophe	5-2 oligotrophe	5-3 oligotrophe	7-1 oligotrophe	8-1 oligotrophe	3-5 eutrophe	4-2 eutrophe	1-3 fortement eutrophe
1	89	98	97	93	94	94	96	84	33	61	0
2	89	84	79	68	69	96		60	22,5	28	0
3	79,4	13,5	76	2	32	65		74,5	41	20	1
4	60	36	7	39	40	11		47	18	8	0
5	80	24	46	0	6	14.5	77	14	51	32,5	0
moynne	79,5	51,5	61	40,4	48,2	56,1	86,5	55,9	33,1	29,9	0,2

Dans le cadre de l'action structurante Aquaé à laquelle participent l'INRA, le CEMAGREF et l'ENVL, une recherche sur la survie des stades embryolaire de la truite fario en rivière a été initiée dans les gravières d'affluents du Léman. Cette recherche viendra compléter les travaux sur les facteurs limitants des populations de truite dans les hydrosystèmes nord-alpins. Le programme Aquaé est un programme pluridisciplinaire où le milieu physique et chimique du cours d'eau est étudié par un suivi hebdomadaire. Les flux de fertilisants et de MES sont quantifiés. Leurs effets sur les principaux composants biotiques de l'écosystème sont évalués par des indices standardisés et des études d'écotoxicologies sur des organismes sentinelles parmi lesquels figurent les stades embryolaire de salmonidés. Nous avons constaté que la survie des œufs est très faible dès le stade oeillé dans les rivières eutrophisées. Dans les rivières peu affectées par l'eutrophisation (moins de 50µg de P/l) la survie dépend de degré de colmatage des sédiments par les MES. Ces résultats sont confirmés par les travaux réalisés par nous collègues de St Pée et de Rennes qui travaillent dans le cadre du même projet. Il est intéressant de constater que dans le cours d'eau le plus eutrophe où la survie des œufs de truite est pratiquement nulle dès le stade oeillé (résultats obtenus sur 3 années avec une dizaine de pontes différentes), les IQBG et indices diatomée sont très proches de ceux mesurés dans les rivières les plus oligotrophes.

3.3. Influence des changements climatiques et trophiques sur les poissons des lacs subalpins. Résultats des suivis du déroulement des cycles reproducteurs.

Certaines espèces des lacs subalpins comme l'omble chevalier ou le corégone sont des espèces relictées de l'aire glaciaire, à l'extrémité sud de leur aire de répartition. Il est donc vraisemblable qu'un réchauffement climatique risque d'avoir des effets négatifs sur ces espèces. D'autres espèces comme la plupart des cyprinidés peuvent supporter des eaux nettement plus chaudes que celles des lacs subalpins. Il est vraisemblable que ces espèces seront favorisées, au moins dans un premier temps par le réchauffement global du climat. Le bilan du suivi pluriannuel de la population de corégone du Léman a été exposé précédemment dans le paragraphe package lacustre.

3.3.1. Effet du réchauffement du Léman sur le cycle reproducteur du gardon.

Le gardon est le cyprinidé le plus abondant du Léman. Il se reproduit en mai ou en juin en bordure du lac et il est aisé d'observer les géniteurs sur les frayères ou de récolter les œufs sur des frayères artificielles (Gillet, 2001). De plus le développement des ovocytes est synchrone, de même que l'ovulation. Cette particularité fait du gardon un modèle préférable à la plupart des autres cyprinidés (à gamétogenèse asynchrone et à ponte fractionnée) pour étudier les effets de l'environnement sur les différentes étapes du cycle reproducteur. Nous avons suivi la croissance des gonades des gardons du Léman au cours de huit cycles reproducteurs successifs (Fig. 14). Les rapports gonadosomatiques, le poids moyen des ovocytes et la fécondité ont été calculés sur des poissons capturés mensuellement au filet. Nous avons aussi entrepris un suivi diachronique du déroulement de la fraie depuis 1983. Cette approche descriptive sur le terrain a été complétée par une approche expérimentale en pisciculture sur les effets comparés de la photopériode et de la température au cours des différentes étapes du cycle reproducteur.

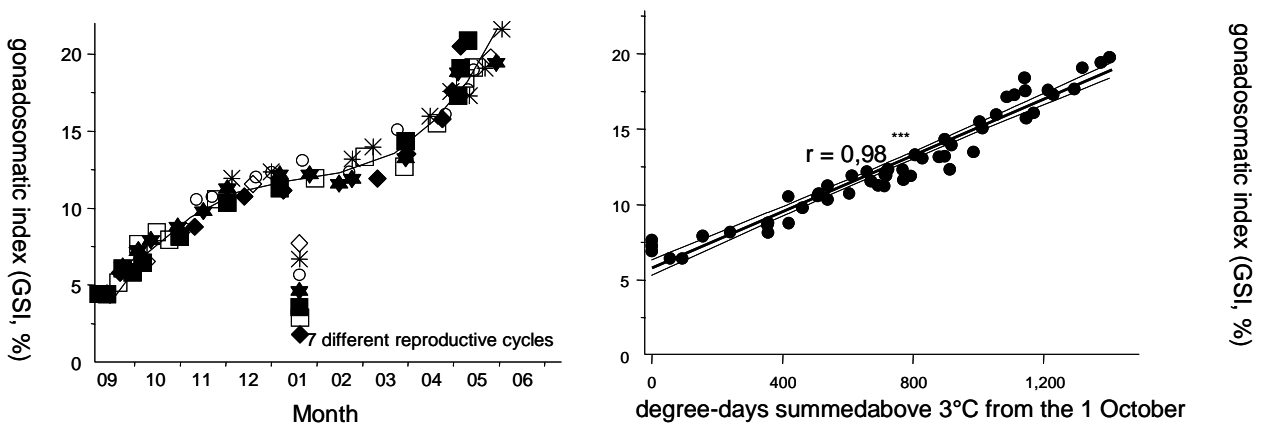


Figure 14 : Evolution de l'indice gonadosomatique du gardon dans le lac Léman

La gamétogenèse du gardon démarre en automne car les jours longs et les températures élevées bloquent le développement des gonades en été (Gillet, 2001). La croissance des ovocytes est rapide en automne et au printemps. Elle est nettement plus lente en hiver. Lorsque l'on exprime le temps en degrés jours, la croissance des ovocytes devient linéaire. Une relation aussi précise entre la vitesse de développement des gonades et température de l'eau n'avait pas encore été mise en évidence sur les poissons sauvages des régions tempérées. La durée totale de l'ovogénèse représente une somme qui

varie entre 1150 et 1500 suivant les années. Cela signifie que ce paramètre a peu de valeur prédictive pour connaître la date de fraie contrairement à ce qui a été publié pour d'autres cyprinidés.

Entre 1983 et 2001, dans le Léman, la date du début de la fraie du gardon varie du 12/05 au 17/06 (Fig. 15).

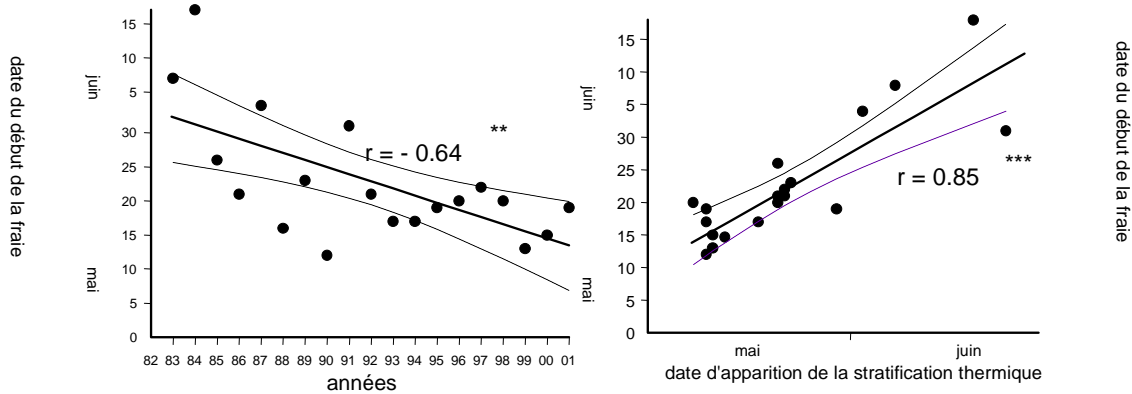


Figure 15 : Evolution de la date de la fraie du gardon au Léman : relation entre ce phénomène et le début de la stratification thermique

Ce phénomène tend à devenir de plus en plus précoce au fil des années. La corrélation calculée entre la date de fraie et le temps (i.e. les années successives) est de $-0,64$, ce qui signifie que statistiquement en 20 ans, la date de la fraie du gardon a été avancée d'une quinzaine de jours. Cette évolution est probablement la conséquence du réchauffement du lac. Selon Hontela et Stacey (1990²²) il existe chez les cyprinidés un seuil thermique qui doit être dépassé pour que le pic d'hormone gonadotrope qui déclenche l'ovulation se produise spontanément. Dans le cas du gardon au Léman, la température initiant le démarrage de la fraie devient de plus en plus basse au fil du temps ($r = -0,65$). Statistiquement la fraie du gardon se produit actuellement à une température inférieure de 3 degrés à celle d'il y a 20 ans. Il existe une forte corrélation ($r = +0,85$) entre la date du début de la fraie du gardon et celle du début de la stratification thermique au printemps, ce qui confirme le rôle du réchauffement global dans l'évolution de ce phénomène. Il est vraisemblable que les gardons qui hivernent en eau profonde sont incités à migrer sous l'effet du gradient thermique vers la zone littorale où les eaux chaudes déclenchent rapidement la fraie. D'autres changements, imputables à la fois à l'évolution climatique et à l'évolution trophique du Léman, sont susceptibles d'avoir exercé une influence sur l'évolution de la date de fraie du gardon. La transparence moyenne de l'eau au mois de mai s'accroît au fil du temps ($r = +0,65$), ce qui correspond à un avancement de plus d'un mois de la phase des eaux claires. Ce phénomène est corrélé positivement à la fois avec la baisse des concentrations en phosphore et avec la date d'apparition de la stratification thermique du lac. Il est possible que l'augmentation de la transparence de l'eau ait permis un avancement de la date de fraie du gardon car la vue d'un substrat de ponte pourrait induire le déclenchement de la fraie à des températures nettement plus basses que celles observées en absence de frayères chez le carassin, espèce proche du gardon (Hontela et Stacey, 1990). Le gardon était très abondant dans le Léman pendant la période d'eutrophisation, la dernière cohorte significative étant née en 1982. Il recommence à devenir abondant depuis le début des années 2000 car le réchauffement du lac favorise son recrutement en avançant la dynamique printanière du zooplancton (Anneville, 2001).

²² A. Hontela & N. E. Stacey, 1990. Cyprinidae In reproductive seasonality in Teleosts : Environmental influences. Eds. A. D. Munro, A. P. Scott & T. J. Lam CRC Press, Boca Raton, Florida , 55-77.

3.3.2. *Suivi de la reproduction et de la croissance des différentes cohortes de perche du Léman.*

La perche comme le gardon se reproduit au printemps. Nous étudions le déroulement de la fraie de ce poisson depuis 1984, après avoir mis au point des frayères artificielles adaptées à la collecte des pontes de perche. La perche pond tous ses œufs en une seule fois et la ponte a la forme d'un ruban dont la largeur est étroitement corrélée à la taille de la génitrice. Il est donc possible d'étudier en plus du rythme de fraie, l'abondance et la structure en taille de la population de géniteur femelle, en dénombrant et en mesurant les pontes de perche recueillies sur les frayères artificielles. L'analyse fine des conditions du déroulement de la fraie (conditions climatiques, profondeur de ponte, taille des femelles génitrices) a permis de montrer la prépondérance du facteur biotique (les femelles de grande taille se reproduisant plus tardivement) sur les autres facteurs (Gillet et Dubois, 2002). En conséquence, l'évolution thermique du lac (réchauffement au cours des années) n'a pas entraîné de modifications de la date d'initiation de la fraie, contrairement au gardon (Gillet et Dubois, 2002).

Nous avons suivi depuis 1984 l'évolution de la population de femelles matures se reproduisant au Léman et mis en évidence les cohortes dominantes. Dans les années de forte croissance, les cohortes se suivent tous les 3 ans, en raison sans doute de la prédation intra-spécifique exercée par les classes d'âge fortes sur les générations suivantes, car la taille réglementaire de 15 cm est atteinte à deux ou trois ans. Depuis 1990, nous observons des cycles irréguliers, de 4 ans en moyenne, caractéristiques de cohortes moins fortes et ayant une croissance atténuée. Jusqu'à une taille de 12 à 15 cm, la perche du Léman est essentiellement planctonophage. Cette ressource tend à diminuer au fur et à mesure que la teneur en phosphore décroît, le biovolume moyen annuel du zooplancton étant positivement corrélé à la teneur en phosphore. Les perches grandissent plus lentement qu'il y a 20 ans lorsque le Léman avait atteint son stade le plus eutrophe. Des échantillonnages de perche ayant été réalisés pendant la phase d'eutrophisation et au cours de la réoligotrophisation du lac, un travail est en cours pour évaluer l'influence du niveau trophique du lac et des biovolumes de zooplancton sur la croissance des jeunes perches pendant leur phase planctonophage.

3.3.3. *Ecophysiologie de la reproduction de l'omble chevalier*

La reproduction de l'omble chevalier a surtout été étudiée en installation expérimentale en raison de son habitat profond et des difficultés d'échantillonnage qui en découlent. La fraie de l'omble dure environ deux mois, de la fin novembre à la mi-janvier. En pisciculture, les poissons stabulés dans une eau pompée à 50 m de profondeur, ovulent aux mêmes dates que les géniteurs sauvages du Léman. Cependant la température de l'eau exerce un contrôle important les étapes finales du cycle reproducteur. Nous avons constaté que l'ovulation et la spermiation sont inhibées lorsque la température de l'eau dépasse 10°C tandis que le rythme d'émission des gamètes chez les géniteurs maintenus vers 5°C (i.e. à peu près la température de l'hypolimnion) est comparable à celui des ombles sauvages. Ces résultats constituaient une nouveauté chez les salmonidés où l'on estimait jusqu'alors que seule la photopériode exerçait un contrôle sur le déroulement du cycle reproducteur. La température exerce un contrôle à plusieurs niveaux de l'axe hypothalamo-hypophysaire-ovarien. Il existe au niveau hypothalamo-hypophysaire, une inhibition de type dopaminergique de la sécrétion gonadotrope, qui est levée spontanément lorsque la température s'abaisse vers 5°C. Il existe aussi au niveau ovarien, un contrôle exercé par la température sur la sécrétion stéroïdienne car les niveaux plasmatiques du stéroïde médiateur de l'hormone gonadotrope, la 17 α 20 β dihydroprogestérone s'élèvent rapidement lorsque l'on transfère les géniteurs de 10 à 5°C tandis qu'ils diminuent pour un transfert en sens inverse. D'autre part nous avons aussi démontré que la vitesse de surmaturation des ovules est fortement accélérée lorsque la température de l'eau passe de 5 à 8°C, la cinétique de perte de fécondabilité des ovules étant

normale pour un salmonidé à 5°C tandis qu'à 8°C les ovules perdent leur fécondabilité en 3 ou 4 jours. L'ensemble de ces résultats montre que l'omble chevalier qui est, parmi les salmonidés, l'espèce la mieux adaptée aux basses températures, a des exigences thermiques beaucoup plus strictes pour sa reproduction que pour sa croissance ou sa survie, ce qui semble être le cas chez d'autres salmonidés (Jobling, 1996²³ ; Van Der Kraak et Pankhurst, 1996). La température de l'hypolimnion du Léman était inférieure à 5°C au 19^{ième} siècle ce qui convenait parfaitement pour la reproduction de cette espèce. La température se rapproche actuellement de 6°C. En augmentant dans le futur, elle risque de dépasser 7°C, ce qui deviendra peu favorable pour l'omble chevalier car cette température ralentit l'ovulation et accélère la surmaturation. Des travaux de recherche sur la photopériode ont montré que ce facteur exerçait un contrôle important sur les différentes phases du cycle reproducteur de l'omble chevalier comme chez la plupart des autres salmonidés.

3.4. Analyse des chroniques lémaniques (physico-chimie et plancton)

3.4.1. Contexte et objectifs :

Au cours des années 60, le Léman a connu une brusque poussée d'eutrophisation que l'on a principalement attribuée à la rapide montée des teneurs en phosphore, passées sous quelques années de 10 à 90 µgP.L⁻¹. Grâce aux mesures de protection ces teneurs ont commencé à diminuer au début des années 80 et sont actuellement un peu en dessous des 40 µgP.L⁻¹. Cette amélioration, évidente en termes de nutriments, l'est beaucoup moins au niveau des autres paramètres généralement utilisés pour diagnostiquer l'état trophique d'un lac (transparence, Chl. a). En outre, depuis 1995, différentes espèces phytoplanctoniques « indésirables » recommencent à prospérer.

La station a engagé une thèse en 1998 (O. Anneville ; soutenue en 2001) fondée sur l'analyse des séries chronologiques accumulées sur le Léman dans le cadre du programme de suivi de la Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman (CIPEL). Les principaux objectifs de ce travail, cofinancé par la CIPEL et l'INRA, étaient de : (1) contribuer à comprendre le déterminisme des dysfonctionnements actuels et les mécanismes de restauration ; (2) préciser la signification écologique des variables biologiques utilisées et évaluer leur aptitude à caractériser l'état de santé et la tendance évolutive du lac ; (3) tenter de dissocier les effets des facteurs naturels, des impacts anthropiques.

L'analyse a principalement porté sur la partie la plus riche et la plus homogène des séries phytoplanctoniques : les chroniques postérieures à 1973. Pour tenir compte de l'impact des éventuels changements structuraux survenus au sein du zooplancton au cours des phases d'oligotrophisation et réoligotrophisation sur fond de réchauffement global (Fig. 16) un important effort de dépouillement a parallèlement été consenti sur les échantillons récoltés avant les années 80 (lorsque les examens quantitatifs se limitaient au relevé global des volumes sédimentés).

²³ M. Jobling, 1996. Temperature and growth : modulation of growth rate via temperature change. *In* Global warming : implications for freshwater and marine fish, Eds. C. M. Wood & D. G. McDonald, Cambridge University Press, 225-253. G. Van Der Kraak & N. W. Pankhurst. Temperature effects on the reproductive performance of fish. Même ouvrage 159- 176.

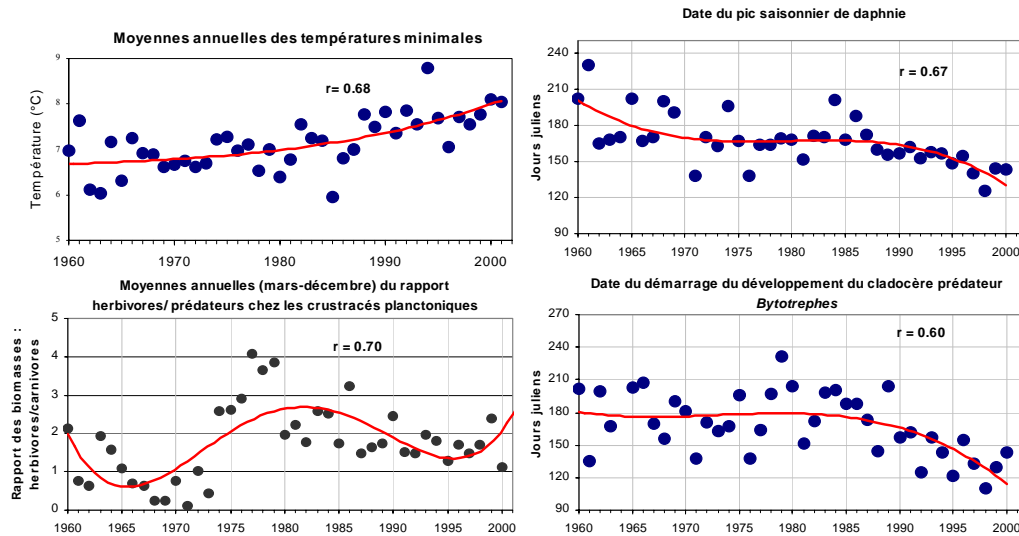


Figure 16 : Un retour aux échantillons archivés à la station avant que le zooplancton ne fasse l'objet d'une analyse systématique dans le cadre de la CIPEL, a permis de rendre compte de changements structuraux et décalages de la phénologie saisonnière survenus au cours des phases respectives d'eutrophisation et de réoligotrophisation qui se sont déroulées sur fond de réchauffement global

3.4.2. Des indicateurs traditionnels insuffisants

Les premiers traitements (Anneville et Pelletier, 1999, 2000) ont montré la faible information portée par les descripteurs conventionnels du niveau trophique (transparence, production primaire, chlorophylle *a*, biomasse) pour caractériser l'évolution du système pélagique. Il en est allé de même des grands groupes pigmentaires (Chlorophycées, Diatomophycées...), d'où la nécessité de descendre au niveau spécifique. A ce niveau, comme dans beaucoup de lacs en phase de réoligotrophisation, on observe par contre une augmentation sensible des espèces caractéristiques de milieux oligotrophes, ce qui semble marquer une amélioration trophique du lac malgré, ces dernières années, un renforcement paradoxal d'espèces eutrophes (Anneville *et al.*, 2001). Cette constatation a conduit à attacher une attention particulière à la notion "d'espèces candidates" à un type d'habitat (Reynolds, 1998²⁴) et à étudier l'évolution annuelle des associations d'espèces en lien avec celle de leur environnement.

3.4.3. Une évolution saltatoire décomposable, depuis 1974, en trois modes très différents de fonctionnement.

Pour les lacs alpins et subalpins, les différents types de dynamique saisonnière des espèces phytoplanctoniques sont résumés dans leurs grandes lignes par le modèle du Plankton Ecology Group (PEG, Sommer *et al.* 1986²⁵) qui nous a servi de référence. Dans un contexte donné, ces dynamiques sont assez stables d'une année sur l'autre. Mais sur une longue période, et dans un environnement changeant comme celui du Léman, en phase de réoligotrophisation et sur fond probable d'un réchauffement global de ses eaux, des modifications étaient à escompter qu'il importait d'interpréter en termes d'évolution de la qualité. Pour caractériser ce cycle, la méthode STATIS, bien adaptée à la recherche des structures communes entre tableaux de données annuelles et à leurs déformations dans le temps, a montré que des différences inter-annuelles existent effectivement, et qu'elles se manifestent principalement à partir de la période estivale (Anneville *et al.* 2001, 2002). On peut ainsi distinguer trois schémas annuels dans le temps pour le Léman :

²⁴ Reynolds, C.S. (1998) *Hydrobiologia*.

²⁵ Sommer, U. (1986) *Arch. Hydrobiol.*

- de 1974 à 1985, période de richesse maximale en phosphore, le schéma consiste en une succession classique en milieux méso-eutrophes, avec un fort pic printanier, une phase d'eaux claires, et un fort pic d'été relayé par des espèces d'automne abondantes.

- En 1986 survient un brusque changement. Le cycle est alors caractérisé par un très fort développement de la communauté estivale et l'absence d'espèces automnales type. Ce schéma se maintient jusqu'en 1991, 1988 présentant toutefois une structure semblable au troisième type de successions saisonnières.

- De 1992 à 1998 (plus 1988) le cycle est caractérisé par une phase des eaux claires plus précoce et une dominance très courte des espèces estivales, très précocement relayées par des espèces d'automne de grandes tailles, peu ingérables par le zooplancton et donc qui s'accumulent, générant de nouvelles nuisances.

Bien qu'il faille nuancer, on observe donc plutôt une succession de phases relativement stables coupées de "sauts catastrophiques", qu'une évolution graduelle du schéma annuel, ce qui nous place au cœur des débats actuels sur les grands modes de fonctionnement des écosystèmes : persistance, résilience, et perception "évolutionniste" des systèmes (Pimm 1984²⁶, Holling 1973²⁷, Reynolds, 2000²⁸).

3.4.4. Importance de la répartition verticale du phosphore et du contexte thermique

Pour tenter de donner une explication fonctionnelle à ces trois grands types de fonctionnement saisonnier et, de là, une interprétation en terme d'évolution de la qualité, l'étape suivante des analyses visait à caractériser les associations d'espèces phytoplanctoniques impliquées et les caractéristiques du milieu qui leurs sont associées (et donc leur domaine de vitalité). La méthode utilisée (et qui est encore en cours de développement), repose sur la validation d'une partition d'échantillons en groupes par les statistiques Bayésiennes. Elle a permis la détermination de 7 groupes caractérisés par 7 associations d'espèces (et pour le zooplancton de 5 groupes caractérisés par 4 associations : Fig. 17). Une analyse discriminante sur les paramètres du milieu, conduite sur les trois groupes phytoplanctoniques caractéristiques des conditions estivales (et qui recoupent bien ceux mis en évidence par STATIS), montre que le paramètre discriminant le plus cette période *est la profondeur de la zone appauvrie en phosphore* (Anneville *et al.* 2002) Un travail plus fin sur ce paramètre (Anneville *et al.*, 2002) montre qu'effectivement, la date d'apparition de la communauté automnale est corrélée à la date à laquelle la couche euphotique est appauvrie *au delà* de la thermocline. Ce constat conduit à proposer l'hypothèse que *l'apparition précoce de la communauté automnale, qui caractérise le fonctionnement du dernier groupe d'années, est liée à l'approfondissement également plus précoce de la zone appauvrie en nutriment*. L'explication du phénomène serait d'ordre physiologique, les espèces d'automne, comme *Mougeotia gracillima* et *Tribonema cf. ambiguum* étant peu exigeantes vis-à-vis de la lumière sont favorisées dans un milieu où la ressource nutritive n'est plus disponible qu'aux profondeurs où la lumière devient un facteur limitant pour les autres espèces (Cf. fig. 18 et schéma conceptuel de la Fig. 19).

Cet appauvrissement précoce en phosphore des eaux superficielles (gagnant maintenant l'hypolimnion) est directement lié à la baisse générale des teneurs observées depuis le début des années 80, mais un second facteur a dû intervenir en synergie. On observe en effet dans le Léman une augmentation des températures pour la période 1988-1998, principalement en hiver et au début du printemps. Ces observations rejoignent celles effectuées dans les lacs d'Europe de l'Est où ce phénomène est mis en relation directe avec l'oscillation Nord Atlantique (NAO) (Adrian *et al.*, 1995²⁹, Weyhenmeyer *et al.*, 1999³⁰). Il est vrai que dans les lacs monomictiques chauds, où le démarrage du phytoplancton est dépendant de la stabilité de la colonne d'eau, l'augmentation de

²⁶ Pimm, S.L. (1984) *Nature*

²⁷ Holling, C.S. (1973) *Annual Review of Ecology and Systematics*

²⁸ Reynolds, C.S (2000) *Verh. Internat. Verein. Limnol.*

²⁹ Adrian, R. (1995) *Arch. Hydrobiol.*

³⁰ Weyhenmeyer, G. (1999) *Limnol. Oceanogr.*

température hivernale n'a pas d'influence sur la date de démarrage du phytoplancton (Straille et Adrian, 2000³¹). Mais nous avons constaté que l'augmentation des températures printanières a une importance sur sa quantité. Ainsi dès 1988, de fortes biomasses printanières stimulées par des eaux plus chaudes ont provoqué une consommation accrue du phosphore au printemps. On peut alors s'attendre à ce que ce phénomène se traduise par un approfondissement de la zone de consommation, les algues allant chercher leurs ressources de plus en plus profondément. Et c'est effectivement ce que l'on observe, la distribution verticale des maxima de chlorophylle *a* montrant depuis 1988 une tendance à un rapide approfondissement.

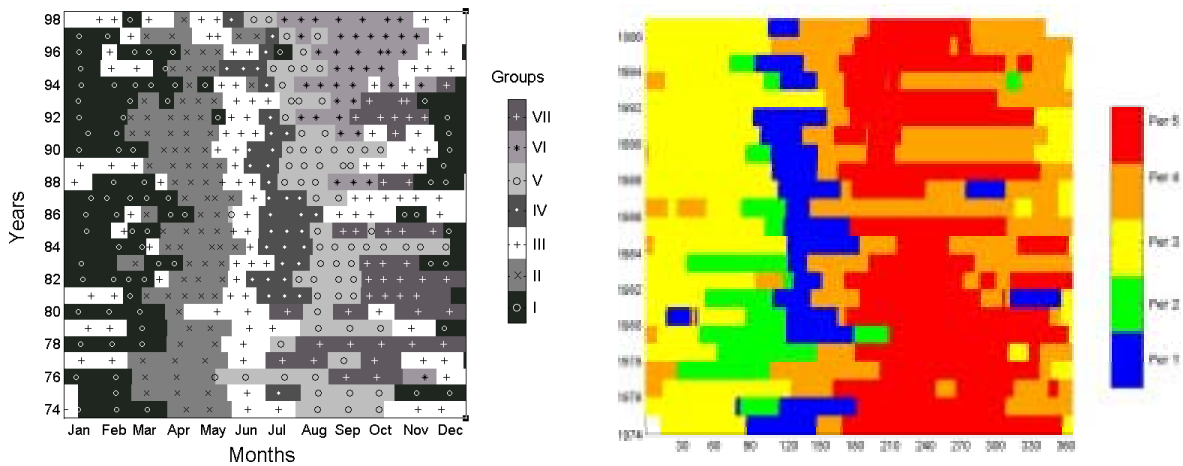
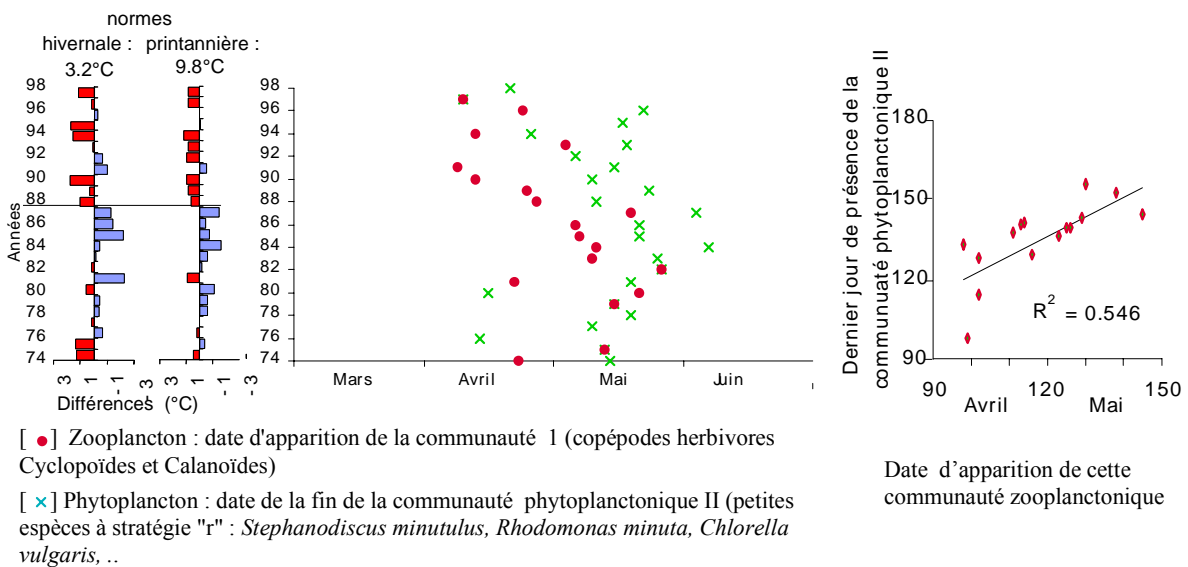


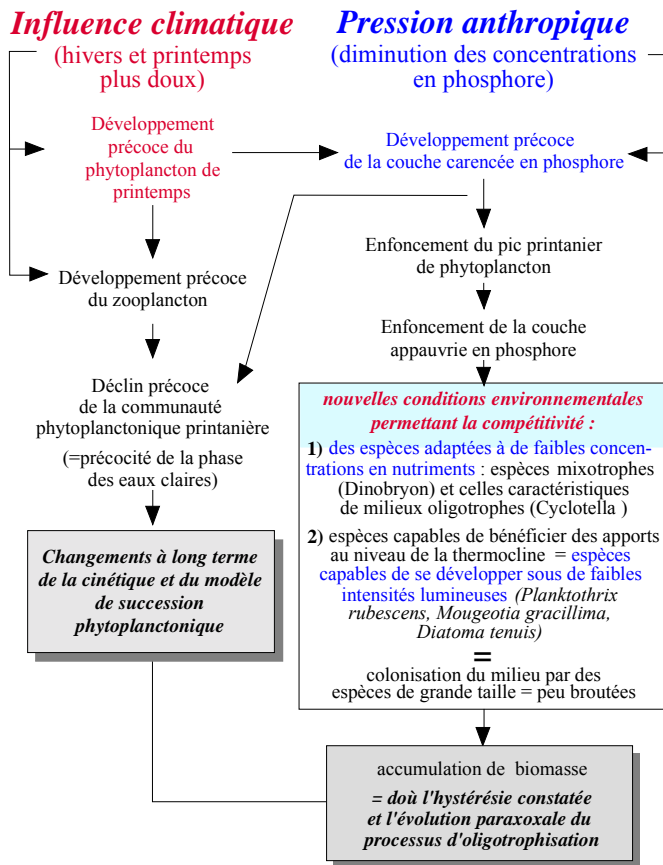
Figure 17 :- Cartographie de l'évolution des assemblages phytoplanctoniques (à gauche) et zooplanctoniques signant les successions planctoniques saisonnières au Léman (mois ou jours juliens en abscisse, années en ordonnées).



[●] Zooplancton : date d'apparition de la communauté 1 (copépodes herbivores Cyclopoïdes et Calanoïdes)
 [×] Phytoplancton : date de la fin de la communauté phytoplanctonique II (petites espèces à stratégie "r" : *Stephanodiscus minutulus*, *Rhodomonas minuta*, *Chlorella vulgaris*, ..

Figure 18 : Les hivers et printemps plus doux de la dernière décennie (graphe de gauche) s'accompagnent d'un avancement de la date de ces relais faunistiques et floristiques mis en évidence pour le plancton (graphe médian). On constate aussi une liaison entre relais survenant dans les deux compartiments planctoniques.

³¹ Straille, D. (2000) *Global Change Biology*.



L'analyse des profils verticaux montre que la diminution du phosphore a induit un changement dans la répartition verticale du phytoplancton et en a altéré la composition spécifique en favorisant les espèces plus adaptées aux faibles intensités lumineuses (et donc aptes à se développer à plus grande profondeur). Mais ces algues ont tendance à s'accumuler, en particulier grâce à la résistance au broutage que leur confère leur grande taille. Elles peuvent alors provoquer des nuisances. En outre, ce changement induit par la diminution du phosphore entre en synergie avec les oscillations du centre de haute pression Nord Atlantique, responsables des hivers et printemps plus doux de ces dernières années et qui favorisent le développement du plancton. Cela conduit à la fois à un épuisement précoce du phosphore dans la couche euphotique et à un développement plus précoce du zooplancton (et de sa pression de broutage) ce qui pourrait favoriser le développement des poissons et, par effet de cascade, limiter par prédation le zooplancton estival et son contrôle sur le phytoplancton. La synergie de ces phénomènes contribue donc à expliquer l'effet paradoxal de la diminution du phosphore sur les biomasses, et le remplacement des fleurs d'eau estivales à Cyanobactéries et Dinophycées, bien typiques des milieux eutrophes, par des fleurs d'eau à Zygothycées et Xanthophycées, un peu plus ubiquistes mais souvent tout aussi gênantes.

Figure 19 : Modèle conceptuel résumant les synergies responsables de la réponse paradoxale du lac à la réoligotrophisation

3.4.5. Quelles hypothèses pour l'avenir du lac ?

On est donc encore loin du schéma annuel normal d'un lac oligotrophe caractérisé par une seule poussée phytoplanctonique au printemps, suivie d'une présence beaucoup plus discrète des algues le reste de l'année. On observe au contraire ces dernières années une recrudescence du pic estival, constitué en grande partie d'espèces automnales précoces et indésirables qui provoquent l'inquiétude des gestionnaires et des utilisateurs. On a aussi montré que, paradoxalement, c'est bien la diminution générale des teneurs en phosphore, probablement liée à des printemps plus chauds, qui en serait à l'origine. La question de la durée de ce type de fonctionnement est d'autant plus cruciale que l'on observe ces dernières années un arrêt de la chute des teneurs en phosphore et une stabilisation à peine au-dessous de $40 \mu\text{gP.l}^{-1}$, valeur *a priori* toujours trop élevée. Une analyse comparative sur les autres grands lacs de l'arc alpin n'engage pas à un grand optimisme dans la mesure où il a fallu attendre bien souvent de repasser au-dessous de la barre des 20 à 30 (voire même $10 \mu\text{g.P.l}^{-1}$ au lac de Pallanza !) pour observer une amélioration sensible et durable de la qualité (Sas, 1989³²). C'est de fait la teneur de $20 \mu\text{g.l}^{-1}$ qui a été affichée de longue date par les limnologues de la station comme seuil à atteindre pour le Léman. Mais, ces études comparatives montrent également que chaque grand lac présente ses propres particularités et qu'il est par exemple difficile de fondre finement les modes de fonctionnement du Léman dans un des schémas proposés par le PEG (Gawler *et al.*, 1988³³ ; Anneville *et al.* 2002). Il est donc légitime de se poser la question de la validité de ce seuil pour le Léman. Ce qu'on a tenté de faire avec une analyse fine de la dernière période (Anenville *et*

³² Sas, H. (1989) *Lake restoration by reduction of nutrient loading : expectations, experiences, extrapolations.*

³³ Gawler, M. (1988) *Arch. Hydrobiol.*

al. 2001). Celle-ci n'est pas aussi stable que les autres et est encore en évolution malgré la stabilisation des teneurs en phosphores. Dans ce contexte, l'évaluation de la mobilisation du phosphore des couches profondes et des sédiments a son importance (effet de la profondeur du mélange hivernal). A l'autre bout de la chaîne il doit aussi agir un contrôle descendant depuis le sommet du réseau trophique, principalement du zooplancton, qui semble effectivement lié au décalage dans l'apparition de la phase des eaux claires (plus de 15 jours au cours de la dernière décennie).

3.4.6. *Vers un élargissement de la démarche :*

Cette démarche analytique qui s'est avérée euristique est actuellement répétée par O. Anneville dans le cadre d'un Post Doc. de 18 mois à l'Univ de Constance où, pour faciliter la compréhension du processus de réoligotrophisation, elle a entrepris, sur les bases de données des collègues allemands (D. Straile, R. Kümmerlin) et suisses (H.R. Bürgi, S. Gammeter), de dégager les analogies et divergences existant au niveau des dynamiques planctoniques de 4 autres grands lacs profonds et géographiquement proches du Léman (Constance, Zurich, Wallen et Lucerne), et donc présumés soumis au même forçage externe par les processus météorologiques de grande ampleur comme l'Oscillation Nord-Atlantique qui signe la rudesse ou la douceur de nos hivers.

3.4.7. *Importance d'un suivi multidisciplinaire à long terme des plans d'eaux*

Compte tenu des enjeux économiques et sociaux, joint au tassement actuel de la baisse des teneurs en phosphore et à la recrudescence paradoxale de certaines micro-algues indésirables, il était légitime de chercher à interpréter le fonctionnement actuel et passé du lac pour vérifier si les mesures prises pour sa protection vont dans le bon sens. Ce travail répond par l'affirmative mais confirme la complexité (reconnue de longue date par des générations de limnologues de par le monde !), du fonctionnement d'un grand lac comme le Léman et la difficulté de faire des pronostics sur son évolution à court et moyen terme, sous contrainte de teneurs en phosphore aujourd'hui encore assez élevées. Sur un plan plus théorique, nous avons vu que ce travail permet d'alimenter un débat très actuel sur les grands régimes de fonctionnement des écosystèmes. Soulignons qu'il s'agit du premier travail de ce type sur les données du Léman. C'est également le premier cas où des outils biométriques permettant de tenir compte de tous les relevés ont été appliqués à l'analyse de chroniques lacustres multiparamètres. Le travail déjà accompli sur le Léman montre clairement qu'il est possible de progresser de manière importante dans la compréhension des modes de fonctionnement d'un lac, à condition de disposer de l'ensemble des grands facteurs explicatifs potentiels, biotique et abiotique, sur toute la période, ce qui est le cas actuellement avec, en particulier, la richesse des données sur les profils verticaux. Des aspects écotoxicologiques comme le cuivre seraient sans doute également à prendre en compte, et on peut penser que le compartiment poisson est très insuffisamment abordé dans ce suivi. Ce programme de *surveillance*, adapté par définition au *suivi* de l'évolution à long terme du lac, et qui se justifie à lui seul sur cette question, ne peut bien sûr pas répondre directement aux autres questions scientifiques que se pose la station. Ces questions spécifiques demanderont toujours des programmes de recherche spécifiques. Mais l'expérience montre que trop souvent ces programmes spécifiques, par nature limités dans le temps, débouchent sur de très intéressantes *hypothèses* fonctionnelles, mais qui restent des *hypothèses* tant qu'elles ne sont pas validées par des travaux complémentaires... qui ne voient souvent pas le jour. Or on peut penser que des hypothèses fondées sur un travail spécifique bien mené devraient pouvoir conduire à des prédictions à un niveau suffisamment général pour être perceptibles au niveau de précision d'un programme de suivi à long terme. Ce programme de suivi peut donc constituer un outil extrêmement précieux pour la *validation* de bien des questions scientifiques d'ordre limnologique pourtant non directement reliées à ce programme et risque de devenir de plus en plus indispensable à la station.

3.5. Perspectives de la thématique réhabilitation et gestion.

Les recherches de notre groupe thématique se poursuivront selon la double approche diachronique (suivi à long terme) et synchronique (écologique comparée), en profitant de la dynamique initiée avec la création du GIS plans d'eau. Nos recherches seront réalisées en étroite collaboration avec les gestionnaires et la profession.

Les séries diachroniques sur le suivi de la fraie de la perche et du gardon seront poursuivies et analysées. Pour la perche, il est prévu en particulier de publier une synthèse des données sur la fraie et la croissance au Léman en mettant cette dernière en relation avec l'évolution trophique du lac. L'hypothèse d'une mortalité hivernale sélective des jeunes perches (prise en compte des facteurs : taille-croissance, coefficient de condition, réserves lipidiques, taux de parasitisme par *Tripanophorus nodulosus*.) servira de base à une étude réalisée *in situ* dans plusieurs lacs et dans différentes situations d'abondance des populations. De nouveaux scénarios de gestion devront être proposés pour essayer d'adapter la pêche de la perche au nouveau rythme de croissance et de mortalité de ce poisson, après avoir éventuellement modélisé la dynamique de la population. Dans le Léman, les populations de brochet et d'ablette sont en pleine expansion. D'une manière plus générale, le peuplement piscicole des plans d'eau évolue sous l'effet des changements climatiques et trophiques. Il sera nécessaire de rechercher et d'analyser les mécanismes qui ont favorisé le retour du brochet et de l'ablette puis d'évaluer quelles seront les conséquences du développement de ces deux espèces pour le reste du peuplement piscicole du Léman. En relation avec la réoligotrophisation des lacs et les évolutions climatiques, il devient nécessaire d'estimer l'évolution relative du recrutement naturel et du pacage lacustre chez l'omble chevalier, chez le corégone et chez la truite de lac. Les méthodes de fluoromarquage mises au point récemment (Champigneulle et Rojas Beltran, 2001) sont suffisamment fiables pour qu'il soit maintenant techniquement envisageable de les utiliser pour répondre à cette question. Une telle approche n'est cependant envisagée qu'au travers d'un passage de relais ou d'un partenariat dans le contexte du GIS plan d'eau

Le poste de CR sur le déterminisme du recrutement aux stades précoces, sera principalement associé au groupe thématique relations trophiques de l'équipe RTR. Il fera cependant un lien entre les deux groupes de l'équipe RTR (lien entre fraie - stades larvaires et juvéniles chez la perche ; dynamique précoce des composantes naturelles et repeuplée chez le corégone).

En ce qui concerne la truite, la démarche d'attirer et d'animer sur la « zone atelier » des travaux interdisciplinaires en collaboration entre écologistes (Thonon) et généticiens des populations (collaborations INRA Jouy, Universités de Berne et Turin/Padoue) sera poursuivie. La production, déjà commencée, d'articles interdisciplinaires (génétique et écologie) avec des applications à la gestion (patrimoniale et halieutique ; ingénierie écologique) devrait s'intensifier. Nous avons également l'ambition de nous organiser en un réseau interdisciplinaire intégrant les différentes implantations INRA (Rennes, St-Pee, Jouy et Thonon) et non INRA (Ex. : CEMAGREF Lyon/habitat, CNRS Montpellier-génétique, laboratoires étrangers : Espagne, Suisse, Italie, Danemark/génétique, CSP/gestion) autour de la thématique du fonctionnement et la gestion des populations de truite. Des thèmes fédérateurs existent (habitat et dynamique des populations, survie aux stades précoces : cf programme AQUAE, déterminisme et interactions migrateurs lac ou mer -sédentaires, diversité génétique : impact du fractionnement de l'habitat et du repeuplement, dynamique spatiale à grande échelle (SIG), localisation, conservation, réhabilitation et gestion durable de la ressource.

Pour l'omble chevalier, les recherches se poursuivront en milieu contrôlé sur l'écophysiologie de la reproduction. Cette recherche est maintenant valorisée dans le contexte de réseau européen Charnnet. Notre savoir-faire en matière de repeuplement intéresserait l'Écosse où démarre un programme sur ce thème (Contact M. Moore, Inverness fish farming) Notre savoir

faire en matière de fluoromarquage intéresse l'Autriche (contact H. Kummer, Université de Vienne) ainsi que le Val d'Aoste pour la truite.

4. Perspectives générales.

L'ensemble des perspectives des deux groupes thématiques qui constituent l'équipe RTR intègre déjà les nouvelles orientations pressenties pour le prochain schéma stratégique du département HYFS en cours de discussion. Elles s'inscrivent en effet logiquement dans l'axe 1 (Mécanismes de régulation de la structure et du fonctionnement des populations) et l'axe 2 (Restauration et aménagement des milieux aquatiques et terrestres et des ressources biologiques associées).

Le GIS plan d'eau qui se structure actuellement regroupera des équipes de l'INRA, du CEMAGREF et du CSP. Une approche d'écologie comparée pourra être envisagée sur un grand nombre de plans d'eau naturels et artificiels. L'une des ambitions de ce groupement sera d'arriver à apprécier à partir d'un certain nombre de critères de l'ichtyofaune, l'état écologique des plans d'eau, en prenant en compte l'aspect fonctionnel des écosystèmes. De plus, des travaux seront réalisés dans le cadre du GIS pour l'élaboration d'outils permettant l'identification des causes de dysfonctionnement des peuplements piscicoles. Les collaborations et le transfert (aide à la gestion/décision) seront réorganisés dans le nouveau contexte de ce GIS. Une collaboration internationale, concernant en particulier l'impact des changements globaux sur les populations de poissons pourra se développer si les projets de réseau européen 'global change impacts on European lake ecosystems' et 'Long Term Ecological Research' se développent.

PUBLICATIONS/COMMUNICATIONS EQUIPE RTR 1998-2002

1. Publications scientifiques dans revues indexées :

- ANNEVILLE O., PELLETIER J.-P., 2000. Recovery of lake Geneva from eutrophication : quantitative response of phytoplankton. *Arch. Hydrobiol.*, 148(4), 604-624.
- ANNEVILLE O., GINOT V., N. ANGELI N., 2002. Restoration of Lake Geneva : expectations and results vs. Phytoplankton response to phosphorus decrease. *Lakes & Reservoirs Research and Management*, 7 (2), 67-80.
- ANNEVILLE O., GINOT V., DRUART J.-C., ANGELI N., 2002. Long-term study (1974-1998) of seasonal changes in the phytoplankton in Lake Geneva: a multi-table approach. *J. Plankton Res.*, 24, 993-1008
- ANNEVILLE O., SOUISSI S., IBANEZ F., GINOT V., DRUART J.-C., ANGELI N., 2002. Temporal mapping of phytoplankton assemblages in Lake Geneva: Annual and interannual changes in their patterns of succession. *Limnol. Oceanogr.*, 47 (5), 1355-1366.
- BERNY P, LACHAUX O, MAZALLON M, GILLET C., BURONFOSSE T., 2002. Zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) as indicators of fresh water contamination with lindane. *Environmental contamination, sous presse.*
- CARANHAC F., GERDEAUX D., 1998. Analysis of the fluctuations in whitefish (*Coregonus lavaretus*) abundance in lake Geneva. *Arch. Hydrobiol. Adv. Limnol. Spec. Issue. Biology and Management of coregonid fishes*, 50, 197-206.
- CAUDRON A., CHAMPIGNEULLE A., 2002. Evaluation spatio-temporelle de la contribution du repeuplement en truite (*Salmo trutta* L.) réalisé à des stades précoces dans le bassin amont du Fier (74). *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 365/366, 455-469.
- CHAMPIGNEULLE A., CACHERA S., 2002. Evaluation by otolith fluoromarking of the contribution of large scale stockings at early stages to the catches of brown trout (*Salmo trutta* L.) in the French Swiss part of the River Doubs. *Fisheries Management and Ecology Fisheries Management and Ecology*, 9, 1-7.
- CHAMPIGNEULLE A., DEGIORGI F., RAYMOND J.-C., CACHERA S., 2002. Dynamique spatio-temporelle de la contribution du repeuplement en stades précoces de truite (*Salmo trutta* L.) dans la population en place et dans la pêche sur le Doubs franco-suisse. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 365/366, 471-485.
- COPP, G.H., FOX, M. et KOVA, V. (*in press*) Growth, morphology and life history traits of a coolwater European population of pumpkinseed *Lepomis gibbosus*. *Archiv für Hydrobiologie, in press.*
- COPP, G.H., KOVA, V. et BLACKER, F., 2002. Differential reproductive allocation in sympatric stream-dwelling sticklebacks *Gasterosteus aculeatus* and *Pungitius pungitius*. 51(4), *Folia Zoologica, sous presse.*
- DUFOUR E., GERDEAUX D., 2001. Apports des isotopes stables (C,N,O,S,Sr) aux études écologiques sur les poissons, *Cybium*, 25 (4), 369-382.
- DUFOUR E., BOCHERENS H., GERDEAUX D., RUHLE C., MARIOTTI A., 1998. Stable carbon and nitrogen isotope approach to the distinction between Blaufelchen and Gangfish (*Coregonus lavaretus*) in lake Constance. *Arch. Hydrobiol. Adv. Limnol. Spec. Issue. Biology and Management of coregonid fishes*, 50, 121-129.
- DUFOUR E., GERDEAUX D., CORVI C., KHIM-HEANG S., MARIOTTI A., 2001. Assessment of the contaminant concentration variability among Lake Geneva arctic charrs using stable isotopic composition ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$). *Environmental Toxicology*. 16 (2), 185-191
- GAY P., BAYSSADE-DUFOUR C., GRENOUILLET F., BOUREZANE Y., DUBOIS J.P., 1999. Etude expérimentale de dermatites cercariennes provoquées par *Trichobilharzia* en France. *Med. Mal. Infect.*, 29, 629-637
- GERDEAUX D., BERGERET S., FORTIN J., BARONNET T., 2002. Diet and seasonal patterns of food intake by *Coregonus lavaretus* in Lake Annecy, comparison with the diet of the other species of the fish community. *Archiv. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.* 57, 199-207.
- GERDEAUX D., GERALD P., GROLLINGER B., NAMECHE Th., 1998. Survey of coregonid stocking in two reservoirs in Belgium. *Arch. Hydrobiol. Adv. Limnol. Spec. Issue. Biology and Management of coregonid fishes*, 50, 487-495.

- GILLET C.**, HAFFRAY P, VAUCHEZ C., 2001. Triploidy induced by pressure shock in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) : growth, survival and maturation until the third year. *Aquat. Liv. Resour.* 14, 327-334.
- GINOT V.**, LE PAGE C., SOUISSI S., 2002. A multi-agents architecture to enhance end-user individual-based modelling. *Ecological Modelling*, 157, 23-41.
- GUILLARD J.**, 1998. Daily migration cycles of fish populations in a tropical estuary (Sine-Saloum, Senegal) using a horizontal-directed split-beam transducer and multibeam sonar. *Fisheries Research*, 35, 21-29.
- GUILLARD J.**, COLON B., 1998. Estimation hydroacoustique du nombre de poissons migrateurs franchissant l'écluse de Beaucaire-Vallabrègues (Rhône). *Bull. fr. pêche piscic.*, 348, 79-90
- GUILLARD J.**, COLON M., 2000. First results on migrating shad (*Alosa fallax*) and mullet (*Mugil cephalus*) echo counting crossing a lock on the Rhône River (France), using a split-beam sonar and relationships with environmental data and fish caught. *Aqu. Liv. Res.* 13 (5), 327-330.
- GUILLARD J.**, LEBOURGES A., 1998. Preliminary results of fish populations distribution in a Senegalese coastal area with depths less than 15 m, using acoustic methods. *Aquat. Living. Resour.*, 11, 13-20.
- HANZELOVA V., **GERDEAUX D.**, SCHOLZ T., KUCHTA R., 2002. A comparative study of *Eubothrium salvelini* (Schrank, 1790) and *E. crassum* (Bloch, 1779) (Cestoda: Pseudophyllidea), parasites of Arctic charr and lake trout in Alpine lakes. *Environmental Biology of Fishes*. 64, 245-256
- HANZELOVA V., SCHOLZ T., **GERDEAUX D.**, DE CHAMBRIER A., 1999. Endoparasitic helminths of fishes in three alpine lakes in France and Switzerland. *Revue Suisse. Zool.* 106 (3), 581-590.
- HASNAOUI M., KASSILA J., LOUDIKI M., DROUSSI M., **BALVAY G.**, **BARROIN G.**, 2001. Relargage du phosphore à l'interface eau-sédiment dans des étangs de pisciculture de la station Déroura (Béni-Mellal, Maroc). *Rev. Sci. Eau* 14 (3), 307-322.
- HASNAOUI M., KASSILA J., LOUDIKI M., DROUSSI M., **BALVAY G.**, *Hypophthalmichthys molitrix* dans un étang de pisciculture en climat semi-aride. *Rev. Sci. Eau*, sous presse.
- HASNAOUI M., SOUISSI S., KASSILA J., DROUSSI M., LOUDIKI M., **BALVAY G.** Variabilité des descripteurs physiques, chimiques et phytoplanctonique des eaux d'un étang d'alevinage à la station Deroua (Béni-Mellal, Maroc). *Rev. Sci. Eau* (sous presse).
- KOVA, V., **COPP**, G.H., DIMART, Y. et UIKOVA, M. 2002. Comparative morphology of threespine Gasterosteus aculeatus and ninespine Pungitius pungitius stickleback in lowland streams of southeast England. *Folia Zoologica*, 51(4),
- KRALOVA I., HANZELOVA V., SCHOLZ T., **GERDEAUX D.**, SPAKULOVA M., 2001. A comparison of the internal transcribed spacer of the ribosomal DNA in *Eubothrium crassum* and *Eubothrium salvelini* (Cestoda : Pseudophyllidae), parasites of salmonid fish. *Int. J. Parasitol.*, 31 (1), 93-96.
- LARGIADER C., ESTOUP A., LECERF F., **CHAMPIGNEULLE A.**, GUYOMARD R., 2001. Microsatellite analysis of polyandry and spawning site competition in brown trout (*Salmo trutta* L.). *Génétique, Sélection et Evolution*, 33, 205-222.
- MASSON S., **ANGELI N.**, **GUILLARD J.**, PINEL-ALLOUL, B., 2001. Diel vertical and horizontal distribution of crustacean zooplankton and young of the year fish in a sub-alpine lake: an approach based on high frequency sampling. *J. Plankton Res.*, 23 (10), 1041-1060.
- MORAVEC F., HANZELOVA V., SCHOLZ T., **GERDEAUX D.**, 1999. *Comephoronema oschmarini* (Nematoda : Cystidicolidae), a specific parasite of *Lota lota* (Pisces), occurs in western Europe. *Folia parasitologica*, 46, 159-160.
- MOUELHI S., DEFAYE D., **BALVAY G.**, 2000. Présence de *Mesocyclops ogunnus* Onabamiro, 1957 (Crustacé, Copépode) en Tunisie. *Annls Limnol.* 36 (2) : 95-99.
- MOUThON J., **DUBOIS J.-P.**, 2001. Les peuplements de mollusques de la zone littorale du lac d'Annecy (Savoie, France). *Ann. Limnol.*, 37, 267-276.
- PINEL-ALLOUL B., GUAY C., **ANGELI N.**, LEGENDRE P., DUTILLEUL P., **BALVAY G.**, **GERDEAUX D.**, **GUILLARD J.**, 1999. Large-scale spatial heterogeneity of macrozooplankton in Lake of Geneva. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56 (8), 1437-1451.

2. Publications scientifiques dans revues non indexées :

- ANNEVILLE O., LÉBOULANGER C., 2001. Long-term changes in the vertical distribution of phytoplankton biomass and primary production in lake Geneva : a response to the oligotrophication. *Atti Assoc. Ital. Oceanol Limnol.* 14, p. 25-35. (715).
- BALVAY G., 1998. Le zooplancton du Léman, compartiment incontournable du réseau trophique. *Archs Sci. Genève* 51 (1) : 45-54.
- DRUART J.C., DORIOZ J.M., BLANC P., BALVAY G., 1999. Un lac à ménager : le lac Bénit. *Rev. Géogr. alpine* 87 (3) : 87-99, 105.
- DUBOIS J. P., GILLET C, LAURENT P., 2000. Alien Crayfish in Lake Lemman. *Freshwater Crayfish*, 12, 801-810.
- GIROUD C., BALVAY G., 1999. L'éclipse solaire du 11 août 1999 et la migration de quelques crustacés planctoniques dans le Léman. *Archs Sci. Genève* 52 (3) : 199-208.
- HOUSSIN D., BORNHOFEN S., SOUISSI S., GINOT V., 2002. Entre programmation par composants et langages d'experts. Rendre la modélisation individu-centrée plus accessible à l'utilisateur. *Technique et Science Informatiques*, 21 (4/2002) : 525-548.
- MISAILA E.R., GERDEAUX D., MISAILA C., IRIMIA D., CRISTEA I. 1999. Fish culture management of the dam lakes by the « lake ranching » method. *Lacurile de acumulare din Romania*. Vol.II, 107-118.
- MISAILA E.R., IRIMIA D., GERDEAUX D., MATEI D., MISAILA C. 1999. On the spatial distribution of the Poiana Uzului dam lake ichthyofauna by the echosounding method. *Lacurile de acumulare din Romania*. Vol. II, 49-56.
- MONET G., SOARES I., 2001. Tracking 48 and 150 MHZ radio-tagged male lake-trout during their spawning migration in a mountain regulated river. *Journal of Mountain Ecology*, 6, 7-19.
- MOUELHI S., BALVAY G., KRAIEM M.M., 1999. Le zooplancton des eaux continentales de Tunisie : inventaire préliminaire et biogéographie. *Archs Sci. Genève* 52 (2) : 61-72.
- MOUELHI S., BALVAY G., KRAIEM M.M., 2000. Branchiopodes (Cténopodes et Anomopodes) et Copépodes des eaux continentales d'Afrique du Nord : inventaire et biodiversité. *Zoosystema* 22 (4) : 731-748.

3. Thèses, DEA, DESS, ingénieur

- ANNEVILLE O., 2001. Diagnostic sur l'évolution de l'état de santé écologique du Léman par l'analyse des séries chronologiques du phytoplancton. Thonon: INRA, 307 p. *Th.: Sci : Université C. Bernard ; 107-2001. (Direction de Thèse N. Angeli).*
- BARONNET T., 1998. Contribution à l'étude des régimes alimentaires de poissons du lac d'Annecy. D.E.S.S. Eaux continentales, pollution et aménagement, Université de Franche Comté, Besançon. Thonon-les-Bains : INRA, Station d'hydrobiologie lacustre, 50 p. + 8 p. d'annexe ST 8.98. (*Encadrement D. Gerdeaux*).
- BERGERET S., 1999. Utilisation de deux méthodes d'analyse pour l'étude des régimes alimentaires des poissons du lac d'Annecy. DEA Analyse et modélisation des systèmes biologiques. Université Lyon 1, 30p. (*Encadrement D. Gerdeaux*).
- CACHERA S., 1998. Répartition spatiale et spectre de taille du macrozooplancton du lac d'Annecy en relation avec le régime alimentaire des perchettes, leur mode d'occupation de l'espace et leur contribution à la biomasse ichtyfaune. D.E.A. Ecologie des systèmes aquatiques continentaux. Université P. Sabatier, Toulouse. Thonon-les-Bains : INRA, Station d'Hydrobiologie Lacustre, 37 p. + 16 p. d'annexe ST 12.98. (*Encadrement : Angéli*).
- CARANHAC F., 1999. Modélisation de la dynamique de populations piscicoles exploitées intégrant la variabilité individuelle de croissance : application aux corégones (*Coregonus lavaretus*) du lac d'Annecy. 276 p. *Thèse doct.: Analyse et modélisation des systèmes biologiques. Uni. Claude Bernard, Lyon 1. (Direction de Thèse D. Gerdeaux).*
- CAUDRON A., 1998. Biologie et gestion de la truite (*Salmo trutta* L.) d'un torrent alpin, le Fier (74). DEA Gestion des Espaces Montagnards, Institut de Géographie Alpine, Grenoble, 64 p. (*Encadrement A. Champigneulle*).
- DUFOUR E., 1999. Implications paléoenvironnementales et paléoalimentaires des abondances isotopiques en carbone et azote des poissons téléostéens. 198 p. *Thèse doct.: Biogéochimie. Université Pierre et Marie Curie, Paris 6. (Direction de Thèse D. Gerdeaux).*

- GIROUD C., 1999. Migration verticale et ségrégation spatiale du zooplancton crustacéen dans le Léman. *DEA « Ecologie des systèmes aquatiques continentaux »*; Univ. P. Sabatier, Toulouse. Thonon-les-Bains : INRA, Station d'Hydrobiologie Lacustre, 35 p. (*Encadrement G. Balvay*)
- HUBERT C., 2000. La dermatite cercarienne en France : Revue bibliographique et autécologie d'une population d'hôtes intermédiaires d'une station du lac d'Annecy. *DEA Gestion de l'espace montagnard : environnement et société*. Université Joseph Fourier, Grenoble 1, 90p. (*Encadrement J.P. Dubois*)
- PERGA M., 2001. Analyse de la position isotopique des corégones versus les caractéristiques biogéochimiques de ces lacs. *DEA Analyse et modélisation des systèmes biologiques*. Université Lyon 1, (*Encadrement D. Gerdeaux*).
- TIXIER Ph., 1999. Etude des réseaux trophiques lacustres par la méthode des isotopes stables de l'azote et du carbone. La longueur des chaînes trophiques augmente-t-elle avec la productivité ? *DEA Ecologie*, Paris VI, 30p (*Encadrement D. Gerdeaux*).
- VINCENTI S., 1999. Application d'indices biologiques zooplanctoniques à trois lacs alpins. *DEA « Gestion des espaces montagnards : société et environnement »*. Institut de géographie alpine. Grenoble. Thonon-les-Bains : INRA, Station d'Hydrobiologie Lacustre, 44 p. + 10 p. annexe (*Encadrement G. Balvay*)

4. Chapitres ouvrage et ouvrages entiers :

- ANGELI N., CRETENOY L., GERDEAUX D., 2001. Importance du peuplement piscicole dans la qualité des eaux : les biomanipulations. *In La gestion piscicole des grands plans d'eaux*, GERDEAUX D. (éd.), INRA Paris, 35-74.
- ANNEVILLE O., PELLETIER J.-P., 1999. Vers une amélioration de la qualité des eaux du Léman ? évolution comparée d'indices trophiques. *In Découvrir le Léman 100 ans après François-Alphonse Forel*. BERTOLA C., GOUMAND C., RUBIN J.-F. (éds.), Genève : Slatkine ; 216-227.
- ANNEVILLE O., ANGELI N., GINOT V., PELLETIER J.-P., 2001. Ambiguïté sur l'état trophique du léman : vers un indice fondé sur les associations d'espèces : Ambiguïty on lake Geneva trophic state : toward an index based on species associations. *In État de santé des écosystèmes aquatiques. De nouveaux indicateurs biologiques*. Synthèse du programme de recherche 1996-1999. LEMOALLE J., BERGOT F., ROBERT M. (eds.). CEMAGREF 153-175.
- BALVAY G., 1999. Que sont devenus les rotifères et les entomostracés du Léman depuis l'époque de F.A. Forel. *In Découvrir le Léman 100 ans après François-Alphonse Forel*. BERTOLA C., GOUMAND C. RUBIN J.F. (éd.), Slatkine Genève, 254-263.
- BALVAY G., PELLETIER J., DRUART J.C., 2001. L'écosystème lentique. *In L'eau dans l'espace rural. Vie et milieux aquatiques*. NEVEU A., RIOU C., BONHOMME R., CHASSIN P., PAPY F. (eds). INRA Editions, Paris, 51-76.
- BALVAY G., PELLETIER J.P., DRUART J.C., 1999. Les milieux aquatiques. Chap. 6 *In L'eau.1. Milieu naturel et maîtrise*. G. GROSCLAUDE (coord.). INRA Editions, Coll. Un point sur, 103-119.
- CHAMPIGNEULLE A., ROJAS BELTRAN, 2001. Le marquage des poissons. *In La gestion piscicole des grands plans d'eaux*, GERDEAUX D. (éd.), INRA Paris, 311-346
- CHAMPIGNEULLE A., MELHAOUI M., BUTTIKER B., DURAND P., 1999. Main characteristics of the biology of the trout (*Salmo trutta* L.) in the Lake Lemman and some tributaries. *In Biology and Ecology of the Brown Trout and Sea Trout*. BAGLINIERE J.L., MAISSE G. (eds). Springer in association with Praxis Publishing, Chicchester, U.K.. 147-174.
- CHAMPIGNEULLE A., MICHOU D. M., BRUN J.C., 2001. Pacage lacustre de salmonidés (omble chevalier, corégone et truite) dans le lac Léman et le lac du Bourget). *In La gestion piscicole des grands plans d'eaux*, GERDEAUX D. (éd.), INRA Paris, 349-421.
- DUBOIS J.-P., 2001. La perche *Perca fluviatilis* (Linné, 1785). *In Atlas des poissons d'eau douce de France*. KEITH P., ALLARDI J. (eds). Patrimoine naturel, n° 47. Paris : Muséum National d'Histoire Naturelle, 308-311.
- GEORGE D.G., CONSTANTINESCU T.L., DURAS J., GERDEAUX D., HORICKA S., OZIMEK T., 1998. Managing water quality in a changing world. *In Management of lakes and reservoirs during global climate change*. GEORGE D.G. et all (Eds) ; working group topic 3, 301-306.
- GERDEAUX D., 1998. Fluctuations in lake fisheries and global warming. *In Management of lakes and reservoirs during global climate change*. George D.G. et all (Eds), 263-272.
- GERDEAUX D., 2001. Corégones. Fiche descriptive. *In Atlas des poissons d'eau douce de France*. KEITH P., ALLARDI J. (eds). Patrimoine naturel, n° 47. Paris : Muséum National d'Histoire Naturelle, 263-265.

- GERDEAUX D.**, 2001. Estimation de la récolte par les statistiques de pêche. *In La gestion piscicole des grands plans d'eaux*, GERDEAUX D. (ed.), INRA Paris, 423-433,
- GERDEAUX D.**, 2001. Dynamique et gestion des populations de poissons des lacs périalpins. *In Vie et milieu aquatique*, NEVEU A. (Ed.), Paris, INRA, 77-94,
- GERDEAUX D.** (Ed), 2001. **Gestion piscicole des grands plans d'eau**. Paris, INRA, 464 p.
- GERDEAUX D.**, 2001. La croissance du poisson: techniques d'études. *In La gestion piscicole des grands plans d'eaux*, GERDEAUX D. (ed.), INRA Paris, 283-292.
- GERDEAUX D.**, 2001. L'omble chevalier. *In Atlas des poissons d'eau douce de France*. KEITH P., ALLARDI J. (eds). Patrimoine naturel, n° 47. Paris : Muséum National d'Histoire Naturelle, 252-253.
- GILLET C.**, 2001. Le déroulement de la fraie des principaux poissons lacustres. *In La gestion piscicole des grands plans d'eaux*, GERDEAUX D (ed.), INRA Paris, 241-281.
- GINOT V., LE PAGE C.**, 1998. Mobidyc, a generic multi-agents simulator for modeling communities dynamics. *In Methodology and Tools in Knowledge-Based Systems*. MIRA J., DEL POBIL A.P., ALI M., (eds). Lect. Note Artif. Intell. 1415, 805-814.
- GINOT V., LE PAGE C.**, 2001. Gestion piscicole : générer des modèles d'accompagnement. *In La gestion piscicole des grands plans d'eaux*, Gerdeaux D. (ed.), INRA Paris, 435-456.
- GUILLARD J., MARCHAL E.**, 2001. L'hydroacoustique, méthode d'étude de la distribution spatiale et de l'abondance des peuplements pisciaires lacustres. *In La gestion piscicole des grands plans d'eaux*, Gerdeaux D. (ed.), INRA Paris, 215 - 239.

5. Communications scientifiques (Communication ou Poster)

Congrès internationaux :

- ALBARET J.J., GUILLARD J.**, 2002. Complementarity of the purse seine and hydro-acoustics in shallow waters to study the fish population in an estuary: the example of the Gambia river in West Africa. *6^{ème} ICES International Symposium on Fisheries and Plankton Acoustics*, Montpellier, 10 -14 June 2002 (P).
- BREHMER P., SANGUINEDE F., GERLOTTO F., GUENNEGAN Y., GUILLARD J., BUESTEL D.**, 2002. Monitoring anthropized aquatic ecosystems using acoustics : the case of fisheries and marine culture grounds along the French Mediterranean coastline. *6^{ème} ICES International Symposium on Fisheries and Plankton Acoustics*, Montpellier, 10 -14 June 2002, (P).
- CABALLERO P.I., LINARES E.O., GUILLARD J., SCHNEIDER P.**, 2002. Acoustic surveys in the Yucatan (Mexico) talus for Mero (*Epinephelus striatus*) study aggregations. *6^{ème} ICES International Symposium on Fisheries and Plankton Acoustics*, Montpellier, 10-14 June 2002, (P).
- CARANHAC F., GERDEAUX D.** 1998. Simulations of various harvest management strategies of the whitefish of Lake Annecy with a length based model. *XXVII Congrès SIL (Societas internationalis de Limnologia)*, 9-14 août 1998, Dublin, Irlande. (C)
- CARANHAC F., GERDEAUX D.**, 1999. Simulation of whitefish fishing policies with an age and length based model integrating individual variability in growth. *VII international symposium on the biology and management of coregonid fishes* , 9-15 août, Ann Arbor, Michigan, USA (C)
- CARDENAS J.J., GUILLARD J., ACHURY A., JOSSE E., LEBOURGES A.**, 2002. Spatio-temporal evolution of fish populations in a tropical estuary (Orinoco delta, Venezuela). *6^{ème} ICES International Symposium on Fisheries and Plankton Acoustics*, Montpellier, 10-14 June 2002, (P).
- CHUCHOTA R., SCHOLZ T., HANZELOVÁ V., GERDEAUX D.**, 1999. Scolex morphology of two sympatric species of *Eubothrium* Nybelin, 1922 (Cestoda: Pseudophyllidea), parasites of lake trout (*Salmo trutta m. lacustris*) and Arctic char (*Salvelinus alpinus*) in two Alpine lakes in France: a comparative study. *Congrès Budeske Jovice*. (C)
- DUBOIS J.-P., BUET A., CUSIN I., DELORAINÉ A., GERDIL S., HEDREVILLE L., MAURIN G.**, 2001. Epidemiological studies related to cercarial dermatitis in lake of the Savoy district (France). *Workshop on bird schistosomes and cercarial dermatitis held at Dolni Vestonice (Czech republic)* september 10-14, 2001. *Helminthologia*, 38, 4, p. 244 (C).
- DUBOIS J.P., GILLET C., LAURENT P.**, 1998. Alien crayfish in Lake Lemán. *Congrès Freshwater crayfish*, Augsburg. (Allemagne) (P)
- DUFOUR E., GERDEAUX D., BERGERET S., BOCHERENS H., MARIOTTI A.**, 1999. Stable carbon and nitrogen isotope approach to the study of the trophic position of the coregonid (*Coregonus lavaretus*) in lakes. *VII international symposium on the biology and management of coregonid fishes* , 9-15 août, Ann Arbor, Michigan, USA (C)

- DUFOUR E., GERDEAUX D., BOCHERENS H., CORVI C., KHIM-HEANG S., MARIOTTI A., 1998. Applications of Stable Isotope Techniques to Ecological Studies, Saskatoon, Saskatchewan, Canada, April 20-22, 1998. (C)
- GERDEAUX D., 2002. The recent restoration of the whitefish fisheries in Lake Geneva. Parts of the stocking, the reolotrophication of the lake, climate change. *VIII International Symposium on the biology and management of coregonid fishes*. Rovaniemi, Finlande, 25 août-1^{er} sept. (C)
- GERDEAUX D., 2000. Infection of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) with the tapeworm *Eubothrium salvelini* (Schrank, 1790) in Alpine lakes (France) : ecological indices and remarks to the parasite identification. *4^o International Charr Symposium*. 26 june-1st july. Trois-Rivières. Canada (C)
- GERDEAUX D., 2000. Interannual variations of the food habits of Arctic Charr (*Salvelinus alpinus*) in lake Annecy (France). *4^o International Charr Symposium*. 26 june-1st july. Trois-Rivières. Canada (P)
- GERDEAUX D., 2000. Management and ecology of Lake Annecy. *International symposium and workshop on management and ecology of lake and reservoir fisheries*. 10-14 April. Hull, UK (C)
- GERDEAUX D., 2000. The fisheries in alpine lakes in France, interactions between recreational and commercial fisheries. *Symposium on fisheries and society. Social, economic and cultural perspectives of inland fisheries*. EIFA-FAO. 1-3 June, Budapest. (C)
- GERDEAUX D., 2002. Introduction Conference of the symposium on inland fisheries management and the aquatic environment. *The effects of fisheries management on freshwater ecosystems*. FAO, CECPI Windermere, UK, 12-15 June («convener » du symposium) (C)
- GERDEAUX D., 2002. L'impact du Grand Cormoran sur les communautés piscicoles des grands plans d'eau . *European conference on the great cormoran*. Strasbourg 12-13 mars 2002. Membre du comité d'organisation
- GERDEAUX D., 2002. Les impacts des perturbations anthropiques sur les communautés piscicoles des lacs périalpins. Les traits de vie des espèces, base d'un modèle explicatif. *5^{eme} Congrès International de Limnologie-Océanographie*. PARIS, 9-12 sept. (C)
- GERDEAUX D., 2002. The restoration of eutrophicated lakes in France: the example of Lake Geneva, Lake Annecy and Lake Bourget. *1st ASEM Workshop on River Basin Management and Seminar on the Restoration of Eutrophicated Lakes and their Catchment, with a Special Focus on Three Lakes in China* (lakes Dianchi, Taihu, Chaohu) Kunming, Chine; 25-27 mars (C)
- GERDEAUX D., LELIEVRE M., 2000. Food of great cormorants *Phalacrocorax carbo* (L.), wintering at reservoir Poutès, River Allier, France. *5th International conference on cormorants*. Freising, Allemagne. 17-20 décembre 2000 (C).
- GERDEAUX D., MATHIEU L., 1999. The predation of great cormoran in lakes Geneva, Annecy and Bourget. *23^o annual meeting and workshop of the Waterbird Society*. 8-12 novembre. Grado, Italie (C)
- GERDEAUX D., PERGA M.E., 2002. Synchronic and diachronic study of the $\delta^{13}\text{C}$ isotopic signature of Whitefish *Coregonus lavaretus* in peri-alpine lakes. A contribution to the knowledge of the global functioning of lakes. *VIII International Symposium on the biology and management of coregonid fishes*. Rovaniemi, Finlande, 25 août-1^{er} sept (C)
- GERDEAUX D., BERGERET S., FORTIN J., BARONNET T., 1999. Diet and seasonal patterns of food intake by *Coregonus lavaretus* in Lake Annecy, comparison with the diet of the other species of the fish community. *VII international symposium on the biology and management of coregonid fishes* , 9-15 août, Ann Arbor, Michigan, USA. (C)
- GILLET C., 2002. Aquaculture and research on Arctic charr in France. Arctic charr Aquaculture. Annual charnnet meeting. Akureyri, Iceland. (C)
- GILLET C., HAFFRAY P., VAUCHEZ C., 2000. Production of triploid Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) by pressure induced retention of second polar body : Survival and growth of diploid and triploid Arctic charr during the first spawning period. *4th international charr symposium*, 26 juin-1 juillet, Trois Rivières, Québec, Canada (P).
- GUENNEGAN Y, GUILLARD J., BIGOT J.L., COLON M., LIORZOU B., 2002. Importance of the costal area in the fish stock estimation : comparison of acoustical data from the 40–20 m depth area obtained from an oceanographic vessel with the ones from the 30–5 m depth with a shallow draught boat. *6^{eme} ICES International Symposium on Fisheries and Plankton Acoustics*, Montpellier, 10-14 June 2002, (P).
- GUILLARD J., COLON M., 1999: Acoustic monitoring of migratory fish passing a lock on the river Rhône (France) using split-beam system. *Shallow Water Fisheries Sonar*, Seattle, 7-9 Sept. 1999 (P).
- HANZELOVA V., GERDEAUX D., KUCHTA R., SCHOLZ T., 2000. Morphology and morphometrics of *Eubothrium crassum* (Bloch, 1779) and *E. salvelini* (Schrank, 1790) (Cestoda : Pseudophyllidae). *VIII multicolloquium of parasitology*. 10-14 september. Poznan. Pologne. (C)

- HASNAOUI M., KASSILA J., LOUDI KI M., DROUSSI M., YAHYA OUI A., **BALVAY G.**, 1999. Variations physico-chimiques des eaux des étangs de production de carpes argentées avant et pendant l'aélevage (station de la Déroua, Béni-Mellal, Maroc). Maroc. *Proceeding 1st internat. Conf. on Biodiversity and Natural Resources Preservation*, Ifrane, May 13-15, 1999. Al Akhawayn Univ. (ed.), Ifrane : 183-188 (C).
- ISHIGURO N., KUMAGAI M., **BALVAY G.**, TOUCHART L., 2002. Holo-oligomictic lake, eutrophication and global warming. *Bolsena conf.*, Italy, oct. 2002 (C).
- ISHIGURO N., TOUCHART L., **BARROIN G.**, **BALVAY G.**, KUMAGAI M., 2002. The residence time of Lake Geneva, the role of the Upper Rhône and the global warming. *Conference Bolsena (Italy)*, 29/9-10/3/2002 (P).
- KASSILA J., HASNAOUI M., LOUDI KI M., YAHYA OUI A., **BALVAY G.**, 1999. Effet de l'inhibition du lessivage sur les échanges eau-sédiment en phosphore dans les étangs de production des carpes (Béni-Mellal, Maroc). *Congr. Internat. Biomembranes*, Fès Maroc, 28-30 avril 1999 (C)
- KRALOVA I., SNABEL V., SCHOLZ T., **GERDEAUX D.**, HANZELOVA V., 2000. Molecular discrimination of fish tapeworms *Eubothrium crassum* (Bloch, 1779) and *E. salvelini* (Schrank, 1790) (Cestoda : Pseudophyllidae). *VIII multicolloquium of parasitology*. 10-14 september. Poznan. Pologne. (C)
- KUCHTA R., HANZELOVA V., SCHOLZ T., **GERDEAUX D.**, 2000. A comparative study of *Eubothrium crassum* (Bloch, 1779) and *E. salvelini* (Schrank, 1790) (Cestoda : Pseudophyllidae), parasites of salmonid fish in Alpine lakes. *IX Helminthological Days*. 5-8 june. Dolni Vestonice, République Tchèque (C)
- NICOPOULOS S., VERNEAUX V., GILBERT D., PLANAS D., **GERDEAUX D.**, 2002. Détermination du positionnement trophique des Chironomidae dans le lac d'Annecy à l'aide des isotopes stables du carbone ($\delta^{13}\text{C}$) et de l'azote ($\delta^{15}\text{N}$). *5^{ème} Congrès International de Limnologie-Océanographie*. PARIS, 9-12 sept. (C)
- PERGA M.E.**, **GERDEAUX D.**, 2002. Les modifications du statut trophique d'un lac changent-elles l'origine du carbone intégré dans le réseau trophique pélagique ? Une réponse par l'étude du $\delta^{13}\text{C}$ du corégone, *Coregonus lavaretus*. *5^{ème} Congrès International de Limnologie-Océanographie*. PARIS, 9-12 sept. (C)
- SILAN P., **DUBOIS J.-P.**, HALPENNY C., 2001. Contribution to the study of the cercarial dermatitis in the Rhône-Alpes area (France). *Workshop on bird schistosomes and cercarial dermatitis held at Dolni Vestonice (Czech republic) september 10-14, 2001*. *Helminthologia*, 38, 4, p. 245 (C).

Autres congrès:

- ANGELI N.**, **GUILLARD J.**, CACHERA S., VEDRINE S., 1999. Variations circadiennes et saisonnières de la répartition spatiale des alevins et du zooplancton crustacéen en lac oligo-mesotrophe profond (lac d'Annecy, France) : valeur adaptative des migrations planctoniques, leur impact sur la nutrition des 0+ de perches. *AFL-UFO*, 7-10 Sept. 1999, Bordeaux (P).
- CABALLERO-PINZON P.Y., LINARES E., **GUILLARD J.**, 2001. Contribución al estudio del Mero *Epinephelus striatus* por métodos hidroacústicos en la costa caribeña de México. *VIII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar. Manzanillo-Colima*, México (C).
- CABALLERO-PINZON P.Y., LINARES E., **GUILLARD J.**, 2000. Presentacion de avances de los resultados del proyecto estudio del Mero *Epinephelus striatus* por metodo hidroacustico en la costa caribena de mexico. *10^{ème} meeting RAC*, Costa-Rica, 19-21 Oct. 2000 (C).
- CARDENAS J.J., **GUILLARD J.**, ACHURY A., 2001. Distribución espacio-temporal de las poblaciones de peces en un estuario tropical (Caño Makareo, delta del Orinoco), *11^{ème} meeting RAC*, Vénézuéla, 17-22 Sept. 2001 (C).
- CARDENAS J.J., **GUILLARD J.**, ACHURY A., 2001. Spatio-temporal evolution of fish populations in a tropical estuary (Orinoco delta, Venezuela). *ICES / FAST*, Seattle, USA, 23-27 April 2001. ([http://www.ices.dk/reports/ftc/2001, File B06, session B1](http://www.ices.dk/reports/ftc/2001/File B06_session B1)) (P).
- GAUDREAU N., **GUILLARD J.**, BOISCLAIR D., 2001. Influence of moon phase on the spatial patterns of fish in Lake d'Annecy, France. *Conférence Canadienne de Recherche sur les Pêches*, Janvier 2001. Toronto, Canada (C).
- GILLET C.**, 2002. Amélioration des méthodes d'élevage de l'omble chevalier. Etude de l'intérêt aquacole de l'hybride entre la truite fario femelle et l'omble chevalier mâle. *Journée de la sélection génétique en aquaculture en région Rhône Alpes*, à l'ENS Lyon (C).

- GILLET C., DUBOIS J. P.**, 2002. Suivi de la fraie de la perche et du gardon dans le Léman de 1983 à 2001. Influence des changements environnementaux sur le déroulement de la fraie de ces deux espèces. *Société française d'Icthyologie*. Genève. (C)
- GUILLARD J., LEBOURGES A.**, 2001. Compared acoustical measurements made in the Lake of Annecy at 70 and 129 kHz. *ICES/FAST*, Seattle, USA, 23-27 April 2001. (web [http://www.ices.dk/reports/ftc/2001 ,File B06, session B1](http://www.ices.dk/reports/ftc/2001/File B06_session B1)) (C).
- KRIEG F., GUYOMARD R., CHAMPIGNEULLE A., LAUNEY S.**, 2001. Variabilité génétique des écotypes migrateurs et sédentaires de truite commune (*Salmo trutta* L.) dans les lacs alpins. XXIII^{ème} réunion du groupe de biologie et génétique des populations. Orsay, 27-29 août 2001 (P).
- LAUNEY S., KRIEG F., CHAMPIGNEULLE A., GUYOMARD R.**, 2002. Ecotypes sympatriques migrateurs et sédentaires de truite commune (*Salmo trutta* L.) différenciation génétique et effet des repeuplements. Le patrimoine génétique. La diversité et la ressource. 4^{ème} colloque BRG, 14-16 octobre 2002. La Châtre. 12 p.
- LEBOURGES A.; GUILLARD J.**, 2001. TS and echointegration measurements on perch (*Perca fluviatilis*) in Lake of Annecy, at 70 and 129 kHz. 11^{ème} meeting RAC, Vénézuéla, 17-22 Sept. 2001 (C).
- LECOEUR S., GILLET C., BERNY P.**, 2002. Suivi de pollution en bassin versant du Léman. Utilisation d'organismes sentinelles. *Colloque international sur l'eau en montagne*, Megève (P)
- LINARES E.O., GUILLARD J., CABALLERO-PINZON P.Y , SIERRA L.**, 2001: Obtención de la relación TS-longitud de 2 especies de peces de interés comercial del Golfo de Batabanó (*Haemulon sciurus* y *Lutjanus analis*). XI reunión de la Red Acústica del Caribe. Isla de Margarita, Vénézuéla, 17-22 Sept. 2001 (C).
- NICOPOULOS S., COLLOMB D., VERNEAUX V., PLANAS D., GERDEAUX D.**, 2002. Les relations trophiques benthiques dans le lac d'Annecy. 4^{ém} Journée d'Ecologie Fonctionnelle (JEF), Gourdon (Lot). 5-8 mars 2002, national.
- PERGA M.E., GERDEAUX D.**, 2002. Approche du cycle du carbone dans les lacs péri-alpins au travers de la signature isotopique des corégones. *Journées d'Ecologie Fonctionnelle*, 5-8 Mars 2002, Gourdon (Lot) (P)
- PROVOST B., GUYOMARD R., ADRIAMANGA M., CHAMPIGNEULLE A., LAUNEY S.**, 2000. Populations sympatriques migratrices et sédentaires chez la truite commune (*Salmo trutta*) dans le bassin lémanique : premières données génétiques. Le pois déridé 2. XXII^{ème} réunion annuelle du groupe de biologie et génétique des populations. Dijon, 27-31 août 2000 (P).
- ZYLBERBLAT M., MENELLA J.Y., CLANET C., GUILLARD J.**, 2001. Une méthode originale de franchissement des poissons migrateurs : les écluses de navigation du Rhône. *Scientifiques et Décideurs* : *Agir ensemble pour une gestion durable des systèmes fluviaux*, Lyon, 6-8 juin 2001(C).

6. Documents et communications de vulgarisation :

- COLON M., CHAMPIGNEULLE A., LUQUET P.**, 2000. Passe à poissons de Vongy. *La voix des torrents*, 15, 12-13.
- GILLET C.**, 1998. Itinéraire technique de l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*), 4p. fiche diffusée par le PEP aquacole Rhône Alpes.
- GUILLARD J., COLON B.**, 1998. Behavior of Migratory fish passing a lock on the river Rhône, *Shad Journal*, 3 (1), 4-5.
- GUILLARD J., HINRICHSEN R.**, 1998. Twaite shad (*Alosa fallax*). *Shad Journal*, 3 (1), 6.
- HONDT J.L. D', DEFAYE D., BALVAY G.**, 2001. Observations sur la faune et la flore des bras morts de l'Isle à Savignac-les-Eglises (Dordogne). 3. Le plancton. *L'Ascalaphe* 9 : 11-15.
- MEUNIER J., GERDEAUX D.**, 2000. L'ichtyofaune des lacs de la forêt d'Orient. *Cour. Scient. PnrFO*, 24, 49-53

7. Documents à vocation de transfert :

- ALBARET J.-J., GUILLARD J., SIMIER M., DARBOE F.S., RAFFRAY J., RICHARD E., SOW I., SUWAREH M., TITO DE MORAIS L., VIDY G.**, 2001. Les peuplements de poissons de l'estuaire du fleuve Gambie, Mission Diassanga du 23 novembre au 4 décembre 2000. In Ressources en poisson, gestion patrimoniale et dynamiques migratoires de l'estuaire de la Gambie. collaboration IRD-Fisheries Department of the Gambia, 74 p., *Projet SCAC*, Ministère des affaires étrangères, 52 p.

- ANGELI N., GUILLARD J.**, 1998. Comparaison des structures ichtyaires et planctoniques de grands lacs subalpins profonds. In *IX^{ème} contrat plan état région Rhône-Alpes - Programme environnement. Le fonctionnement trophique du lac d'Annecy*, 63 - 83.
- ANGELI N., BALVAY G., CACHERA S., DRUART J.C., GUILLARD J., PELLETIER J.P.**, 2000. Examens préliminaires de la contribution du picophytoplancton à la production primaire et tentative d'évaluation des réponses du zooplancton aux fluctuations verno-estivales de perchettes en milieu lacustre. In *IX^{ème} contrat plan état région Rhône-Alpes - Programme environnement. Le fonctionnement trophique du lac d'Annecy*, 16 p.
- ANNEVILLE O., GINOT V., ANGELI N.**, 2001. Evolution de l'état de santé du Léman évaluée par l'analyse des séries chronologiques du phytoplancton. *Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut.* (CIPEL), 161-189.
- BALVAY G.**, 1998. Evolution du zooplancton du Léman. Campagne 1997. *Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut.* (CIPEL) : 85-102.
- BALVAY G.**, 1998. Le zooplancton de la Basse Vallée de la Somme (communes de Boismont et de Noyelles sur Mer, Somme). *Rapport INRA Thonon* 98.135, 27 p.
- BALVAY G.**, 1998. Le zooplancton de la Mollière de Pinchefalise et de l'Estacade aval (commune de Boismont, Somme). *Rapport INRA Thonon* 98.134 (suppl.), 22 p.
- BALVAY G.**, 1998. Le zooplancton de la Mollière de Pinchefalise et de l'Estacade aval en Novembre-Décembre 1997 (commune de Boismont, Somme). *Rapp. INRA Thonon* 98.136, 30 p. + suppl. 19 p.
- BALVAY G.**, 1999. Evolution du zooplancton rotatorien du Léman. Campagne 1998. *Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut.* (CIPEL) : 79-85.
- BALVAY G.**, 2000. Evolution du zooplancton du Léman. Campagne 1999. *Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut.* (CIPEL) : 79-90.
- BALVAY G.**, 2001. Evolution du zooplancton du Léman. Campagne 2000. *Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut.* (CIPEL) : 109-119.
- BALVAY G.**, 2002. Bref aperçu sur le zooplancton du Léman. Campagne 2001. *Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut.* (CIPEL) : 85-88.
- BALVAY G., DRUART J.C.**, 1998. Le plancton du lac de Miribel-Jonage en 1997. *Rapport INRA Thonon* 130.98, 63 p.
- BALVAY G., DRUART J.C.**, 1998. Le plancton du lac du Salagou (Hérault). *Rapport INRA Thonon* 141.98, 13 p.
- BALVAY G., DRUART J.C.**, 1999. Le plancton du lac de Miribel-Jonage (Rhône) en 1998. *Rapport INRA Thonon* 160.98, 64 p.
- BALVAY G., BLANC P., DRUART J.C., GUICHARD V.**, 1998. Suivi de la qualité des eaux du lac d'Annecy 1997. SILA (Ed.), *Rapport INRA Thonon* 142.98, 2 fascicules, 64 p + annexes.
- BALVAY G., BLANC P., DRUART J.C., GUICHARD V.**, 1999. Suivi de la qualité des eaux du lac d'Annecy 1998. SILA (Ed.), *Rapport INRA Thonon* 161.99, 2 fascicules, 66 p + 100 p + annexes.
- BALVAY G., BLANC P., DRUART J.C., GUICHARD V.**, 2000. Suivi de la qualité des eaux du lac d'Annecy 1999. SILA (Ed.), *Rapport INRA Thonon* 177.2000, 2 fascicules, 76 p + ann.,
- BALVAY G., LAZZAROTTO J., DRUART J.C., GUICHARD V.**, 2001. Suivi de la qualité des eaux du lac d'Annecy 2000. SILA (Ed.), *Rapport INRA Thonon* 201-2001, 2 fascicules, 89 p + 130 p. annexes.
- BALVAY G., LAZZAROTTO J., DRUART J.C., GUICHARD V.**, 2002. Suivi de la qualité des eaux du lac d'Annecy 2001. SILA (Ed.), *Rapp. INRA Thonon* 220-2002, 113 p et 221/2002, 100 p
- CHAMPIGNEULLE A.**, 1999. Pacage lacustre de salmonidés (omble chevalier, corégone et truite) dans le lac du Bourget. *Rapport SHL-CARRTELL* Thonon, 159, 21 p.
- CHAMPIGNEULLE A.**, 2000. Rapport d'expertise auprès du comité de pilotage scientifique sur les actions prévues dans le volet piscicole dans le cadre du Projet Grand Lac du Bourget, 14 pp.
- CHAMPIGNEULLE A.**, 2001. Suivi des populations de salmonidés soumises à pacage lacustre au lac du Bourget. (Suivi scientifique et technique dans le cadre des activités de l'APERÀ, mars 2001). *Rapp SHL -CARRTEL*, 196, 47p.
- CHAMPIGNEULLE A.**, 2002. Suivi des populations de salmonidés soumises à pacage lacustre au lac du Bourget. (Suivi scientifique et technique dans le cadre des activités de l'APERÀ, mars 2002). *Rapp SHL-CARRTEL*, 215, 51p.
- CHAMPIGNEULLE A., MOUTOUNET Y., GERDEAUX D.**, 2000. Etude de la production naturelle en salmonidés à Saint-Pierre et Miquelon en relation avec les caractéristiques des eaux douces, saumâtres et marines. *Rapp. SHL-CARTELL* Thonon, 179, 18 p.
- COLON M.**, 2001. Passe à poissons de Vongy. Synthèse 1998-01. *Rapp. INRA Thonon-SHL* 203, 25 p

- DEGORGI F., **CHAMPIGNEULLE A.**, 2000. Diagnose piscicole et mesure de l'efficacité des alevinages en truite sur le Doubs franco-helvétique. *Rapport final*, 119 p.
- FONTVIEILLE D.**, VIBOUD S., **BALVAY G.**, ROSSIER C., WILKINSON K., 2002. Contribution du bactérioplancton à la productivité du Lac Léman. Campagne d'étude 1999-2001. *Contrat INTERREG II*, 59 p.
- GAYTE X., FONTVIEILLE D., VINCON-LEITE B., TASSIN B., **BLANC P.**, **DRUART J.C.**, **BALVAY G.**, **PELLETIER J.**, PAOLINI G., 1998. Analyse de l'évolution de la qualité des eaux du lac du Bourget 1995-96. Rapport GRETI (Univ. Savoie), ENPC (CERGRENE), INRA-Thonon et Cell. Tech. Lac Bourget, 2 fascicules : 242 p. + 104 p.
- GERDEAUX D.**, 1998. Suivi scientifique de la pêche du Léman. *A.P.E.R.A.* ,35 p.
- GERDEAUX D.**, 1999. Suivi scientifique de la pêche du Léman. *A.P.E.R.A.* ,35 p.
- GERDEAUX D.**, 2000. Régime alimentaire des corégones et des gardons du Léman, en milieu pélagique. Campagne 1999. *CIPEL*, 135-140.
- GERDEAUX D.**, 2000. Suivi scientifique de la pêche du Léman. *A.P.E.R.A.* ,35 p.
- GERDEAUX D.**, 2001. Régime alimentaire des corégones et des gardons du Léman, en milieu pélagique. Campagne 2000. *CIPEL*, 137-143.
- GERDEAUX D.**, 2001. Suivi scientifique de la pêche du Léman. *A.P.E.R.A.* ,35 p.
- GERDEAUX D.**, 2002. Régime alimentaire des corégones et des gardons du Léman, en milieu pélagique. Campagne 2001. *Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut.* (CIPEL) ; 105-111.
- GERDEAUX D.**, coll. tech., HAMELET V., 2000. Régime alimentaire des corégones et des gardons du Léman, en milieu pélagique. Campagne 1999. *Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut.* (CIPEL) : 135-140.
- GERDEAUX D.**, HAMELET V. 1998. Suivi piscicole du lac d'Annecy. *Rapport annuel*,30 p.
- GERDEAUX D.**, HAMELET V. 1999. Suivi piscicole du lac d'Annecy. *Rapport annuel*,30 p.
- GERDEAUX D.**, HAMELET V. 2000. Suivi piscicole du lac d'Annecy. *Rapport annuel*,30 p.
- GERDEAUX D.**, HAMELET V. 2001. Suivi piscicole du lac d'Annecy. *Rapport annuel*,30 p.
- GERDEAUX D.**, ANGELI N, **BALVAY G.**, **DRUART J.C.**, **FONTVIEILLE D.**, **GUILLARD J.**, LAFONT M., **PELLETIER J.**, ROSSO-DARMET A., VERNEAUX J., VERNEAUX V., **VIBOUD S.**, 1999. Le fonctionnement trophique du lac d'Annecy. Rapport de fin de contrat, *IX^{ème} Contrat Plan Etat-Région, Région Rhône Alpes*, 111p.
- GILLET C.**, 1999. Production d'alevin de perche (*Perca fluviatilis*) en cage éclairée et en étang à partir d'œufs collectés sur des frayères artificielles dans le Léman Rapport d'activité des travaux réalisés dans le cadre du PEP Aquacole. *Rapp. IL 182*, 17p.
- GILLET C.**, **LAURENT P.**, 2000. Amélioration des méthodes de production d'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) en pisciculture : Réduction de la variabilité interindividuelle de la croissance. Amélioration de la gestion des cheptels de géniteurs. Rapport d'activité des travaux réalisés dans le cadre du PEP Aquacole. *Rapport IL 188* , 27p.
- GILLET C.**, **LAURENT P.**, 2002. Etude des hybrides entre les truites fario ou arc en ciel femelles et l'omble chevalier mâle : Viabilité, performance zootechnique et halieutique des hybrides. *Rapport IL 219*, 37p.
- GILLET C.**, LEJEUNE M., 1998. Tentative d'induction et de synchronisation des pontes chez les géniteurs d'ombre commun (*Thymallus thymallus*) en élevage. Bilan des essais réalisés en 1997 et 1998. *Rapport SHL-CARTELL* Thonon, 183, 9p.
- GILLET C.**, JOURDAN S., **LAURENT P.**, 1998. Suivi des croissances des ombles chevaliers dans des sites d'élevages en zone de moyenne montagne en région Rhône-Alpes. Amélioration des méthodes de production de poisson portion et de la gestion du cheptel de géniteur. Rapport d'activité des travaux réalisés dans le cadre du PEP aquacole. *Rapport SHL-CARTELL* Thonon 149, 40p.
- GIROUD C., **BALVAY G.**, 2000. Ségrégation spatiale et migration verticale du zooplancton crustacéen dans le Léman. Campagne 1999. *Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut.* (CIPEL) : 91-112.
- GUILLARD J.**, VIDAL N., 1998. Etude de la migration des aloses - Utilisation des techniques acoustiques - campagne 1998. *Rapp. I.L.* 145-98, 21p.
- GUILLARD J.**, COLON B., THERRY F., VIDAL N., 1998. La migration des aloses (*Alosa fallax rhodanensis*) dans l'écluse de Beaucaire-Vallabrègues étudiée par un sondeur acoustique à faisceaux partagés : synthèse des campagnes de 1996 à 1998. *Rapp. I.L.*, 146-98, 45 p.
- MONET G.**, 1998. Reproduction des corégones: Etude par acoustique passive. Lac d'Annecy Déc.97-Jan.98 *Rapport IL*, 147, 17 p.

MONET G., 1998. Reproduction des aloses: 1^{er} Enregistrements sur la Cèze Juin 1998 . Rapport IL 150, 9 p.

CONCLUSIONS GENERALES

Au-delà des perspectives élaborées par chaque équipe, il nous semble utile de souligner certains faits et certaines interrogations et de rappeler les dispositifs mis en place pour assurer le succès global de l'UMR.

Elargissement de l'UMR (hasard et nécessité)

Le CARTELE est né d'un besoin de cohérence scientifique. Il s'agissait dans l'esprit de ses initiateurs, de compléter les recherches INRA sur les réseaux trophiques lacustres en prenant en compte un compartiment jusqu'alors moins bien connu de l'écosystème lacustre, la boucle microbienne (association du labo de microbio de l'Univ. de Savoie). A l'issue de 4 années d'UMR, les collaborations vont bon train et les habitudes sont prises (suivis communs de Lacs, réponse commune à des appels d'offre, Thèses et DEA coencadrés en particulier), les réseaux humains et techniques sont créés et la synergie recherche-enseignement commence à se développer (DESS, Master, projet école doctorale). Progressivement les échanges ont débordé le cadre initial, notamment en microbiologie (sur des aspects techniques et sur des problématiques) et en hydrochimie. Le renouvellement de l'UMR constitue une occasion pour faire un bilan et formaliser cet élargissement spontané, très dépendant des facteurs humains et des opportunités. Nous proposons donc une organisation et une programmation scientifique, qui répondent à une nécessité soulignée par le précédent comité d'évaluation : placer la station de Thonon et ses dispositifs de terrain, au centre de réseaux stables de collaborations scientifiques.

Cohérence du projet d'UMR (souci constant)

Le souci de cohérence scientifique préside également aux projets d'élargissement présentés par équipe. Ces projets, intégrés dans la démarche générale de la station et tous inclus dans le même champ du département HYFS (Champs FEA) cherchent tous à promouvoir quelques idées fortes:

1)-conserver la culture de base de la station en Limnologie, la dynamique globale des lacs restant le cadre systémique dans lequel toute étude de processus est ou sera resituée,

2)-continuer à associer dans une même UMR, la thématique bassin versant à celle des lacs et de ces ressources naturelles, le système lac bassin versant restant le cadre de référence pour la gestion et la compréhension de ces milieux,

3)-développer une dynamique de recherche en écologie fonctionnelle et appliquée (rôle de la biodiversité..).

4)-structurer l'ensemble autour de questions scientifiques sous-tendues, par des demandes sociales (gestion piscicole, cinétique de restauration des lacs, efflorescences toxiques...) et des suivis à long terme des écosystèmes (de type « site atelier » ou ORE).

L'association avec nos collègues de Chambéry est essentielle pour la cohésion de ce dispositif car elle permet de prendre en compte l'ensemble des communautés microbiennes des écosystèmes aquatiques, de re-développer la problématique bassin versant et d'assurer en commun des valorisations et applications. La valorisation en terme de formation est acquise grâce à la structure universitaire, la question d'une interface avec les utilisateurs des recherches valorisant les retombées des recherches en terme de technologies reste ouverte (se connecter à une école d'Ingénieur ?)

Les conditions concrètes des collaborations (participations croisées aux encadrements, projets communs, dispositifs et financements communs...) la synergie recherche enseignement supérieur déjà établie (activités d'enseignements des chercheurs dans : Ecole doctorale de l'Université de Savoie, Master, DESS...), devraient renforcer le succès de cette association Thonon-Chambéry. Tout est donc en place pour augmenter l'accueil des thésards et DEA, et donc l'animation scientifique qui accompagne ces formations (comités de thèse....

Suivis à long terme d'écosystèmes lacustres (une valeur ajoutée du site Thonon-Chambéry)

Les travaux s'appuieront sur les 3 grands Lacs, sites d'observations assez exceptionnels, disposant de suivis à long terme dont l'intérêt n'est plus à démontrer. Nos tentatives pour valoriser ces suivis dans un cadre « zone atelier » ont échoué jusqu'à ce jour.

Mais, nous ne renonçons pas à cette ambition de structurer ces suivis, en un «observatoire environnemental des systèmes lacs subalpins/bassins versants» associés aux réseaux en cours de structuration et de créer ainsi une base pour des recherches sur les effets des changements globaux ou, en collaboration avec les acteurs, les relations lacs -société. Nous pensons recadrer nos propositions en nous appuyant sur les concepts développés pour caractériser les dynamiques de restauration des Grands lacs. Ce projet (collectif) se traduira par la mise en place (dès 2003) d'une animation au sein de l'UMR. La pérennité de cette réflexion suppose un engagement des Institutions de tutelle (démarche en cours)...

Pour assurer le développement de ce thème commun ou ceux de chaque équipe, il est crucial que le projet soit cohérent mais aussi que les moyens suivent, sous forme en particulier de perspectives de carrière pour les jeunes et de recrutements assurant la croissance de la dynamique actuelle (renouvellement des moins jeunes).

ANNEXE

RESSOURCES HUMAINES

Liste nominative des chercheurs statutaires au 01.01.2002

Nom, Prénom, classer par établissement)	Date de Naissance (3)	Corps grade (1)	Section ou comité d'évaluation de l'organisme	HDR (2)	Date d'arrivée dans l'unité (3)	Organisme de rattachement
ANGELI Nadine	20/08/1943	CR 1	SV 30	X	janv-99	CNRS
DUFOUR Philippe	28/05/1943	DR 1		X	janv-99	IRD
BALVAY Gérard	29/01/1941	CR 1	BPE		janv-99	INRA
BARROIN Guy	09/01/1945	CR 1	TEA		janv-99	INRA
DOMAIZON isabelle	31/05/1969	MC2	Section 67		janv-99	Un. SAVOIE
DORIOZ Jean-Marcel	25/03/1953	CR 1	TEA		janv-99	INRA
DUBOIS Jean-Paul	08/07/1949	CR 1	BPE		janv-99	INRA
FONTVIEILLE Dominique	10/04/1947	PR1	Section 67	X	janv-99	Un. SAVOIE
GERDEAUX Daniel	06/07/1948	DR2	BPE	X	janv-99	INRA
GILLET Christian	16/07/1951	CR 1	BPE		janv-99	INRA
HUMBERT Jean-François	02/11/1959	CR 1	BPE	X	janv-99	INRA
JACQUET Stephan	18/07/1971	CR 2	BPE		janv-99	INRA
LEBOULANGER Christophe	18/05/1969	CR 1	BPE		janv-99	INRA

Liste nominative des ingénieurs, techniciens, administratifs et personnels ouvriers et de service (ITA / IATOS) au 01/01//2002

Nom, Prénom,	Date de Naissance (3)	Corps grade (1)	Quotité recherche (1)	Organisme d'appartenance
BOSSE Jean-Pierre	10/09/1955	TR S	1	INRA
BOUCHET Emmanuel	07/09/1968	AGT	1	INRA
BOUVET Françoise	20/03/1947	SAR N	1	INRA
CHAMPIGNEULLE Alexis	18/10/1952	IR 1	1	INRA
CHANDEVAULT Raymonde	09/10/1941	CEC	1	INRA
CHIFFLET Pascal	07/07/1952	TR N	1	INRA
COLON Michel	11/01/1951	AI	1	INRA
DOUCET Sylvie	05/04/1958	CDI	0.5	INRA
DRUART Jean-Claude	08/05/1943	IE 1	1	INRA
ESCOMEL Jacques	05/04/1942	TR S	1	INRA
GARCIA Maryse	10/09/1947	AJT	0.5	INRA
GUILLARD Jean	30/04/1960	IR 2	1	INRA
HAMELET Valérie	20/05/1958	TR N	1	INRA
HUSTACHE Jean-Christophe	09/06/1967	TR N	1	INRA
LACROIX Danièle	30/04/1954	TR S	0.5	INRA
LAURENT Philippe	07/06/1953	TR S	1	INRA
LAZZAROTTO Jérôme	19/07/1979	AI	1	INRA
MENTHON Marie	22/11/1943	TR N	1	INRA
MOILLE Jean-Paul	09/06/1951	TR S	1	INRA
MONET Ghislaine	19/04/1960	IR 2	0.8	INRA
MOTTIN Véronique	03/06/1951	TR Ex	1	INRA
QUETIN Philippe	03/10/1960	IE 2	1	INRA
ROSSI Micheline	14/12/1943	SAR Ex	1	INRA
TREVISAN-LE BERRE Brigitte	18/03/1955	TR Ex	0.8	INRA
ATTENBOROUGH Patrice	26/12/1962	TR	0.25	Univ. Savoie
AVRILLER Jean-Noël	02/12/1962	TR	0.25	Univ. Savoie
DEPRIESTER Josée	27/12/1955	AGT	0.25	Univ. Savoie
MILLERY Annie	06/05/1959	TR	0.25	Univ. Savoie

Récapitulation globale Effectif	Dt			
	Total	Etablissement	Dt INRA...	Dt Univ. Savoie
	28		24	4

- (1) partie du service pour l'unité. Exemples : 1 = temps complet, 0,5=mi-temps, etc...
 (2) Préciser l'organisme

Liste nominative des chercheurs sollicitants leur rattachement à l'UMR

Nom, Prénom, (classer par établissement)	Date de Naissance (3)	Corps grade (1)	Section ou comité d'évaluation de l'organisme	HDR (2)	Date d'arrivée dans l'unité (3)	Organisme de rattachement
FAIVRE pierre	janv. 1944	PR1	Section 67	X	-	Un. SAVOIE
POULENARD Jerome	janv. 1972	MC2	Section 67		-	Un. SAVOIE
TROSSET Louis	fevr. 1948	MC2	Section 67		-	Un. SAVOIE
CUBER J. Claude	juil, 1953	PR2	Section 66	X	-	Un. SAVOIE
PELLISSIER Sonia	janv. 1965	MC2	Section 66	X	-	Un. SAVOIE