

CONVENTION

PORTANT APPUI A UN PROJET DE JEUNE EQUIPE ASSOCIEE A L'IRD

L'IRD a organisé en 2006 un appel à propositions visant à repérer et soutenir de « Jeunes équipes de recherche » en formation, associées à des projets d'UR (ou US) de l'Institut.

L'objectif était d'accompagner les démarches de partenariat des UR et US et, au-delà de la réalisation de programmes de recherche, de faire émerger et de consolider des pôles de recherche nationaux. L'appui s'adresse à de « jeunes » collectifs de recherche, au sens de « nouveaux » ou « récents », qui doivent travailler à créer les conditions de leur stabilité et de leur pérennité au sein de leurs communautés scientifiques (institutions de tutelles, opérateurs locaux, décideurs) et vis-à-vis de la communauté scientifique internationale. **De ce point de vue, les résultats attendus ne sont pas seulement en termes de connaissances nouvelles, mais également en termes de visibilité, de compétences (savoirs et savoir-faire), d'insertion et de capacité à fédérer des appuis et de nouvelles compétences.**

Le travail de définition des termes de référence et d'animation de l'appel à propositions a été assuré par le département en charge de la politique de partenariat au sein de l'Institut, le département « Soutien et formation des communautés scientifiques du Sud » - DSF.

Le Comité d'experts mis en place pour la sélection des projets soumis en réponse à cet appel à propositions s'est réuni à Paris, les 12 et 13 juin 2006. Il a retenu 11 projets, dont celui présenté par Monsieur Danny REJAS.

En conséquence de quoi,

entre l'Institut de Recherche pour le Développement, IRD, Paris, France, représenté par son Directeur général, Michel LAURENT, et par délégation, par Alain LEPLAIDEUR, Directeur du Département Soutien et Formation des communautés scientifiques du Sud,

et l'Universidad Mayor de San Simon, représentée par son recteur Vargas Loayza

ci-après dénommées les institutions,

Il est convenu de ce qui suit :

1 - Objet

L'IRD et les institutions décident de soutenir conjointement le projet de jeune équipe « **Ecologie trophique dans les Milieux Aquatiques de l'Amazonie bolivienne (EMAA)** », Cochabamba - Bolivie. Dans ce cadre, l'équipe est reconnue « jeune équipe associée à l'IRD ».

Avec les compléments apportés après arbitrage et recommandations du comité d'experts, le projet dans sa version soumise à l'appel à propositions constitue l'annexe scientifique et technique à cette convention, dont elle est partie intégrante.

Elle constitue la référence de l'association et pour l'exécution de la présente convention.

2 - Responsables

Les responsables scientifiques du projet sont :

- pour les Institutions : M. Danny REJAS, responsable de l'équipe associée, dont l'implantation est au Departamento de Biologia (Universidad Mayor de San Simón), à Cochabamba,
- pour l'IRD : M. Thierry Oberdorff (responsable de l'Unité de recherche « Approches macro-écologique de la biodiversité aquatique en zone continentale (R131 - Amazone) », dont l'implantation principale est le MNHN, Laboratoire d'Ichtyologie, à Paris.

Le département IRD-DSF, en charge du suivi de l'appel à propositions pour l'IRD, sera leur interlocuteur privilégié.

3 – Engagements

3.1. La jeune équipe associée réalisera le projet scientifique tel que défini dans l'annexe scientifique et technique jointe à la convention.

Le responsable de l'équipe informera sans délai l'IRD-DSF et les institutions de toute modification susceptible d'induire un changement dans le projet ou de modifier sensiblement la façon dont il est conduit, notamment de toute modification dans la composition de l'équipe et de toute collaboration engagée avec un organisme tiers.

3.2. Les Institutions s'engagent à faciliter la réalisation du projet visé à l'article 1 dans les délais prévus : trois années. Notamment, elles continueront d'assurer les charges qui lui reviennent en leur qualité d'employeur : salaires, charges sociales selon les règles en vigueur dans le pays, fonctionnement de base,... Elles appuieront le responsable du projet dans ses démarches auprès d'organismes tiers pour la bonne fin du projet. Elles appuieront également ses démarches pour valoriser et pérenniser les acquis de l'association : les connaissances, les savoir-faire et l'équipe en tant que telle.

3.3. L'IRD apporte un appui scientifique et technique au projet de jeune équipe associée, en termes de formation, de recherche et d'intégration :

- appui à la formation initiale (étudiants) et continue (chercheurs) des membres de l'équipe associée dans le cadre des travaux de recherche conjoints
- appui à la définition d'un projet scientifique à long terme
- promotion de l'équipe et des travaux qu'elle mène auprès de la communauté scientifique française (accueil et appui à la mobilité des chercheurs) et appui à l'organisation de l'équipe et à la mobilisation des partenaires nationaux

L'IRD apporte un appui financier au projet : il s'élève à 55 000,00 euros. Les fonds seront mis en place selon l'échéancier suivant :

- 40 % au dès la signature de la convention ;
- 30 % en 2007 à réception d'un rapport financier et technique sur l'avancée des travaux ;
- 30 % en 2008 après évaluation positive du rapport intermédiaire et d'un justificatif détaillé et commenté de l'utilisation des sommes précédemment reçues.

Les fonds sont tenus à disposition du responsable de l'équipe auprès de la Représentation de l'IRD en Bolivie.

L'IRD ouvre un centre de coût au nom de la jeune équipe associée et désigne le comptable qui est en charge du suivi du compte. Le comptable engage les fonds sur demande et sous la responsabilité du responsable de la jeune équipe associée, qui a, seul, autorité sur l'opportunité des dépenses.

Les dépenses seront engagées dans le respect des règles juridiques et financières en vigueur à l'IRD.

3.4. Au-delà de ses engagements pris dans la présente convention, l'IRD ouvre la possibilité :

- de soutenir un plan de formation et de mobilité des membres de l'équipe associée et des étudiants pouvant lui être rattachés dans le cadre de leurs activités de recherche : bourse de thèse doctorale, bourse d'échange scientifique de courte durée et bourse de formation continue.

Les candidatures seront soumises en application du calendrier arrêté par l'IRD-DSF pour la procédure visée. Elles seront examinées dans le respect des critères et des procédures d'évaluation mis en place par l'IRD-DSF. Le cas échéant, elles donneront lieu à la signature de conventions individuelles entre l'IRD et les bénéficiaires ;

- de soutenir, avec une structure d'accueil identifiée, de jeunes chercheurs désireux d'intégrer la recherche ou l'enseignement supérieur (bourse d'insertion jeunes chercheurs ou équivalent post-doctorat)

Les candidatures seront adressées à l'IRD-DSF par le responsable de l'équipe associée, sous couvert du responsable scientifique de l'UR de l'IRD. Elles seront examinées dans le respect des critères d'évaluation mis en place par l'IRD-DSF. Le cas échéant, une convention sera passée entre l'IRD, la structure d'accueil et le bénéficiaire.

4 – Suivi

4.1. Le responsable de la jeune équipe associée remettra avant la fin de la première année un rapport financier et technique sur l'avancement du projet. L'approbation de ce rapport par le département permettra la libération de la seconde tranche au début de l'année suivante.

Entre 18 et 22 mois, le responsable de l'équipe associée remettra un rapport intermédiaire d'activités. Un formulaire spécifique sera mis à la disposition de l'équipe, par voie électronique dans les meilleurs délais.

Ce rapport aura pour objectif de montrer les avancées en termes : **de renforcement de l'équipe, de positionnement scientifique à long terme, d'intégration dans la communauté locale et la communauté internationale, les avancées des connaissances.**

Il sera transmis à l'IRD-DSF sous couvert de son institution et avec la signature de l'autorité comptable compétente de l'IRD pour les aspects financiers.

Il sera soumis à évaluation, au terme de laquelle le DSF adressera à l'équipe les éventuelles recommandations du Comité. L'évaluation pourra conclure à la poursuite du soutien. L'évaluation négative pourra mettre fin au soutien de l'IRD-DSF. Dans cette hypothèse, l'équipe ne sera pas fondée à réclamer le solde. Les sommes versées qui n'auraient pas été utilisées seront reversées à l'IRD.

La fin du soutien peut intervenir dans les cas suivants :

- **orientations générales et objectifs spécifiques non respectés**
- **avancement des travaux jugé insatisfaisant**
- **défaut de construction d'équipe**
- **utilisation non conforme des crédits**

4.2. Au terme des trois années, le responsable de l'équipe associée remettra un rapport final.

Le responsable de la jeune équipe utilisera un formulaire spécifique qui sera mis à sa disposition par voie électronique au moment opportun.

Ce rapport montrera les **acquis au terme de la collaboration, en termes scientifiques et d'organisation. Il montrera également les stratégies envisagées pour la valorisation de ces acquis et la réalisation des objectifs à plus long terme.**

5- Propriété et valorisation des résultats

Les résultats obtenus dans le cadre de la présente convention sont la propriété des institutions et de l'IRD, parties prenantes du projet. Les rapports intermédiaires et les résultats éventuellement obtenus avant la décision de mettre fin à la collaboration sont la propriété des institutions et de l'IRD, parties prenantes du projet.

L'IRD et les institutions prennent toutes dispositions pour les protéger et les valoriser, en tenant compte des engagements pris réciproquement dans des accords plus généraux ou des conventions de recherche, et de leurs engagements vis-à-vis d'organismes tiers.

Les publications ayant trait à ces résultats feront état de l'apport de chacun, et feront mention du nom de tous les auteurs concernés.

Concernant la communication sur l'internet de l'IRD, les membres de l'équipe associée disposent d'un droit d'accès, de modification, de rectification et de suppression des données qui les concernent (art. 34 de la loi "informatique et libertés") et qu'ils peuvent exercer en s'adressant à : dsf@paris.ird.fr.

6 - Confidentialité

L'IRD et les institutions s'engagent, pour elles et pour leurs agents, à ne pas publier ni divulguer sans accord écrit entre elles, les informations scientifiques ou techniques, dont elles pourraient avoir eu connaissance de l'autre partie à l'occasion de l'exécution du projet. Cette disposition est sans effet si lesdites informations sont tombées dans le domaine public, qu'elles ont déjà fait l'objet de publications ou de communications.

Cette disposition restera en vigueur après le terme échu de la présente convention.

Les conventions individuelles d'allocation de bourse préciseront les modalités relatives à la confidentialité.

7 – Différends

L'IRD et l'Institution s'engagent à rechercher une solution amiable à tout différend qui surviendrait dans l'application de la présente convention.

Le présent accord est soumis pour sa validité et son interprétation à la législation française. Il est soumis à la législation de la nationalité de la Partie défenderesse en cas de litige dans son exécution.

En cas de litige persistant, la coopération pourra être suspendue. Le tribunal compétent est alors celui désigné par la partie défenderesse à moins que celle-ci y renonce ou n'en désigne aucun dans un délai d'un mois suivant l'échec de la conciliation.

8 – Durée


La présente convention est passée pour trois ans à compter du 1^{er} août 2006.

Paris, le 27 juin 2006

Pour l'IRD

Le Directeur du Département
soutien et formation des
communautés scientifiques du Sud

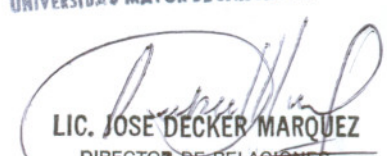

Alain LEPLAIDEUR


Pour l'équipe associée

Danny Rojas Alurralde

Pour l'Institution


Ing. Franz Vargas Loayza
RECTOR
UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMON


LIC. JOSÉ DECKER MARQUEZ
DIRECTOR DE RELACIONES
INTERNACIONALES Y CONVENIOS
UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMON

Moyens et besoins financiers en euros

| Besoins du programme | | Ressources déjà disponibles (indiquer la provenance) | Demande à l'IRD |
|-----------------------------|--|--|--------------------------------------|
| Fonctionnement | analyses isotopiques 35 000 analyses chimiques 10 000 analyses biologique 5 000 | 15 000 (convention WWF) | 25 000 |
| Petit équipement | matériel de logistique 20 000 Ordinateur portable (1 000) Congélateurs portables (2* 700) Chalut expérimental Binoculaire de terrain (1 200) Balances de précision de terrain (2* | 2500 (bourse IFS - D. Rejas) | 10 000 |
| Gros équipement | Fluorimetre (2500) Lampes UV microscopie (6 000) | 2500 (bourse IFS - D. Rejas) | Non pris en charge par le DSF |
| Missions locales | | 10 000 (convention WWF) 5 000 (bourse IFS - D. Rejas) | 20 000 |
| Missions à l'étranger | | | |
| Autres dépenses éventuelles | | | |
| TOTAL (sur 3 ans) | 150 000 | | 55 000 |

Calendrier de travail sur trois ans précisant les activités prévues et les responsabilités propres de chacun des membres de l'équipe

Détail des analyses et personnels impliqués (responsables)

| Cible | Analyses isotopiques (C, N, Hg) | Identification | Quantification | Etude fonctionnelle (trait de vie) |
|---|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Sources : (Sédiment, végétation terrestre et aquatique) | UL CMe, CMo | | | |
| Phytoplancton | UL / ULRA DR | ULRA MC | ULRA DR (chlorophyle A) | |
| Zooplancton | UL CMe | ULRA / UL FA ; JP ; CMe | ULRA / UL FA ; JP ; CMe | ULRA / UL FA ; JP ; CMe |
| Macro-invertébrés | UL CMo | ULRA / UL EG ; CMo | ULRA / UL EG ; CMo | ULRA / UL EG ; CMo |
| Poissons | UL / ULRA DR ; GC | ULRA MM | ULRA MM | ULRA MM |
| Chaîne pélagique | | | ULRA DR | |
| Hydro-chimie | | | CASA/LCA AMR ; JC | |

DR = Danny Rejas (permanent – ULRA, bourse d'intégration IRD, responsable JEA)

JP = J. Pinto (permanent – UL)

FA = F. Acosta (permanente – ULRA)

EG = E. Goitia (permanent – ULRA)

MC = M. Cadima (chercheur honoraire – ULRA)

AMR = A. M. Romero (permanente – CASA)

JC = J. Chinchero (permanent – LCA)

GC = G. Crespo (master – ULRA)

CMo = C. Molina (doctorant – UL, bourse IRD)

CMe = C. Mendoza (doctorante – UL, bourse IRD)

Activités prévues par semestre

| Activités | S1-2007 | S2-2007 | S1-2008 | S2-2008 | S1-2009 | S2-2009 |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Sélections des sites (lagunes) | | | | | | |
| Mise au point des protocoles | | | | | | |
| Echantillonnage* 2 lagunes Itenez | | | | | | |
| Echantillonnage* 2 lagunes San Martin | | | | | | |
| Echantillonnage* 2 lagunes Blanco | | | | | | |
| Echantillonnage* 2 lagunes Mamoré | | | | | | |
| Echantillonnage* 2 lagunes Savanne | | | | | | |
| Analyses | | | | | | |
| Rédaction | | | | | | |

* 2 missions par an (isotopes, hydro-chimie, chaîne pélagique, quantification des peuplements aquatiques), 2 missions supplémentaires (biologie poissons)

Chronogramme des autres activités (formations individuelles, enseignement, participation à des colloques, expertises), précisant les responsabilités propres de chacun des membres de l'équipe

| Activités | Responsables | S1-2007 | S2-2007 | S1-2008 | S2-2008 | S1-2009 | S2-2009 |
|------------------------------|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Formation* | | | | | | | |
| Niveau « licenciatura » (5)* | DR / JP / EG / MM | | | | | | |
| Niveau « maestria » (2) | DR / JP / MM | | | | | | |
| Niveau doctorat (2) | JP | | | | | | |

* Les étudiants sont prévus en partage sur les deux entités de recherche ULRA et UL

2 Description du programme de recherche

Problématique

Les réseaux trophiques sont des macro-descripteurs qui caractérisent fonctionnellement les systèmes aquatiques notamment en illustrant les flux de matière et d'énergie et en mettant en relation ces flux avec les biomasses générées à différents niveaux trophiques. Identifier à partir de quels éléments du système les chaînes trophiques prennent s'initient (phytoplancton, macrophytes, apports allochtones) et quantifier les principaux maillons sont deux étapes majeures de la compréhension du fonctionnement de ces systèmes, tant pour mettre en place des hypothèses sur le contrôle des réseaux trophiques que pour expliquer le devenir des polluants au sein des chaînes trophiques et déterminer l'importance des sources d'énergie (en particulier le Carbone) pour expliquer la production en poisson.

Les méthodes traditionnelles d'études des réseaux trophiques permettent difficilement les généralisations spatio-temporelles nécessaires pour étudier ces questions car elles reposent le plus souvent sur des données alimentaires récoltées sur le court-terme. Les études des réseaux trophiques se sont largement enrichies au cours des deux dernières décennies grâce à l'utilisation des marqueurs isotopiques qui permettent en particulier de détecter les sources de la matière organique (carbone) et de définir les niveaux trophiques des organismes (mercure et azote) en intégrant les flux d'énergie sur de longues périodes (Dufour & Gerdeaux, 2001), permettant ainsi de décrypter plus en détails le fonctionnement trophique des différents milieux (Cabana & Rasmussen 1996, Pinnegar & Polunin 2000, Jepsen & Winemiller 2002).

Dans les systèmes aquatiques d'une même région climatique, la structure des réseaux trophiques est fortement influencée par les conditions abiotiques, tels que la géologie, le couvert végétal, l'hydrochimie, l'hydrologie. Les conditions environnementales actuelles des milieux aquatiques du bassin amazonien se retrouvent en grande partie intégrées dans la distinction de trois grands types d'eau d'Amazonie centrale (Sioli 1984, McClain *et al.* 2001):

- Les affluents de la rive gauche de l'Amazone qui drainent des zones forestières, écoulent des **eaux dites « noires »** transparentes mais obscures, pauvres en éléments nutritifs et chargées en acides humides. Elles sont réputées pour leur diversité en organismes aquatiques (Goulding *et al.* 1988) et leur très faible productivité (Lewis *et al.* 1995).
- Les cours d'eau qui drainent les zones précambriennes non forestières comme le bouclier brésilien et certaines parties du bouclier Guyanais, captent des **eaux « claires »** transparentes et cristallines, extrêmement pauvres en éléments nutritifs (Sioli 1984) mais aussi riches en espèces (Jégu & Keith 1999).
- Enfin, les cours d'eau provenant des zones sédimentaires andines canalisent des **eaux « blanches »**, très turbides, chargées en sédiments et nutriments (Lewis *et al.* 1995) qui sont réputés ensemercer les plaines d'inondation adjacentes à ces cours d'eau et favoriser la productivité de ces milieux (« Flood Pulse Concept » Junk *et al.* 1989).

Les interprétations actuelles relative à la productivité de ces milieux restent théoriques et peu de tests des hypothèses proposées ont été tentés (Thorp *et al.* 1998). La principale supposition généralement admise est que les systèmes d'eaux blanches supportent une production primaire et secondaire ainsi qu'une diversité plus importantes que les deux autres types d'eau (Lowe Mc Connell 1975, Junk *et al.* 2000). Corrélativement ils supporteraient des relations trophiques plus complexes au sein de chaînes trophiques plus longues (Jepsen & Winemiller 2002). Grâce aux techniques isotopiques, Lewis *et al.* (2001) ont observé que dans l'Orénoque, le phytoplancton et les algues attachées (périphyton) sont une source d'énergie prédominante pour de nombreux animaux, ce qui pourraient expliquer un production plus importante dans les eaux blanches plus favorables à la production primaire. Cette étude présente toutefois un intéressant paradoxe : ces communautés aquatiques riches et diverses (en comparaisons à d'autres systèmes aquatiques) se développent à partir d'une ressource qui ne représentent que 2% du carbone disponible (Figure). Les détritits (provenant des plantes vasculaires et / ou de la sédimentation des organismes planctoniques en phases de dégradation ou des apports

allochtones) sont la source d'énergie disponible prédominante mais ne sont pas utilisés par les chaînes trophiques aquatiques.

En contrepartie aux eaux blanches, les eaux noires et claires sont réputées peu productives mais malgré tout plusieurs études montrent qu'elles peuvent aussi être le siège important d'une richesse spécifique (Goulding *et al.* 1988, Jégu & Keith 1999) et supportent des chaînes trophiques plus longues que le prévoient les modèles théoriques (Jepsen & Winemiller 2002).

Ces résultats récents parfois contradictoires laissent à penser qu'il y a beaucoup à faire pour confirmer les hypothèses traditionnelles ou pour trouver d'autres voies de compréhension du fonctionnement trophique de ces systèmes. Cette compréhension est indispensable quant aux conséquences qu'elle peut avoir sur la recherche de mode de gestion durable et de conservation des ressources naturelles mais aussi pour expliquer la bio-accumulation des polluants comme le mercure.

L'Amazonie bolivienne couvre la quasi totalité du haut bassin du Rio Madeira, l'un des principaux affluents de l'Amazone. Elle offre des situations climatiques et géologiques très contrastées : les Andes à l'Ouest, la bordure du bouclier précambrien brésilien à l'est, les forêts tropicales au Nord, le Chaco semi-désertique au Sud et au centre une large plaine de savane en partie inondable (Navarro & Maldonado 2002). Corrélativement les systèmes aquatiques montrent des caractéristiques hydro-chimiques et hydrologiques qui offrent un cadre des plus complets pour comparer les réseaux trophiques dans des conditions environnementales très différentes (importance des apports externes, de la production primaire, ...).

Objectifs généraux

Le présent projet scientifique s'attachera, via une équipe multidisciplinaire, à décrypter et comparer le fonctionnement trophique de dix systèmes aquatiques permanents du bassin amazonien bolivien (lacs de plaine d'inondation) positionnés, par duplicats, sur un gradient de quantité de nutriments. On vérifiera conformément aux hypothèses existantes que ce gradient résumera les différents types d'eau amazoniens. Les objectifs de ces comparaisons seront :

1- Relation nutriment - production primaire – richesse, biomasse

Pour confirmer ou infirmer l'hypothèse d'une relation positive entre la quantité de nutriments et la production nous chercherons à définir dans chacun des systèmes, l'importance relative des différentes sources de Carbone ainsi que des flux qui mènent jusqu'aux niveaux les plus hauts des chaînes trophiques et leur influence sur les biomasses résultantes notamment au niveau des peuplements de poissons. 4 types d'indicateurs principaux serviront à quantifier les différences entre systèmes :

- 1.1- Importance relative des sources de Carbone autochtones (chaîne pélagique) et allochtones (végétation terrestre et autres apports extérieurs).
- 1.2- Importance relative des chaînes pélagiques classique (production primaire de phytoplancton) et bactérienne (« microbial loop ») pour la mise à disposition du carbone pour les niveaux trophiques supérieurs (consommateurs).
- 1.3- Importance relative des différents niveaux trophiques de chaque communautés (zooplancton, macro-invertébrés, poissons) par l'estimation des biomasses par unité d'effort (biomasses globales et par groupes trophiques).
- 1.4- Longueur des chaînes trophiques

2- « Contaminabilité » des systèmes et de la ressource en poisson

Nous chercherons à déterminer les modalités de diffusions d'éléments contaminant potentiels (mercure dans un premier temps mais aussi les composés organochlorés ou les hydrocarbures aromatiques polycycliques) le long des chaînes trophiques et d'en déduire les risques (sanitaires et écologiques) encouru dans chaque système.

Activités scientifiques

Bien qu'elle représente des évidences régionales très fortes, la distinction des trois types d'eau amazoniens ne reflète pas de manière précise la diversité des situations hydrochimiques. En Bolivie,

la variabilité de la qualité chimique des eaux est clairement démontrée dans plusieurs études récentes (Maldonado & Goitia 2001, Navarro & Maldonado 2002). Par exemple, sur l'ensemble de la plaine d'inondation du río Mamoré il n'existe pas des eaux noires typiques au sens établi en Amazonie centrale mais des eaux intermédiaires dites « de plaine » (Ibañez & Pouilly 2004).

La classification des eaux amazoniennes est basée sur les caractéristiques physico-chimiques classiques, comme le pH, la couleur, la conductivité, la transparence, la quantité des différents éléments de matière en suspension et dissoutes (nutriments, ions majeurs notamment Ca, Na, Mg) (McClain *et al.* 2001). De l'ensemble de ces paramètres, les quantités de nutriments, notamment azote et phosphore, sont intéressantes car elles sont en relation directe avec le niveau de productivité et sont et constitue le principal facteur de control du développement d'une chaîne trophique autochtone basée sur la production primaire. On peut donc faire l'hypothèse que les systèmes plus riches en nutriments seront ceux pour lesquels l'importance des apports autochtones (production primaire) sera de plus grande magnitude (Schindler 1978). Nous avons donc choisit de baser notre étude sur le choix d'un gradient de nutriment plutôt que de nous reporter à des types d'eau de définition plus ambiguë. Toutefois il est possible de relever dans la littérature une certaine cohérence entre type d'eau, quantité de nutriment et productivité (Sioli 1984). Par exemple Junk *et al.* (2000) classent les types d'eau de l'Amazonie central par ordre décroissant de productivité : eaux blanches, noires et claires.

Des analyses physico-chimiques seront réalisées pour déterminer la position des systèmes sur un gradient de nutriments (N et P) ainsi que pour détecter d'éventuels facteurs de contrôle de l'utilisation de ces éléments par les organismes biologiques (transparence, pH, conductivité, ions majeurs).

Ces analyses physico-chimiques seront réalisées avec l'appui des laboratoires de La Paz (LCA), Cochabamba (CASA). Les analyses de nutriment (N et P) seront réalisées de manière redondante entre les laboratoires de La Paz (LCA), Cochabamba (CASA) et Toulouse (LMTG) pour vérifier la validité des mesures obtenues dans les deux laboratoires boliviens qui ont récemment acquis des appareils d'analyse modernes et sont en cours de certification.(acquise pour LCA, en cours pour CASA).

Deux principales sources d'énergie (Carbone) sont à l'origine des chaînes trophiques aquatiques et peuvent en partie expliquer la richesse et les biomasses des niveaux trophiques supérieurs notamment les poissons : la production primaire autochtone (phytoplancton, périphyton, macrophytes aquatiques) et allochtone (végétation et autres apports terrestres). Les conditions locales, notamment la concentration en nutriments, la transparence de l'eau, le pH influencent la disponibilité relative de ces deux sources de Carbone et au final la structure des réseaux trophiques et la productivité potentielle. Le premier pas de compréhension des chaînes trophiques correspond donc à l'identification des sources de Carbone disponibles dans le système et effectivement utilisées par les chaînes trophiques. A partir des connaissances actuelles, l'hypothèse généralement admise est que même si la production primaire des milieux amazoniens en relativement faible (Junk *et al.* 1989), la chaîne phytoplanctonique est le principal apport de la chaîne trophique aquatique (Hamilton *et al.* 1992, Forsberg *et al.* 1993). Il y a là un paradoxe puisque les détritiques provenant des apports allochtones sont bien plus important. Lewis *et al.* (2001) estiment que dans les systèmes lacustres de l'Orénoque, la biomasse en poisson pourrait provenir uniquement l'utilisation de la production primaire qui ne représente que 2% de la totalité du carbone disponible. Toutefois, Rejas (2004) estime que seulement 10% de la production de poisson peut être expliqué pour la production dans la zone pélagique (phytoplancton et bacterioplancton).

Nous chercherons à vérifier dans chaque système que la chaîne trophique est soutenue principalement par la production primaire en identifiant les sources de Carbone utilisées par les principaux organismes et groupes trophiques.

L'importance relative des sources de Carbone autochtones (production primaire) et allochtones (végétation terrestre, et autres apports extérieurs) dans l'alimentation des organismes [objectif 1.1] seront établit grâce aux techniques de traçage isotopique (Junger & Planas 1994). Les analyses isotopiques intégrant les ratios $^{13}\text{C} : ^{12}\text{C}$ (identification des sources de carbone) et $^{14}\text{N} : ^{15}\text{N}$ et $\text{MeHg} : \text{Hg}$ (identification des niveaux trophiques) représentent un outil standard pour l'étude des réseaux trophiques (Dufour & Gerdeaux 2001). Les isotopes stables du Carbone se fractionnent très peu dans les organismes et un enrichissement de moins de 1‰ est généralement observé entre chaque niveau trophique (Fry & Sherr 1984). En conséquence les valeurs du rapport $^{12}\text{C} : ^{13}\text{C}$ observées dans

les organismes prédateurs se rapprochent des valeurs observées dans leur source de nourriture. Ce rapport $^{12}\text{C} : ^{13}\text{C}$ sert donc de traceur de source de matière organique (dans le cas où les différentes sources présentent des quantités différentes de ^{13}C). A l'inverse les isotopes stables de l'azote se fractionnent au cours du métabolisme (le ^{14}N est éliminé alors que le ^{15}N est incorporé dans les tissus) provoquant un enrichissement substantiel et régulier à chaque niveau trophique (de l'ordre de 3‰, Minagawa & Wada 1984). Les variations du rapport $^{14}\text{N} : ^{15}\text{N}$ sont suffisantes pour déterminer avec précision le niveau trophique des organismes. De la même manière le mercure (Hg) est bioaccumulé régulièrement tout au long de la chaîne trophique sous forme de méthyl-mercure (MeHg). En dehors des teneurs en mercure dans les systèmes, il y a une augmentation du rapport MeHg : Hg total selon les comportements alimentaires des organismes. Le rapport MeHg : Hg total permet de déterminer à la fois les niveaux trophiques et la structure des chaînes alimentaires. Même si la mise en oeuvre de ces analyses est relativement rare dans les milieux néotropicaux, les études pionnières ont démontré leur faisabilité et leur pertinence (Hamilton *et al.* 1992, Forsberg *et al.* 1993). Cette méthode implique d'établir la signature isotopiques des différents éléments qui peuvent être à la base du régime alimentaire des organismes (végétation terrestre, aquatique, phytoplancton, périphyton, sédiment). Pour estimer l'importance des différentes sources dans la chaîne trophique on réalisera l'analyse isotopiques sur les différents compartiments de la chaîne en utilisant pour chaque type d'organismes consommateurs (zooplancton, macro-invertébré, poisson) différents groupes trophiques. Pour les poissons un groupe de 3 à 4 espèces cibles à large distribution (présentes sur l'ensemble des types d'eau) et représentant les différents groupes trophiques (algivores, détritivores, herbivores, zooplanctonophages, invertivores et piscivores).

Dans le cas de la chaîne trophique pélagique, la matière et les énergies peuvent suivre deux principales voies pour être transférer aux niveaux trophiques supérieurs : 1) la chaîne trophique classique qui puise son énergie dans la production primaire autochtone (phytoplancton). 2) la chaîne bactérienne (microbial loop) où les micro-organismes agissent comme transformateurs du matériel en décomposition provenant des apports allochtones et autochtones, permettant ainsi sa réintégration dans la chaîne trophique classique (via le microzooplancton). Le bacterioplancton, comme le phytoplancton, est limité par la disponibilité en nutriment (Rejas *et al.* 2005a,b,c). Par conséquent, l'abundance du bacterioplancton, comme le phytoplancton, sera plus importante dans les systèmes plus riches (Pace, 1993). Toutefois, l'importance relative du phytoplancton et du bacterioplancton n'est pas constante, en effet que le rapport microbial-loop / chaîne classique est plus important dans les eaux pauvres en nutriment (Fenchel *et al.* 1998).

Nous chercherons alors à établir si dans les systèmes les plus pauvres en nutriment, la faiblesse de la production primaire peut être en partie compensée par un recyclage et une mise à disposition du Carbone par le « microbial loop ».

L'importance relative des chaînes pélagiques classique et bactérienne pour la mise à disposition du carbone pour les niveaux trophiques supérieurs [objectif 1.2] sera étudiée expérimentalement dans chaque système. L'étude se réalisera à partir des méthodes de fractionnement et dilution (Rejas 2005a, c) qui permettent de déterminer l'importance du « microbial loop » en mesurant les taux de consommation des deux entités phytoplancton et bacterioplancton et d'estimer les quantités de carbone qu'elles génèrent.

*Remarque : le même phénomène existe au niveau de la chaîne benthique détritique. De nombreuses études soulignent l'importance des détritiques dans les chaînes alimentaires des milieux aquatiques amazoniennes (Pearson & Connolly 2000, Graça *et al.* 2001) qui peut notamment être estimé par la dominance des espèces de poissons détritivores (par exemple de la famille des Curimatidae). Il est toutefois difficile de séparer la part du carbone allochtone et autochtone dans ces détritiques (notamment à cause d'une dérive des signaux isotopiques, Fellerhoff *et al.* 2003) et donc leur importance pour les niveaux trophiques supérieurs. Bien que certains des résultats envisagés dans ce projet peuvent nous donner des indications (signature isotopiques du sédiment et des détritiques dans différentes configurations, analyses des contenus des poissons détritivores), nous ne pouvons pas afficher d'objectifs sur ce thème mais des contacts sont en cours pour trouver des alternatives méthodologiques qui permettront de l'étudier directement.*

Les niveaux supérieurs (consommateurs) des réseaux trophiques des eaux continentales se composent essentiellement des trois peuplements de zooplancton, macro-invertébrés et poissons que nous étudieront. Leur composition, structures fonctionnelles et abondance varient en fonction des paramètres physico-chimiques et trophiques. Jusqu'à présent peu de travaux amazoniens ont mis en relation les conditions hydro-chimiques, la production primaire avec la composition et structure des communautés aquatiques (Henderson & Crampton, 1997). Ces éléments sont pourtant nécessaires pour mettre en évidence et à interpréter la relation nutriment – production – richesse, biomasse, qui peut à son tour aider à comprendre la distribution des ressources piscicoles dans les différents habitats aquatiques amazoniens.

Nous chercherons à établir si la présence de nutriment favorise la production secondaire (Hanson & Leggett 1982) et notamment celle des poissons où si les systèmes pauvres en nutriments compensent cette faiblesse par des flux d'énergie alternatifs. On cherchera aussi à tester si Les chaînes trophiques sont plus courtes dans les systèmes les plus pauvres (la « chain length hypothesis » prévoit une relation directe et positive entre la longueur des chaînes trophiques et la quantité de nutriments : Oksanen et al. 1981, Fretwell 1987, Persson et al. 1988), permettant une moindre perte énergétique entre chaque niveau trophique.

L'importance relative des différents niveaux trophiques de chaque peuplement [objectif 1.3] sera estimée par un indicateur de production correspondant à une mesure de biomasses par unité d'effort. Dans la mesure du possible, ces productions seront estimées pour l'ensemble du peuplement et dans le cas des poissons pour les différents groupes trophiques.

La longueur des chaînes trophiques [objectif 1.4] sera estimée à partir du calcul du niveau trophique par traçage isotopique (variations du rapport $14N:15N$) des organismes tout au long de la chaîne trophique (Yodzis 1993, Vander Zanden et al. 1997; Vander Zanden et al. 1999; Vander Zanden & Rasmussen 1999).

Pour les contaminants qui se bio-magnifient, comme le mercure, mais aussi les composés organochlorés ou les hydrocarbures aromatiques polycycliques, qui peuvent potentiellement présenter un risque pour les systèmes aquatiques et les populations vivant de ces ressources, la longueur des chaînes est de première importance pour expliquer les concentrations élevées observées chez les prédateurs (Cabana & Rasmussen 1996). La connaissance de la structure des chaînes trophiques donnera donc une idée de la « contaminabilité » des espèces dans les différents systèmes et permettra d'évaluer des risques potentiels sanitaires.

Le calcul de bioaccumulation du mercure [objectif 2] sera réalisé sur 3 à 4 espèces de poissons des quatre groupes trophiques principaux (algivore/détritivores, herbivores, invertivores, piscivores) pour lesquels ont été établies des relations taille (âge, poids) ~ Hg.

Zones d'étude et stratégie d'échantillonnage

Dans le cadre de la collaboration entre l'UR-131 et l'ULRA, un projet a été mis en place depuis fin 2004 sur le bassin du rio Itenez. Ce bassin revêt un intérêt scientifique particulier par la présence d'importantes différences géologiques contiguës (bouclier brésilien, contreforts andins, plaine sédimentaire) qui se traduisent par des différences dans les régimes hydrologiques, la disponibilité en habitat et l'hydrochimie des eaux, avec notamment la présence concomitante des trois types d'eaux amazoniens. Il offre donc un cadre comparatif remarquable pour l'étude de la relation entre la qualité de l'eau et la structure des réseaux trophiques.

Six lagunes seront choisies la première année puis 4 autres la seconde année. Les lagunes seront échantillonnées deux fois par an (basses eaux et hautes eaux) pour les estimations de biomasses, les analyses isotopiques et les expériences sur la chaîne pélagique. Des échantillonnages plus fréquents cibleront les espèces de poissons sélectionnées pour les analyses isotopiques afin d'établir les courbes de croissance nécessaire à l'interprétation des résultats de bioaccumulation.

Résumé des principales hypothèses qui seront étudiées et références s'y rapportant.

| Quantité de Nutriments | faible | intermédiaire | forte | Références |
|---|--------------|---------------|-------------|---|
| Types d'eaux (a priori) | claires | noires | blanches | Sioli, 1984 |
| [1.1] Importance relative des sources de Carbone Allochtones et Autochtones dans les chaînes trophiques | Allo >> Auto | Allo > Auto | Allo < Auto | Schindler 1978 |
| [1.2] Production phytoplanctonique | + | ++ | +++ | Dillon & Rigler 1974, Oglesby 1977, Schindler 1978 |
| [1.2] Production bactérioplanctonique | + | ++ | +++ | Pace, 1993 |
| [1.2] Importance relative des chaînes pélagiques phytoplanctonique et bactérienne (rapport bact / phyto) | + | ++ | +++ | Fenchel et al., 1998 |
| [1.3] Production II-aire (zooplancton, invertébrés, poissons) | + | ++ | +++ | Hanson & Leggett, 1982 |
| [1.4] Longueur de la chaîne trophique | + | ++ | +++ | Oksanen et al. 1981, Fretwell 1987, Persson et al. 1988 |
| [2] « Contaminabilité » des systèmes | + | ++ | +++ | |

Bibliographie

- Cabana G. & J.B. Rasmussen. 1996. Comparison of aquatic food chains using nitrogen isotopes. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, Ecology 93:10844-10847.
- Dillon P. & F. Rigler. 1974. The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes. *Limnol. Oceanogr.* 19: 767-773.
- Dufour E. & D. Gerdeaux. 2001. Apports des isotopes stables ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{36}\text{S}/^{34}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) aux études écologiques sur les poissons. *Cybiurn* 25:369-382.
- Fellerhoff C., Voss M. & Wantzen K.M. 2003. Stable carbon and nitrogen isotope signatures of decomposing tropical macrophytes. *Aquatic Ecology* 37: 361-375
- Fenchel T., King G.M. & Blackburn T.H. 1998. Bacterial biogeochemistry: the ecophysiology of mineral cycling. Academic press, San Diego. 307 p.
- Forsberg B.R., C.A.R.M. Araujo-Lima, L.A. Martinelli, R.L. Victoria & J.A. Bonassi. 1993. autotrophic carbon sources for fish of the central Amazon. *Ecology* 74:643-652.
- Fretwell SD. 1987. Food chain dynamics: The central theory of ecology ? *Oikos* 50, 291-301
- Fry B. & Sherr E.B. 1984. $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Contribution Marine Science* 27: 15-47
- Goulding M., M.L. Carvalho & E.G. Ferreira. 1988. Rio Negro: rich life in poor water. SBP Publishing Compagny, La Hague.
- Graça M.A.S, Cressa C., Gessner M.O., Feio M.J., Callies K.A. & C. Barrios. 2001. Food quality, feeding preferences, survival and growth of shredders from temperate and tropical streams. *Freshw Biol.* 46: 947-957.
- Hamilton S.K., W.M. Lewis & S.J. Sippel. 1992. Energy-sources for aquatic animals in the Orinoco river floodplain: evidence from stable isotopes. *Oecologia* 89:324-330.
- Hanson JM & Leggett WC. 1982. Empirical prediction of fish biomass and yield. *Can J Fisheries Aquatic Sci* 39:257-63.
- Henderson, P.A. & G.R. Crampton. 1997. A comparison of fish diversity and abundance between nutrient-rich and nutrient-poor lakes in the Upper Amazon. *Journal of Tropical Ecology* 13:175-198.
- Ibañez, C. & M. Pouilly. 2004. Diversidad de hábitats acuáticos. Pages 117-138 in Pouilly M., Beck S.G., Moraes M. & Ibañez C. (Eds.). Diversidad biológica de la llanura de inundación del Río Mamoré. Importancia ecológica de la dinámica fluvial. Centro de Ecología Simón I. Patiño, Sta Cruz de la Sierra, Bolivia. 383 p.
- Jégu M & Keith P 1999. Le bas Oyapock limite septentrionale ou simple étape de la progression de la faune des poissons d'Amazonie occidentale. *C. R. Acad. Sci., Sciences de la vie*, 322, 1133-1145.
- Jepsen D.B. & K.O. Winemiller. 2002. Structure of tropical river food webs revealed by stable isotope ratios. *Oikos* 96(1) : 46-55
- Junger M. & D. Planas. 1994. Quantitative use of stable carbon isotope analysis to determine the trophic base of invertebrate communities in a boreal forest lotic system. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51:52-61.
- Junk W.J., J.J. Ohly, M.T.F. Piedade & M.G.M. Soares. 2000. The central Amazon floodplain: actual use and

- options for a sustainable management. Backhuys Publishers, Leiden. 584 p.
- Junk W.J., P.B. Bayley & R.E. Sparks. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. Pages 110-127 in D. D.P., editor. International large river symposium. Canadian Special Publication in Fisheries and Aquatic Sciences.
- Lewis W.M., S.K. Hamilton, M.A. Rodríguez, J.F. Saunders III & M.A. Lasi. 2001. Foodweb analysis of the Orinoco floodplain based on production estimates and stable isotope data. *J. N. A. Benthol. Soc.* **20**:241-254.
- Lewis, W.M., S.K. Hamilton & J.F. Saunders III. 1995. Rivers of northern South America. P. 219-256 in: C.E. Cushing, K.W. Cummins & G.W. Minshall [eds.], *River and stream ecosystems. Ecosystems of the World Vol. 22.* Elsevier.
- Lowe-Mc Connell R.H. 1987. *Ecological studies in tropical fish communities.* Cambridge University Press, N.Y., 382pp., Cambridge, England.
- Maldonado M. & E. Goitia. 2001. Correspondencia entre unidades geofísicas-bioclimáticas y patrones espaciales en ecosistemas acuáticos de Bolivia. *Rev.Bol.Ecol.y Cons.Amb.* **10** :29-58.
- McClain M.E., R.L. Victoria & J.E. Richey. 2001. *The biogeochemistry of the Amazon basin.* Oxford University Press, New York, USA. 365 p.
- Minagawa M. & Wada E. 1984. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochim Cosmochim acta* **48**: 1135-1140
- Navarro G. & M. Maldonado. 2002. *Geografía Ecológica de Bolivia. Vegetación y ambientes acuáticos.* Centro de Ecología S. Patiño, Cochabamba, Bolivia. 719p.
- Oglesby R.T. 1977. Relationships of fish yield to lake phytoplankton standing crop, production, and morphoedaphic factors. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada.* **34**: 2271-79.
- Oksanen L, Fretwell S, Arruda J & Niemela P. 1981. Exploitation ecosystems in gradients of primary productivity. *Am. Nat.* **118**, 240-261
- Pace M.L. 1993. Heterotrophic microbial processes, p. 252-277. In S.R. Carpenter and J.F. Kitchell [eds.] *The trophic cascade in lake ecosystems.* Cambridge University Press.
- Pearson R.G. & Connolly N.M. 2000. Nutrient enhancement, food quality and community dynamics in a tropical rainforest stream. *Freshwater Biol.* **43**: 31-42.
- Persson L, Anderson G, Hamrin SF & Johannsson L. 1988. Predator regulation and primary production along the productivity gradient of temperate lake ecosystems. In *Complex interactions in lake communities*, ed. S.R. Carpenter, pp. 45-68. New York: Springer-Verlag.
- Pinnegar J.K. & N.V.C. Polunin. 2000. Contributions of stable isotope data to elucidating food webs of Mediterranean rocky littoral fishes. *Oecologia* **122**:399-409.
- Rejas D. 2004. Trophic relations and nutrient recycling in a tropical floodplain lake. PhD thesis, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium. 149 p.
- Rejas D., K. Muylaert & L. De Meester. 2005a. Nutrient limitation of bacteria and sources of nutrients supporting nutrient-limited bacterial growth in an Amazonian floodplain lake. *Aquatic Microbial Ecology* **39**: 57-67
- Rejas D., K. Muylaert & L. De Meester. 2005b. Phytoplankton - bacterioplankton interactions in a neotropical floodplain lake (Laguna Bufeos, Bolivia). *Hydrobiologia* **543**: 91-99
- Rejas D., K. Muylaert & L. De Meester. 2005c. Trophic interactions within the microbial food web in a tropical floodplain lake (Laguna Bufeos, Bolivia). *Revista de Biología Tropical* **53**: 85-96
- Schindler DW. 1978. Factors regulating phytoplankton production and standing crop in the world's lakes. *Limnol Oceanogr* **23**:478-86.
- Sioli H. (ed.) 1984. *The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.* Dr. Junk Publishers, Dordrecht. 763 p.
- Thorp, J.D., M.D. DeLong, K.S. Greenwood & A.F. Casper. 1998. Isotopic analysis of three food web in constricted and floodplain regions of a large river. *Oecologia* **117** : 551-563
- Vander Zanden, M. J., B. J. Shuter, N. Lester & J. B. Rasmussen, 1999. Patterns of Food Chain Length in Lakes: A Stable Isotope Study, *the american naturalist* **154** (4): 406-416.
- Vander Zanden, M. V., G. Cabana & J. B. Rasmussen, 1997. Comparing trophic position of freshwater fish calculated using stable nitrogen isotope ratios ($\delta^{15}\text{N}$) and literature dietary data , *NCR Canada* **54**: 1142-1158.
- Vander Zanden. M.J.& Rasmussen. J.B. 1999. Primary consumer $\delta^{13}\text{C}$ and the trophic position of aquatic consumers. *Ecology* **80**, 1395-1404.
- Yodzis, P. 1993. Environment and trophodiversity. Pages 26-38 in R. E. Ricklefs and D. Schuler, editors. *Species diversity in ecological communities.* University of Chicago Press. Ill. 414 pp.