



L'OBSERVATOIRE BINACIONAL DU LAC TITICACA (OBLT) SUR LA PAGE WEB DE L'UMR BOREA

par Xavier LAZZARO (IRD/BOREA) – 13/10/2016

Accueil / Equipes / Programmes transversaux labellisés / Observatoire Binational du Lac Titicaca (OBLT)

<http://borea.mnhn.fr/fr/OBLT>

Coordinateur

Xavier LAZZARO (IRD/BOREA/RESAQUA & Représentation IRD en Bolivie) :
xavier.lazzaro@ird.fr

Responsables hors BOREA

Jacques GARDON (Représentant IRD, La Paz, Bolivie) : jacques.gardon@ird.fr

Javier NUÑEZ VILLALBA (IIGEO/UMSA, La Paz, Bolivie) : jnunezvillalba@gmail.com

Darío ACHÁ CORDERO (IE/UMSA, La Paz, Bolivie) : darioacha@yahoo.ca

Gonzalo LORA VEIZAGA (PSLT/MMAyA, La Paz, Bolivie) : loragonzalo@gmail.com

Giovanna ROCABADO (VRHR/MMAyA, La Paz, Bolivie) : giomaar8@gmail.com

Jesús MENDOZA GALARZA (IPD PACU/MDRyT, La Paz, Bolivie) : aamuybien@yahoo.es

César GAMARRA PERALTA (LCP/IMARPE, Puno, Pérou) : cgamarra@imarpe.gob.pe

Fran LINO TALAVERA (PELT, Puno, Pérou) : franolger@hotmail.com

Bratzo KLAUER GARCIA (ALT, La Paz, Bolivie) : bklauder@alt-perubolivia.org

Statutaires impliqués dans l'UMR BOREA

Sylvie Dufour | Tarik Meziane | Hervé Rybarczyk | Cédric Hubas | Dominique Lamy | Marc Pouilly | Thierry Oberdorff | Bernard Hugueny | Najet Thinet | Isabelle Mouas | Isabelle Hascoet

Caractéristiques du Lac Titicaca

Situé sur l'Altiplano, entre les deux Cordillères des Andes (Orientale et Occidentale), le Lac Titicaca est un lac transfrontalier (Pérou-Bolivie) tropical (16 ° S, 69 ° W) d'altitude qui possède des caractéristiques uniques au niveau mondial :

- Le plus grand lac d'eau douce d'Amérique du Sud : 893 km³, 8.300 km², 170 km x 60 km
- Le plus Haut des Grands Lacs du Monde (3.810 m s.n.m.)

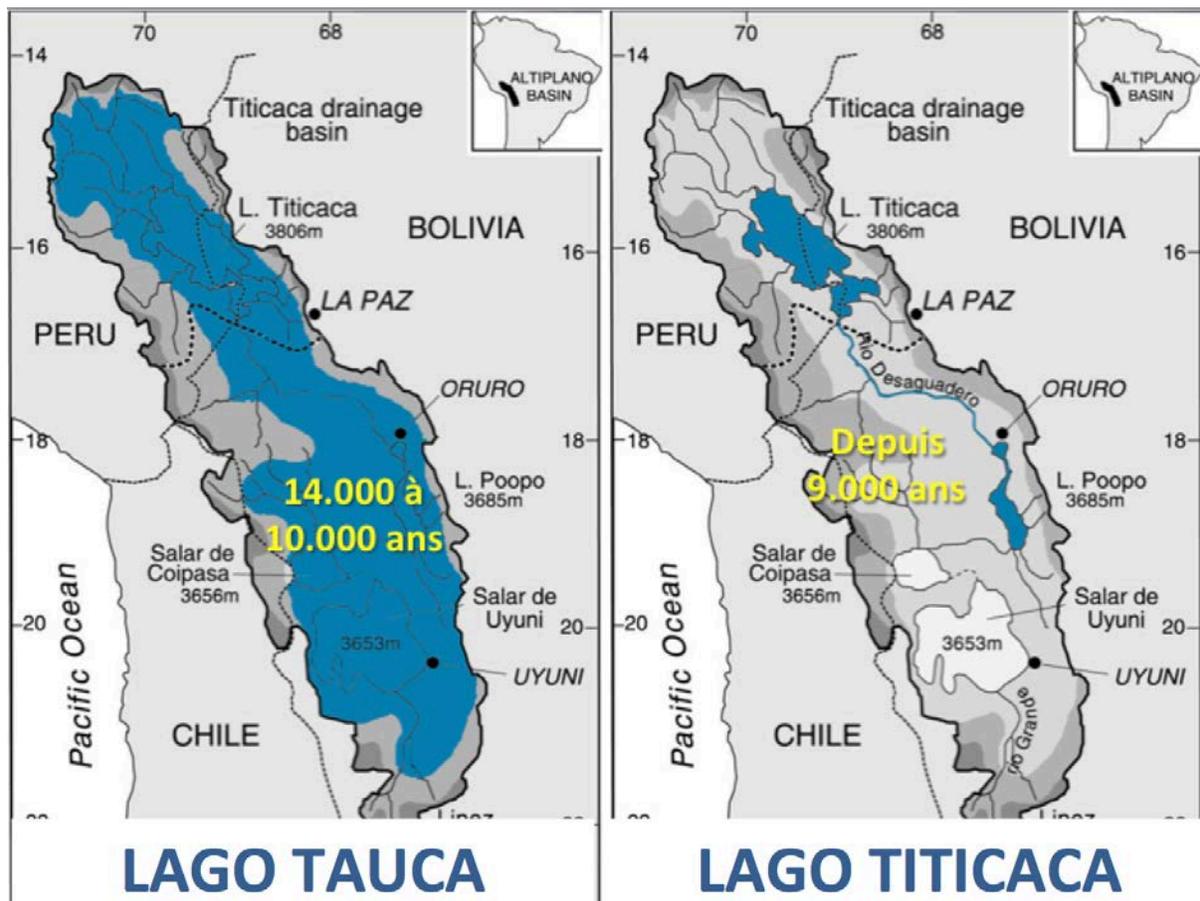


Fig. 1 – Lac Tauca (de 14.000 à 10.000 ans) et Lac Titicaca (depuis 9.000 ans).

- L'un des 20 lacs les plus anciens, formé tel qu'on le connaît actuellement il y a 9.000 ans par une succession de lacs après 3 millions d'années d'une longue histoire géologique et de changements climatiques brusques
- Constitué du Lago Mayor (Grand Lac) profond (moyenne 180 m, max. 280 m) et du Lago Menor (Petit Lac) peu profond (9 m, max. 40 m), reliés par le Déroit de Tiquina (largeur 900 m, profondeur 40 m)

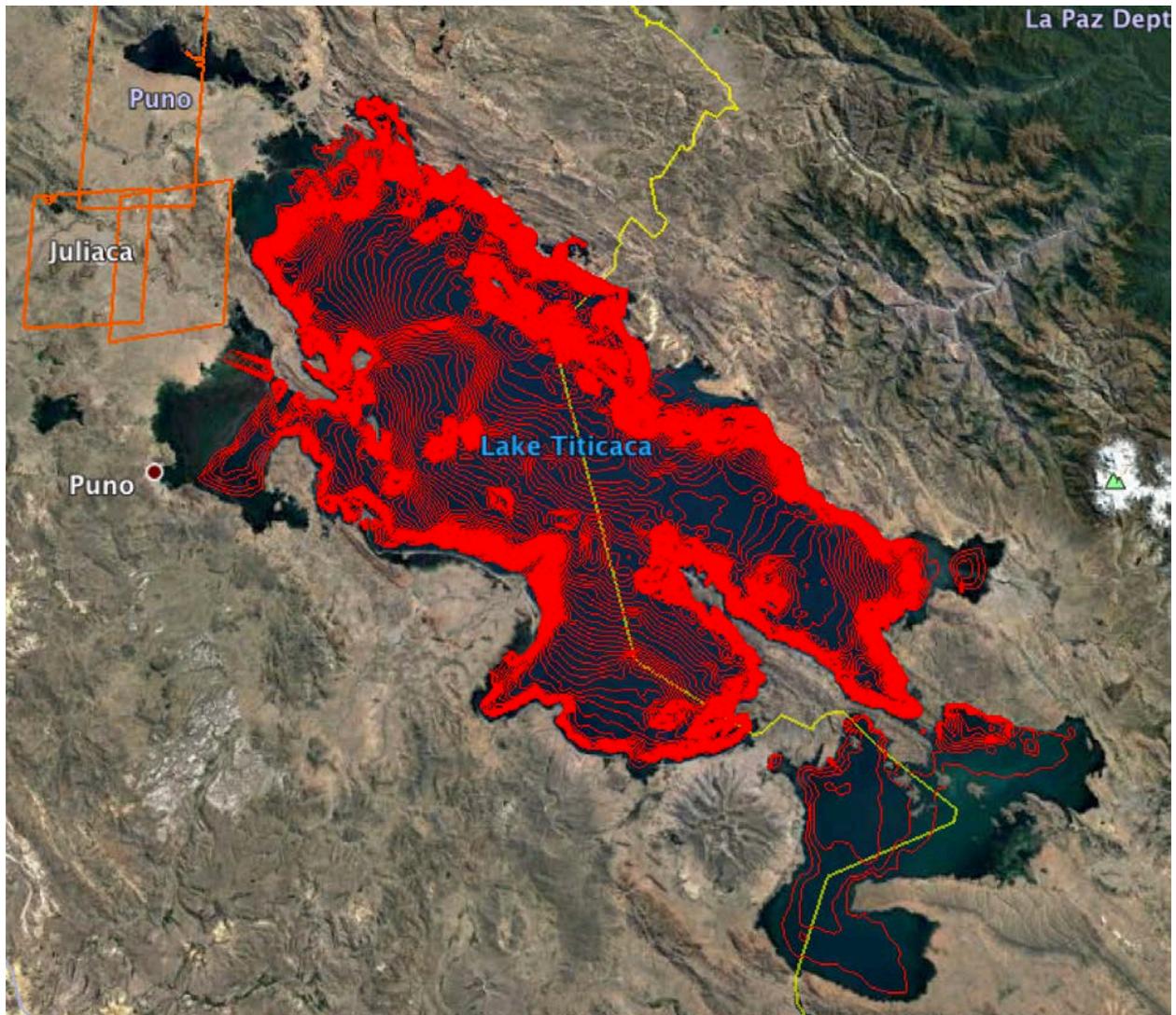


Fig. 2 – Carte bathymétrique du Lac Titicaca. Isolignes à intervalle de 5 m. La frontière entre le Pérou (à l'ouest) et la Bolivie (à l'est) est matérialisée par la ligne jaune. La région la plus profonde (280 m) se trouve à proximité de l'île Soto dans le Grand Lac.

- *Lac endoréique* : 95% de ses pertes en eau sont dues à l'évaporation, contre <5% par son exutoire, la rivière Desaguadero qui alimente le Lac Poopó hypersalé au sud de

l'Altiplano, en cours d'assèchement dû à une consommation excessive de l'eau pour l'irrigation et les mines

- Sa contribution essentielle au microclimat régional permet le développement d'espèces animales et végétales endémiques, et de conditions idéales pour l'agriculture et l'élevage
- Ces conditions exceptionnelles ont conduit à l'épanouissement de plusieurs civilisations andines préhispaniques majeures (Pukara, Tiwanaku, Colla Lupaka et Inca). Actuellement, > 2,5 millions d'habitants dépendent directement ou indirectement de ses ressources naturelles
- Ses populations riveraines, dans un état de pauvreté extrême (84% au Pérou, 98% en Bolivie), sont exposées aux risques des changements globaux en marche. L'incertitude est grande car les prévisions des modèles globaux ne s'appliquent pas à cause du relief extrême des Andes et des interactions climatiques complexes (El Niño, La Niña, ITCZ)
- Paradoxalement, le fonctionnement écologique et biogéochimique du Lac Titicaca reste peu étudié. Depuis les travaux de l'IRD (ex-ORSTOM) dans les années 1970-1980 (synthèse Dejoux & Iltis 1991), aucun programme coordonné de suivi à long terme entre institutions du Pérou et de la Bolivie n'a été entrepris pour documenter les effets des pressions anthropiques et du dérèglement climatique
- Le Lac Titicaca est un 'hotspot' de biodiversité et d'endémisme, mais certaines espèces y sont maintenant menacées d'extinction, comme la grenouille géante *Telmatobius culeus*, les poissons du genre *Orestias*, et la grèbe microptère (zampullín) *Rollandia microptera*, entre autres
- Aujourd'hui, suite aux contaminations minières, industrielles et urbaines, les estuaires des rivières Ramis et Suchez, ainsi que les baies de Puno, de Copacabana et plus particulièrement de Cohana, exutoire de la ville de El Alto (1,2 M hab.), sont contaminés et/ou eutrophisés, comme l'analyse la récente synthèse de l'IRD - UICN (Pouilly et al. 2014)

Carte du Lac Titicaca et des stations de suivi

<https://www.google.fr/maps/place/Lac+Titicaca/@-15.9129113,-70.4260877,8z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x915d9b22f6af7c75:0xf682724d4df71dc!8m2!3d-15.9254!4d-69.3354?hl=fr>



Fig. 3 – Carte de localisation des principales stations de suivi dans le Lac Titicaca : Grand Lac et Petit Lac (à gauche) et Petit Lac (à droite).

Pourquoi développer l’OBLT?

Le Lac Titicaca dans son ensemble n’a jamais fait l’objet d’aucun suivi environnemental continu à long terme permettant de prévoir son évolution et de prévenir, ou au moins anticiper, les événements extrêmes indésirables, comme les *blooms*, les mortalités de poissons, la perte de biodiversité, la chute de la productivité halieutique. Ceci est paradoxal compte tenu de ses caractéristiques rares liées aux conditions climatiques particulières de l’Altiplano, qui lui permettent d’être le lac sentinelle unique des changements globaux de la région.

Ainsi, par rapport aux conditions du niveau de la mer, dans le Lac Titicaca, la concentration en oxygène dissous à saturation dans l’eau est inférieure de 30%, alors que l’irradiance solaire globale et en ultraviolet est majorée de > 30%. L’intense rayonnement solaire induit une forte inhibition superficielle de la photosynthèse du phytoplancton, un maximum profond de la concentration en chlorophylle-*a* et empêche que les eaux superficielles ne gèlent en hiver. La forte amplitude thermique nyctémérale (sur 24 heures) de l’air > 20 °C, avec une température de l’eau ≥ 5 °C à celle de l’air, engendre (à partir de 15:00-16:00) un régime de vents thermiques quotidiens responsable du mélange de la colonne d’eau des régions peu profondes.

Des connaissances actualisées manquent sur son fonctionnement trophique et sur l’ampleur croissante des effets des changements climatiques (régressions glaciaires de la Cordillère des Andes, dérèglements saisonniers) et anthropiques (contamination multiple, eutrophisation, surpêche), amplifiés depuis les deux dernières décennies.

L’extrême biodiversité et l’endémisme du Lac Titicaca ont attiré l’intérêt des plus grands naturalistes, comme Alcide d’Orbigny (1826-1833), Alexander Agassiz (1876), Maurice Neveu-Lemaire (1906) et The Percy-Sladen-Trust Expedition de Cary Gilson (1937), puis les travaux multidisciplinaires de l’IRD (ex- ORSTOM) dans les années 1970-1990. Cependant, la partie bolivienne du Petit Lac a été délaissée depuis les deux dernières décennies (voir la vidéo de

Lazzaro & Aviles 2014) par les recherches scientifiques, essentiellement menées par l'UMSA, tandis qu'au Pérou l'IMARPE a maintenu depuis 2006 des expéditions annuelles sur l'ensemble des deux lacs. Cet abandon par les pouvoirs publics boliviens a malheureusement coïncidé avec l'expansion exponentielle incontrôlée de la zone urbaine de El Alto-Viacha, la banlieue de La Paz, initiée il a environ 15 ans.

Actuellement, les régions les moins profondes, les plus vulnérables, comme la Baie de Puno dans le Grand Lac (Pérou) et surtout la Baie de Cohana dans le Petit Lac (Bolivie), subissent une eutrophisation accélérée par le développement des villes de Puno-Juliaca et El Alto-Viacha, respectivement. Même si la zone centrale pélagique profonde du Grand Lac et une bonne partie du Petit Lac n'ont pas perdu de leur beauté spectaculaire et magique et semblent toujours aussi transparentes – la contamination étant le plus souvent invisible – les zones littorales et peu profondes sont les plus vulnérables et impactées. Ainsi, en mars-avril 2015, le premier grand *bloom* de phytoplancton composé de *Carteria* sp., une micro-algue Chlorophycée unicellulaire flagellée inoffensive, s'est propagé dans la majeure partie du Petit Lac de profondeur < 5 m, tuant massivement les espèces natives de poissons (*Orestias* et *Trichomycterus*) et les grenouilles géantes (*Telmatobius culeus*) déjà classés en danger d'extinction, en plus des oiseaux aquatiques. Cette mortalité résulte de l'anoxie causée par la décomposition de l'apport excessif en matière organique et du rejet de H₂S, un puissant neurotoxique, provenant de la minéralisation par les bactéries sulfato-réductrices (Achá & Lazzaro 2015, Lazzaro & Achá 2015). La magnitude de cet événement extrême a fait prendre conscience aux autorités politiques boliviennes, en particulier le Ministère de l'Environnement et de l'Eau (MMAyA), que la capacité de charge du Petit Lac avait été atteinte, le rôle de filtre biologique joué par le banc de macrophytes aquatiques de la Baie de Cohana étant devenu insuffisant.

L'absence de stations d'épuration des eaux usées, aussi bien en Bolivie qu'au Pérou, rend incontrôlables les apports diffus et ponctuels en nutriments, matière organique et contaminants provenant des rejets non traités de l'agriculture (produits phytosanitaires, engrais artificiels) et de l'élevage, ainsi que d'origine domestique, industrielle et minière, conséquences de la croissance démographique des populations riveraines et des centres urbains non planifiés. La population atteint aujourd'hui > 3 millions d'habitants dans l'ensemble du bassin versant binational. Cette contamination par les activités des villages côtiers, mais surtout des 1,2 millions d'habitants de El Alto (autrefois une banlieue de La Paz, la capitale bolivienne) vers la Baie de Cohana, contribue majoritairement à l'eutrophisation organique et la dégradation associée des zones littorales. Les mesures ponctuelles de restauration, essentiellement limités à la récolte de *Lemna* sp., les macrophytes flottantes qui envahissent le miroir d'eau, en particulier dans la Baie de Puno, ne produisent que des effets très mitigés (Northcote 1989, Beltrán et al. 2015).



Fig. 4- Trajet de la contamination multiple depuis la ville de El Alto jusqu'au Petit Lac : mines de Milluni, El Alto, Station de traitement des eaux de Puchucollo, cimenterie de Viacha, le long de la rivière Palina, puis rivière Katari jusqu'à la Baie de Cohana.



Fig. 5 – Evolution du bloom de *Carteria* sp. (zone verte) dans le Petit Lac après son paroxysme le 14 avril 2015. Images MODIS, satellite Terra/Aqua en couleurs naturelles (sans correction atmosphérique).

En ce qui concerne la productivité halieutique, l'introduction en 1941-1942 d'espèces prédatrices exotiques, comme la truite arc-en-ciel Californienne (*Oncorhynchus mykiss*) et le pejerrey Argentin (*Basilichthys bonariensis*), n'a pas permis d'accroître comme attendu la productivité des pêcheries artisanales. Au contraire, celle-ci aurait impacté négativement les

populations natives de carachis (*Orestias* spp.) et même éradiqué la seule espèce piscivore native *O. cuvieri* (Loubens & Osorio 1988, Loubens 1989, Ibañez et al. 2014). Cependant, dans la partie bolivienne du Petit Lac, on ne peut ignorer l'impact nuisible de la pêche indiscriminée.

Lors du 1^{er} *Symposium International du Lac Titicaca* (Puno, 2011), les recherches sur l'eutrophisation et les actions de restauration coordonnées entre les institutions boliviennes et péruviennes étaient notoirement absentes.

En réponse à cette situation, de 2012 à 2015 plusieurs projets conjoints ont été mis en œuvre entre des UMR de l'IRD (BOREA, GET, LTHE, ISTERRE, PRODIG), du CNRS (IPREM) et l'IE/UMSA (coordinateur D. Achá), afin de mieux comprendre le fonctionnement écologique, trophique, et biogéochimique actuels du Petit Lac, comme IDH EUTITICACA, TITICACA SENSORS, ANR LA PACHAMAMA et IDH LATICO2, entre autres (voir plus bas).

Face à la dégradation du nord-est de la partie bolivienne du Petit Lac et à l'absence de mobilisation des institutions concernées, X. Lazzaro a priorisé les recherches sur les processus d'eutrophisation (qui sont aussi les réponses aux changements globaux) et développé des stratégies binationales de suivi. Ainsi, en tant qu'organisateur scientifique du 11^{ème} *Symposium International du Lac Titicaca* (Puno, 2013), dans le cadre d'un atelier dédié X. Lazzaro a proposé la création de l'Observatoire Binational du Lac Titicaca (OBLT), approuvée à l'unanimité par les représentants des principales institutions impliquées. Afin de préciser les actions pertinentes, X. Lazzaro a imaginé et organisé la 1^{ère} *Conférence Internationale – Observatoires des Lacs Transfrontaliers* (La Paz, 2014). Son but était de renforcer les collaborations scientifiques binationales et la gouvernance institutionnelle en vue d'établir un système de suivi continu à long terme de la qualité de l'eau et une gestion des ressources hydrobiologiques coordonnés entre les deux pays, sur une base de connaissances fiables et actualisées. Afin de révéler internationalement cette initiative, X. Lazzaro a coordonné un *Side-event : Challenges of climate change for Lake Titicaca binational watershed (Perú-Bolivia)*, dans le cadre de la COP20 (Lima, 2014). Celui-ci a attiré l'attention de la communauté scientifique, des grands bailleurs de fonds internationaux, ainsi que l'opinion publique sur l'eutrophisation accélérée de certaines parties du Lac. Ces événements ont été parrainés par l'ALT, l'IRD et l'UMSA, entre autres institutions.

Afin de s'inscrire dans la stratégie française pour les infrastructures de recherche sur l'environnement définie par *AllEnvi – Alliance pour l'Environnement* (Alimentation, Climat, Eaux, Territoires), X. Lazzaro a présenté au Département DER de l'IRD une proposition de création de l'Observatoire Binational du Lac Titicaca (OBLT). En juillet 2015, l'IRD a évalué positivement l'OBLT, soutenant institutionnellement ce dispositif maintenant intégré au Plan Directeur de l'ALT, et lui attribuant le *Label IRD « Sud »*, cependant encore sans appui financier.

Les projets de recherche à l'origine de l'OBLT

- IDH EUTITICACA : eutrophisation de la Baie de Cohana, avec recherche de bioindicateurs comme le H₂S, anticipant l'apparition des symptômes représentés par la propagation des blooms phytoplanctoniques et l'expansion des bancs de macrophytes (flottantes) aquatiques (Achá et al. 2013)

- TITICACA SENSORS : suivi haute fréquence automatisé (15 min, sondes multiparamètre et de fluorescence de la chlorophylle-*a*) de la station de Huatajata (5 m) et routinier (20 jours, sondes et prélèvements de phyto- et zooplancton) des stations de Huatajata et Chúa (40 m) (Point et al. 2013)
- ANR LA PACHAMAMA : mécanismes biotiques/abiotiques de méthylation/déméthylation du Hg dans la colonne d'eau et aux interfaces (périphyton, phytobenthos, phytoplancton) (Amouroux et al. 2012)
- IDH LATICO2 : bilan de carbone du Petit Lac (Achá et al. 2014)

Objectifs de l'OBLT

- Développer des recherches sur le fonctionnement écologique et biogéochimique du Lac Titicaca, en relation avec les changements globaux
- Mettre en œuvre un suivi automatisé-routinier afin d'accompagner l'évolution environnementale et vérifier l'efficacité des mesures prises
- Produire des bases de données de qualité, actualisées et validées, pour les recherches des scientifiques, la prise de décisions des politiques, au service de la société civile (information, éducation, amélioration des conditions de vie)
- Identifier les sources et les sites de contamination, leurs effets sur la qualité de l'eau, les bilans hydrologiques, les ressources hydrobiologiques et les activités humaines
- Anticiper les événements extrêmes et contrôler l'eutrophisation induite par les changements climatiques et anthropiques
- Concevoir et tester des approches de bio-restauration par ingénierie écologique
- Devenir un modèle d'observation, gestion et gouvernance pour les écosystèmes lacustres transfrontaliers

La structure opérationnelle de l'OBLT

La première étape du montage de l'OBLT est de capitaliser les connaissances scientifiques et techniques acquises sur le Lac Titicaca au cours des trois dernières décennies. En plus des publications scientifiques, elle s'appuie sur la digitalisation au format pdf des derniers exemplaires papier d'environ **300 rapports institutionnels historiques** avant qu'ils ne deviennent introuvables, via une convention entre l'IRD et l'IUCN qui a abouti à l'ouvrage de synthèse Pouilly et al. (2014). Les contenus numériques de ces rapports seront progressivement intégrés par l'IIGEO/UMSA aux bases de données disponibles du GEOVISOR (voir plus bas).

La deuxième étape a consisté à rendre opérationnel le **portail géographique universitaire GEOVISOR IIGEO**, qui est **une Infrastructure de Données Spatiales (IDS)** :

- Le **GEOVISOR IIGEO** (www.geovisorumsa.com) est dédié à l'analyse spatiale et historique des résultats des recherches multidisciplinaires menées en collaboration entre l'UMSA et

plusieurs UMR de l'IRD, dont BOREA, PRODIG, GET, ISTERRE et LEMAR. La convention cadre IRD (ex-ORSTOM)-UMSA date de plus de quarante ans.

Javier Nuñez, Directeur de IIGEO, et X. Lazzaro ont soumis le projet « Développement d'outils Web pour la stabilité, le contrôle, la production d'analyses et de contenus pour les trois géoviseurs du portail géographique universitaire GEOVISOR IIGEO de l'UMSA, La Paz, Bolivie » qui a été financé par le programme *SPIRALES* de l'IRD en 2015. Pour ce projet, un consortium a été créé entre IIGEO/UMSA, ADSIB et le projet GEOBOLIVIA, garantissant la validation des informations, données et images présentées, ainsi que le respect des standards (notamment l'utilisation exclusive de logiciels de licence libre, comme GeOrchestra) établis par l'autorité nationale constituée par ADSIB et GEOBOLIVIA, tous deux regroupés au sein de la Vice présidence de l'Etat Plurinational de Bolivie. Le GEOVISOR IIGEO est ainsi devenu la plateforme universitaire de référence nationale et régionale concernant le Lac Titicaca en relation avec son bassin versant, notamment la contamination provenant de El Alto vers le Petit Lac (voir le tutoriel vidéo plus bas).

La troisième étape initiée en 2016 s'attache à développer les **différents 'modules' d'observations et d'analyses** (voir le diagramme opérationnel de l'OBLT) :

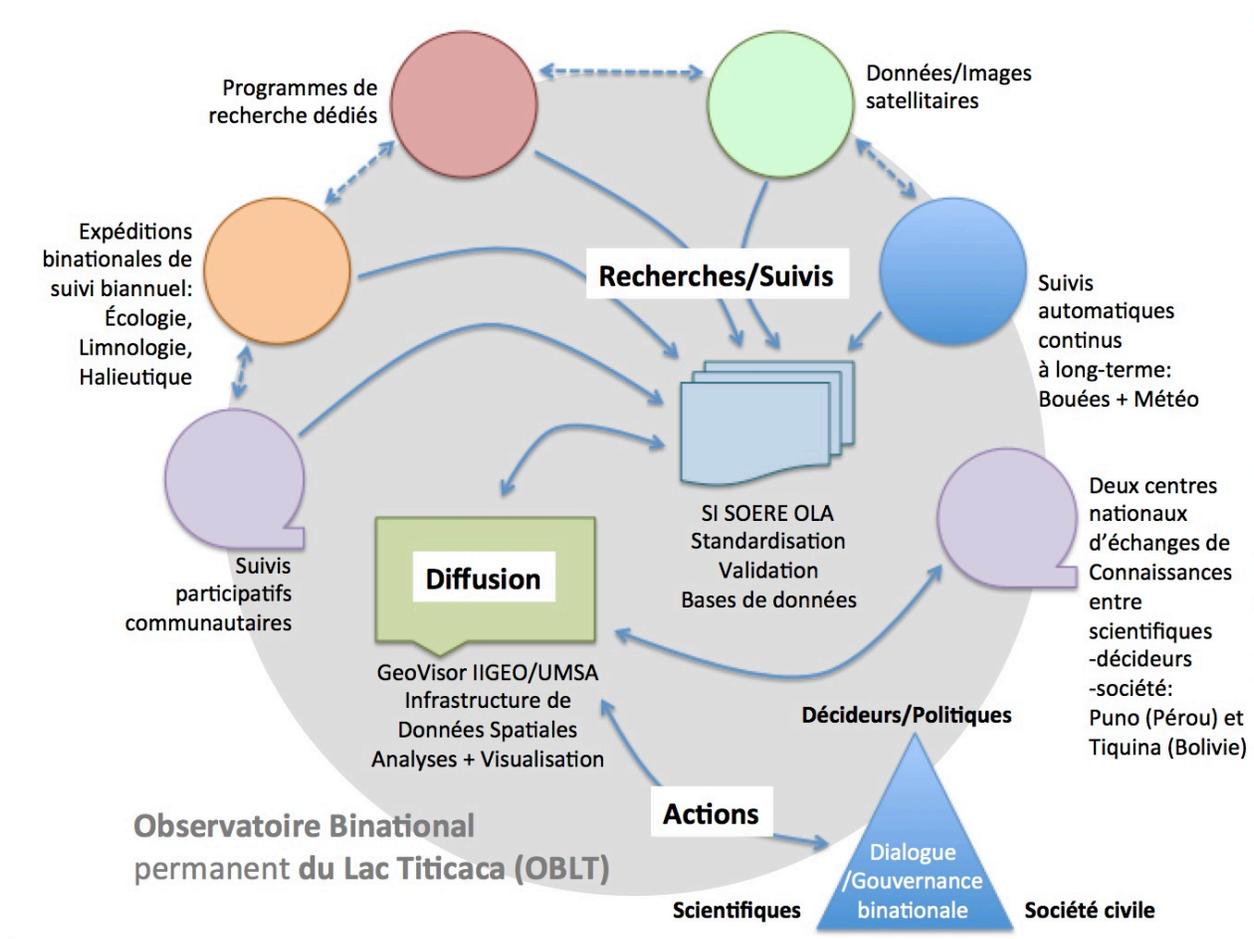


Fig. 6 – Diagramme opérationnel de l'OBLT.

- Les **programmes de recherche dédiés** : il s'agit de l'ensemble des programmes et projets de recherche mis en œuvre par les différentes institutions scientifiques et techniques des deux pays, en particulier les universités, sur des sujets concernant le fonctionnement hydrique, écologique, limnologique, biogéochimique et climatique du Lac Titicaca, en relation avec les impacts des activités socio-économiques, culturelles et productives (agriculture, élevage, aquaculture, industries, mines, urbanisation, tourisme...). Certaines de ces recherches sont menées en coopération avec des UMR françaises de l'IRD (BOREA, GET, LTRE, ISTERRE, PRODIG) et du CNRS (IPREM), mais aussi avec les coopérations suisse (COSUDE), suédoise (ASDI), belge (archéologie subaquatique, ULB) et espagnole (AECID, UB, UVEG), entre autres.
- Les **expéditions binationales de suivi biennuel** (écologie, limnologie, halieutique) : comme les **Expéditions d'évaluation des caractéristiques limnologiques et écologiques** dans le cadre du **programme ECERP** (Expéditions scientifiques d'évaluation des ressources piscicoles) de la ALT et de ses partenaires scientifiques institutionnels péruviens (*IMARPE, PELT*) et boliviens (*IE/UMSA, VRHR/MMAYa, IPD PACU/MDRyT, UOB*), et l'IRD. L'équipe de jeunes scientifiques associés à l'IE/UMSA a déjà participé à trois expéditions binationales, en collaboration avec leurs homologues péruviens (IMARPE, PELT), dans le Grand et Petit Lacs du 14/07 au 09/08/15, et le Petit Lac du 21/11 au 05/12/15 et du 02-15/08/16. Ils constituent actuellement l'équipe scientifique nationale bolivienne financée par le VRHR/MMAYa et l'IPD PACU/MDRyT : William Gustavo LANZA AGUILAR, phytoplancton (wilanz66@gmail.com) ; Magda Pamela ALCOREZA ORTIZ, phytoplancton (diatomeadiva@gmail.com) ; Ana Julia FLORES CHAMBI, zooplancton (anaflores94@hotmail.com) ; Adilen FERNÁNDEZ PAZ, macroinvertébrés benthiques (adilenfp@hotmail.com) ; Pablo FERNÁNDEZ, H₂S comme bioindicateur de l'eutrophisation (pablo86fernandez@hotmail.com) ; Erick Zender LOAYZA TORRICO, hydroacoustique et pêches expérimentales (erickz.loayzatorrico@gmail.com) ; sous la coordination de Carla IBAÑEZ LUNA pour l'ichtyologie et l'halieutique (carla.lunallena@gmail.com) et X. LAZZARO pour la limnologie et les sondes automatiques. Les aspects photobiologiques (i.e. les effets du rayonnement solaire UV et PAR sur les communautés planctoniques) sont étudiés en collaboration avec Walter HELBLING (whelbling@efpu.org.ar) & Virginia VILLAFañE (virginia@efpu.org.ar) de l'EFPU, Chubut, Argentine.
- Les **données et images satellitaires** : Il s'agit d'un défi scientifique et technologique à relever pour l'OBLT. Fondé sur l'utilisation de la télédétection (satellites LANDSAT8, MODIS, SENTINEL2,3) pour le suivi de paramètres de qualité des eaux. Il vise à développer des outils (produits) permettant – à partir d'une calibration de mesures de terrain – d'estimer en particulier les concentrations en chlorophylle-*a* du phytoplancton (le principal pigment photosynthétique) à l'échelle de l'ensemble du Lac, mais aussi la distribution, composition et biomasse des macrophytes aquatiques (flottantes : e.g. *Lemna, Azolla* ; émergées : *Totora* ; benthiques : *Chara, Potamogeton*) dans les zones peu profondes du Petit Lac. Trois équipes y contribuent à différents niveaux : (a) l'Unité Fonctionnelle de Télédétection de l'IMARPE, Lima, Pérou (German Roberto VELAUCHAGA CARPIO, gvelaouchaga@imarpe.gob.pe & Han XU, hxu@imarpe.gob.pe); (b)

le CES Couleurs des eaux continentales (animateur Jean-Michel Martinez, IRD/GET, SORE HYBAM, jean-michel.martinez@ird.fr); (c) le Laboratoire d'Observation de la Terre de l'Université de Valence, Espagne (UVEG/LEO), pour le Master de Télédétection de Marcela PEREIRA SANDOVAL (mps2806@hotmail.com) dirigé par Jesús DELEGIDO GOMEZ (Jesus.Delegido@uv.es) et Antonio RUIZ-VERDÚ (antonio.ruiz@uv.es), via une collaboration avec le Laboratoire de Télédétection de l'IIGEO/UMSA (directeur Javier NUÑEZ VILLALBA).

- **Les suivis automatiques à long-terme**, à partir de bouées équipées d'une station météo : Il est prévu l'installation d'un réseau de bouées limno-météorologiques automatiques équipées de sondes (multiparamètre, fluorescence) avec profileurs verticaux (pour les profondeurs > 10 m), qui seront déployées sur des stations 'critiques' dans les parties bolivienne et péruvienne du Grand Lac et du Petit Lac. Compte tenu du coût élevé de chaque unité et de la faisabilité/fiabilité technologique à vérifier, un projet pilote sera développé à partir de 2017 (voir plus bas).
- Le **PROJET PILOTE « OBSERVATOIRE PERMANENT »** : Ce projet est financé (2017-2020) par le programme des Nations Unies pour la Gestion Intégrée des Ressources Hydriques du Système Titicaca (*GIRH PNUD-GEF*). Il a pour modèle le projet TITICACA SENSORS de suivi automatique haute fréquence et représente le test de faisabilité grandeur nature de la stratégie des bouées automatiques (voir plus haut). Il est porté par D. ACHÁ CORDERO (UMSA/IE), Javier NUÑEZ VILLALBA (UMSA/IIGEO), Stéphane GUÉDRON (IRD/ISTERRE, contamination métaux lourds, paléolimnologie, stephane.guedron@ujf-grenoble.fr), Céline DUWIG (IRD/LTHE, coordinatrice du réseau de suivi du bassin du Katari pour la modélisation du transport des contaminants, celine.duwig@ujf-grenoble.fr), X. LAZZARO (IRD/BOREA) et Alexis GROLEAU (*IPGP/LGE*, biogéochimie, bilan de carbone, groleau@ipgp.fr). Il consolide un programme test de suivi environnemental automatique continu de haute fréquence focalisé sur l'eutrophisation du Petit Lac à partir de la contamination du bassin du Katari par la ville de El Alto via la Baie de Cohana. Il doit être accessible aux techniciens et acteurs clés pour développer un savoir faire en caractérisation de l'évolution écologique/limnologique, et prévision/anticipation des événements extrêmes indésirables.
- Le **SI SOERE OLA** : Le système d'information (SI) de l'Observatoire des LAcS (OLA) est piloté par Isabelle DOMAIZON (responsable du SOERE, isabelle.domaizon@thonon.inra.fr) et Ghislaine MONET (administratrice du SI, ghislaine.monet@thonon.inra.fr) à l'INRA/CARTEL de Thonon-les-bains (<https://si-ola.inra.fr/>). L'inclusion du Lac Titicaca dans le SOERE OLA a été adoptée lors de l'AG du SOERE OLA en mars 2016. Le SOERE réunit une dizaine de laboratoires autour d'une démarche d'évaluation de l'état, du fonctionnement et des trajectoires écologiques à long terme des écosystèmes lacustres. Les lacs observés sont historiquement les grands lacs péri alpins (Léman, Annecy, Bourget et Aiguebelette), plus des lacs du Massif Central (Aydat, Pavin), du Jura (Remoray), d'altitude des Alpes, et un lac urbain (Créteil). L'ensemble des informations du SOERE constitue un patrimoine scientifique d'importance pour étudier à long terme l'évolution de l'état et de la biodiversité, l'impact de l'anthropisation et des changements climatiques. Les bases de données de

OLA (physico-chimie, phytoplancton, zooplancton, poissons) combinent les données *in situ* de capteurs et celles d'analyses obtenues en laboratoire à partir d'échantillons. Une charte utilisateur administre les droits/privilèges en fonction du profil de l'utilisateur et des droits d'accès définis par les auteurs. Déposer les données du Titicaca sur le SI OLA requiert le formatage au standard défini, les rend compatibles avec celles d'autres lacs, garantit la qualité de la sauvegarde et sa sécurité d'accès. Le SI est un filtre indispensable avant la visualisation sur le GEOVISOR IIGEO. Il reste à mettre les bases de données des projets (voir plus haut) au format du SI.

- Les **Suivis participatifs communautaires** de la qualité de l'eau : Les ministères boliviens (MMAyA, MDRyT), l'Universidad Indígena Boliviana Aymara « Tupak Katari » (UNIBOL A-T/K, <http://www.utupakkatari.edu.bo>), ainsi que l'initiative privée de l'IMTD – Institute for Multi-Track Diplomacy (Directeur pour l'Amérique Latine, Adam R. ZEMANS, azemans@imtd.org), sur le modèle du programme des volontaires sur les lacs du Maine aux USA (VLMP), pourront en prendre la coordination au niveau local. Des mesures quotidiennes simples pourront être mise en place, comme celles de l'oxygène dissous, de la transparence (disque de Secchi), de la température, sur des sites représentatifs impactés vs. de référence. Cela permettra d'étendre le réseau d'observations et de faire prendre conscience aux riverains et au public en général de l'importance des suivis pour la conservation des écosystèmes.
- Les **Centres nationaux d'échanges de connaissances** : Pour que les scientifiques, les décideurs politiques et la société civile puissent échanger leurs connaissances concernant le Lac Titicaca, socialiser les projets/programmes, confronter les opinions, et combiner les connaissances ancestrales et les approches scientifiques, il est nécessaire de disposer d'au moins deux centres de référence, un par pays, où organiser des ateliers et avoir accès à l'information. Cela permettra d'élever le niveau d'éducation, de compréhension et rendre ainsi chaque catégorie d'acteurs plus responsable et proactive. Le Centre de Puno (Pérou), avec la présence de IMARPE, PELT, ALT et ANA, et le Centre de Tiquina (Bolivie), avec le Centre Piscicole de IPD PACU (MDRyT) à proximité de UNIBOL A-T/K, tous deux au bord du Lac, sont des candidats appropriés. La Paz, où coexistent l'UMSA, le MMAyA et IPD PACU, et bien d'autres institutions, est une autre bonne option, mais loin du Lac et des populations riveraines.
- Le **PROJET PILOTE « RESTAURATION PAR INGENIERIE ECOLOGIQUE »** (GIRH PNUD-GEF) : Il teste l'efficacité de la phytorestoration par les macrophytes aquatiques comme approche complémentaire au traitement sanitaire classique des eaux usées par des stations d'épuration. Il est coordonné par Susana CISNEROS ARZA (UMSA/IE-CIDES, sussycisnerosarza@gmail.com), Susana M. DEL GRANADO (UMSA/IE-INASP, smdelgra@gmail.com), Cristina RUIZ (UMSA/IE-FCPN, cristinaruiz547@gmail.com), Darío ACHÁ (UMSA/IE), Jorge QUEZADA (UMSA/IBMB-FCPN, jorgequezada@yahoo.com), Géraldine SARRET (IRD/ISTERRE, geraldine.sarret@univ-grenoble-alpes.fr), Stéphane GUÉDRON (IRD/ISTERRE), David POINT (IRD/GET, david.point@ird.fr), Céline DUWIG (IRD/LTHE) et X. LAZZARO (IRD/BOREA) pour la caractérisation des améliorations biogéochimiques et écologiques de la colonne d'eau du Petit Lac. Ce projet déterminera les capacités de bioaccumulation de métaux lourds (Hg, MeHg, Zn, Cu) par les tissus de la

Titora (*Schoenoplectus californicus* spp.) ou les groupes d'algues (périphyton) qui la colonisent. Il évaluera la production de H₂S du sédiment superficiel de trois zones. Il servira à optimiser la conception et construction des zones humides artificielles et la manipulation des zones humides naturelles afin de les rendre plus efficaces et durables. Il contribuera à concevoir des systèmes de traitement des eaux appropriés aux écosystèmes et conditions économiques de l'Altiplano bolivien.

Aujourd'hui, le réseau des stations de surveillance du Petit Lac, définies par le programme d'expéditions binationales, couplées avec le réseau des stations de surveillance du Bassin de la rivière Katari (trajet des contaminations de El Alto à la Baie de Cohana, dans le contexte du projet 'Zone Critique de l'Altiplano Bolivien' du consortium VRHR/MMAYA-IIQ/UMSA-LTHE/ISTERRE/IRD-SENAMHI-BO) constituent le **Plan Directeur de Gestion et Restauration du Bassin du Katari** géré par le gouvernement bolivien (VRHR/MMAYA). De même l'Observatoire Binational du Lac Titicaca fait partie du **Plan Directeur de l'ALT**.

Quelques références

- I^{er} Symposium International du Lac Titicaca – Défis pour une gestion fondée sur l'écosystème, Puno, 19-21 octobre 2011, 60 participants :
http://rnia.produce.gob.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=118:simposio-internacional-el-estado-del-lago-titicaca&catid=7:eventos-y-actividades&Itemid=75
- II^{ème} Symposium International du Lac Titicaca, coordinateur scientifique X. Lazzaro (IRD), Puno, 7-9 mars 2013, 500 participants : www.simposiotiticaca.org
- I^{ère} Conférence Internationale – Observatoires des Lacs Transfrontaliers, concepteur et coordinateur scientifique X. Lazzaro, La Paz, 16-18 juin 2014, 150 participants :
www.lagossinfronteras.org , www.pieb.com.bo/lagos.php
- Side-event : Challenges of climate change for Lake Titicaca binational watershed (Peru-Bolivia), COP20, Lima, Pérou, 12 décembre 2014 :
www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=Vy5QLxoSN-8
<http://climatechange.mtnforum.org/sites/default/files/1COP20%20Titicaca%20%26%20Video.pdf>
- Achá Cordero D., Alvarez Aliaga M.T., Nuñez Villalba J., Point D. & Lazzaro X. (2013) Enfoque socio-ambiental de la eutrofización, los causantes y los potenciales de biorremediación en el continuo entre el Lago Titicaca y la Ciudad de El Alto. Proyecto IDH EUTITICACA, UMSA, IRD, 2013-2014, 32 p.
- Achá D. & Lazzaro X. (2015) Comunicado: Análisis y recomendaciones acerca de la muerte de peces, anfibios y aves ocurrida en la zona Norte del Lago Menor durante el mes de Abril 2015, IRD-Bolivia: http://www.bolivia.ird.fr/toda-la-actualidad/la-actualidad/comunicado-analisis-y-recomendaciones-acerca-de-la-muerte-de-peces-anfibios-y-aves-ocurrida-en-la-zona-norte-del-lago-menor-durante-el-mes-de-abril-2015#eztoc3326304_1
- Achá Cordero D., Nuñez Villalba J., Point D., Lazzaro X. & Groleau A. (2013) Estudio de la biogeodinámica del dióxido de carbono y el oxígeno en el contexto de cambio climático en la

cuenca menor del Lago Titicaca. Proyecto LATICO2 : Dinámica del CO₂ en el Lago Titicaca. IDH 2013-2014, IE-UMSA, IRD/GET-BOREA, IPGP, 18 p.

Amouroux D. et al. (2012) Lacs de l'Altiplano (Bolivie) : exploration in situ des Processus (A)biotiques contrôlant la biogéochimie Aquatique du Mercure A l'échelle Moléculaire et isotopique. ANR LA PACHAMAMA 2014-2016, CNRS/IPREM, IRD/GET-BOREA-LEMAR, IE/UMSA, 40 p.

Arfi R. (2015) Avis de l'Institut de Recherche pour le Développement sur l'observatoire OBLT porté par X. Lazzaro. 15 juillet 2015. 1 p.

Beltrán Farfán D.F., Palomino Calli R.P., Moreno Terrazas E.G., Peralta C.G. & Montesinos-Tubée D.B. (2015) Calidad de agua de la bahía interior de Puno, lago Titicaca durante el verano del 2011. Revista peruana de biología 22: 335 – 340.

Dejoux C. & Iltis A. (Eds.) (1991) Lake Titicaca – A synthesis of limnological knowledge. Kluwer Academic Publishers. Monographiae Biologicae, Vol. 68, 626 p.

Ibañez Luna C., Hugueny B., Esquer Garrigos Y., Zepita C. & Gutierrez R. (2014) Biodiversidad ictica en el Lago Titicaca. In : Pouilly M., Lazzaro X. Point D. & Aguirre M. (Eds.) Linea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos e hidrobiológicos en el sistema TDPS con enfoque en la cuenca del Lago Titicaca. UICN – IRD : 135-153. ISBN 9789997441843.

Jiménez-Muñoz J.C., Llinares Llorens M., Ruíz-Verdú A., Tenjo Gil C., Delegido Gomez J., Sobrino Rodriguez J.A. & Moreno Méndez J. (2015) Propiedades ópticas y térmicas del Lago Titicaca a partir de imágenes Landsat-8 y MODIS. XVII SBSR Brazilian Symposium on Remote Sensing. 25-29 April. Joao Pessoa, Brazil.

Lanza Aguilar W.G., Loayza Torrico E.Z., Fernández Paz L.A., Alcoreza Ortiz M.P., Flores Chambi A.J., Fernández P., Ibañez Luna C., La Cruz Aparco L., Morales S. & Lazzaro X. (2016) Expedición Científica Binacional de Evaluación de las Características Limnológicas y Ecológicas del Lago Menor del Titicaca. Informe Técnico de los equipos Boliviano (IE/UMSA), Peruano (IMARPE, PELT) y Francés (IRD/BOREA) detallando el Plan de Trabajo de la Expedición. Programa ECERP – Evaluación Científica de Recursos Pesqueros, 02-15 de Agosto de 2016, 30 p.

Lazzaro X., Alcoreza P., Lanza Aguilar G., Flores Chambi A.J., Fernández P., Fernández Paz A., Zepita Quispe C., Loayza Torrico E. & Ibañez Luna C. (2016) Expedición binacional de evaluación de recursos pesqueros y condiciones limnológicas del Lago Titicaca – CR.1507-08 – Jul-Ago 2015 – Informe Técnico del Equipo Boliviano. IE/UMSA & BOREA/IRD, versión final, 01/07/2016, 95 p.

Lazzaro X. (2015a) Informe técnico sobre el crucero binacional en el Lago Menor del Titicaca por el equipo Boliviano-Francés. 21 nov.-05 dic. 2015. 11 p.

Lazzaro X. (2015b) Observatoire Binational du Lac Titicaca / OBLT (Observatorio Binacional del Lago Titicaca). Dossier IRD à remplir pour le bilan et la labellisation 2015-2019 d'un Service National d'Observation. 87 p.

- Lazzaro X. (2015c) El Lago Menor verde, evento meteorológico extremo o cambio climático en marcha? IRD-Bolivie: <http://www.bolivia.ird.fr/toda-la-actualidad/la-actualidad/el-lago-menor-verde-evento-meteorologico-extremo-o-cambio-climatico-en-marcha>
- Loubens G. (1989) VI.5b Espécies introducidas - 1. *Salmo gairdneri (trucha arco iris)*. Rev. Hydrobiol. trop., 22 (2) : 157-177.
- Loubens G. & Osorio F. (1988) Observations sur les poissons de la partie bolivienne du lac Titicaca - III. *Basilichthys bonariensis* (Valenciennes, 1835) (Pisces, Atherinidae). Rev. Hydrobiol. trop. 21 : 153-177.
- Northcote T., Morales P., Levy D. & Greaven M. (Eds.) (1989) Pollution in Lake Titicaca, Peru: Training, Research and Management. West-water Research Center, Univ. of British Columbia, Canada.
- Peireira Sandoval M. (2015) Estudio multitemporal mediante teledetección de la eutrofización de la Bahía de Cohana, Lago Titicaca – Bolivia. Máster Oficial de Teledetección, Departamento de Física de la Tierra y Termodinámica, Universidad de Valencia, Valencia, España. Director : Jesús Delegido Gómez ; collaboration avec X. Lazzaro pour les vérités terrain 49 p.
- Pereira M.A., Tenjo C., Ruíz-Verdú A., Lazzaro X., Delegido J. & Moreno J. (2016) Multitemporal remote sensing study of eutrophication of Cohana Bay, Lake Titicaca (Bolivia). Soumis à Limnetica.
- Point D., Lazzaro X. & Groleau A. (2013) In situ biogeochemical and ecological sensing of Lake Titicaca. TITICACA SENSORS : A joint IRD-IPGP research initiative 2013-2014. February 2013, IRD/GET-BOREA, IPGP, 17 p.
- Pouilly M., Lazzaro X., Point D. & Aguirre M. (2014) Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos en el sistema TDPS con enfoque en la cuenca del Lago Titicaca. IRD – UICN/Bridge, Quito, Ecuador. 320 p. : <http://www.bolivia.ird.fr/mediatheque/les-editions-et-co-editions-en-bolivia/linea-de-base-de-conocimientos-sobre-los-recursos-hidrologicos-e-hidrobiologicos-en-el-sistema-tdps-con-enfoque-en-la-cuenca-del-lago-titicaca> , <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2014-015.pdf>
- Ruiz-Verdú A., Jiménez J.C., Lazzaro X., Tenjo C., Delegido J., Pereira M., Sobrino J.A. & Moreno J. (2016) Comparison of MODIS and LANDSAT-8 retrievals of chlorophyll-a and water temperature over Lake Titicaca. IGARSS-IEEE International GeoScience and Remote Sensing Symposium, Beijing, China, 10-15 juillet 2016 : http://borea.mnhn.fr/sites/default/files/pdfs/RuizVerdu_Titicaca_wq_fv_IGARSS%202016.pdf

Les films

- Vidéo « **Témoignage sur le changement climatique dans le bassin binational du Lac Titicaca** » (12 min en Espagnol), réalisé par Xavier Lazzaro & Simón Avilés, pour la COP20 à Lima, décembre 2014: <https://www.youtube.com/watch?v=Vy5QLxoSN-8>

- Vidéo « **Xavier Lazzaro – Don Ramon Catari, propos autour du Lac Titicaca** » (9min16, version originale Français – Espagnol, sous-titrée en français). Film de présentation du travail des chercheurs de l'IRD en Bolivie, réalisé par Antoine Deprez-Segobia, stagiaire, encadré par le service Audiovisuel de l'IRD, novembre 2015. Une longue histoire d'amitié mais aussi de science lie les deux hommes qui travaillent depuis plus de 30 ans sur le Lac Titicaca. Aujourd'hui, l'équilibre du Lac est menacé par l'expansion des grandes villes du pays. Les signaux sont forts : il y a quelques mois le Lac a changé de couleur, il est devenu vert. Ce portrait croisé du lac et des chercheurs qui l'étudient pose en fond la question de l'impact de l'homme sur son environnement :
<http://www.bolivie.ird.fr/mediatheque/selection-de-media/films-documentaires/films-de-presentation-du-travail-des-chercheurs-de-l-ird-en-bolivie>
- Documentaire « **Titicaca – La fièvre du Lac Sacré** » (20 min en Italien), coproduction ELANDRA-IRD, conseillers scientifiques : Xavier Lazzaro & Jacques Gardon, cinéastes : Francesca Massa & Jacopo Tofani ; présenté (53ème min) au cours du programme SCALA MERCALLI à la TV RAI le samedi 12 mars 2016:
<http://www.rai.tv/dl/RaiTV/programmi/media/ContentItem-b747e353-58d3-471f-b999-228429b0a6a7.html>
- Tutoriel vidéo de l'infrastructure de données spatiales, le GeoVisor IIGEO/UMSA « **Contamination de El Alto au Lac Titicaca** » (17 min en Espagnol), réalisé par Javier Nuñez Villaba & Xavier Lazzaro, co-production IIGEO/UMSA-IRD/DSI, produit par Fermin Cruz (CONTRAPLANO), mars 2016:
<https://www.youtube.com/watch?v=4JlkfRT1Lfo&feature=youtu.be>

Le glossaire

Bloom = prolifération de microalgues phytoplanctoniques, souvent monospécifique, due à un apport excessif en matière organique et nutriments, en présence d'un fort rayonnement solaire photosynthétique

Lac endoréique = dont les eaux ne se raccordent pas à la mer, mais se perdent dans les terres et/ou par évaporation

Les sigles des institutions

- ADSIB – Agence pour le développement de la société de l'information en Bolivie :
www.adsib.gob.bo
- AECID – Office Technique de Coopération Espagnole, en Bolivie :
<http://www.aecid.bo/portal/agua/>
- AllEnvi – Alliance pour l'Environnement (Alimentation, Climat, Eaux, Territoires) :
<http://www.allenvi.fr>
- ALT – Autorité binationale du Lac Titicaca : <http://www.alt-perubolivia.org/web/>

- ASDI – Coopération Suédoise pour le Développement : <http://www.sida.se/English/About-us/Our-mission/>
- CES – Centres d’Expertise Scientifique de THEIA (laboratoires ou regroupements de laboratoires nationaux menant des travaux de recherche et développant des méthodes innovantes de mobilisation des données satellitaires sur des problématiques « surfaces continentales ») : <https://www.theia-land.fr/fr/presentation/centres-d-expertise-scientifique-ces>
- CES Couleur des eaux continentales, animateur Jean-Michel Martinez (IRD/GET) : https://www.theia-land.fr/sites/default/files/imce/theia/CES_couleur-eaux-continentales.pdf
- COSUDE – Agence Suisse pour le Développement et la Coopération, en Bolivie : <https://www.dfae.admin.ch/countries/bolivia/es/home/representaciones/oficina-de-cooperación.html>
- DER – Département Environnement et Ressources de l’IRD
- EFPU - Station de Photobiologie Playa Union, Chubut, Argentine : <http://www.efpu.org.ar>
- GEOBOLIVIA – projet d’infrastructure de données spatiales de l’Etat Plurinational de Bolivie : <http://geo.gob.bo>
- GIRH PNUD/GEF – Gestion Intégrée des Ressources Hydriques du Programme des Nations Unies pour le Développement / Fonds pour l’environnement mondial : <https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/BOL/PRODOC%20-%20IP%20TDPS.pdf>
- IE – Institut d’Ecologie de la UMSA : <https://www.facebook.com/Institutedeecologiaumsa/>
- IIGEO – Institut de Recherche en Géographie: <http://geografiaumsa.blogspot.fr>
- IMTD – Institute for Multi-Track Diplomacy : www.imtd.org
- IPGP/LGE – Institut de Physique du Globe de Paris / Laboratoire de géochimie des eaux : <http://www.fire.upmc.fr/?q=node/158>
- IUCN – Union Internationale pour la Conservation de la Nature ; projet BRIDGE - Building River Dialogue and Governance : <https://www.iucn.org/theme/water/our-work/bridge>
- IMARPE – Institut de la Mer du Pérou : <http://www.imarpe.pe/imarpe/>
- LCP – Laboratoire Continental de Puno : http://www.imarpe.pe/imarpe/index.php?id_seccion=I01711000000000000000
- LEO – Laboratory of Earth Observation, de l’Université de Valence, Espagne : <http://ipl.uv.es/leo/>
- LTHE – Laboratoire d’étude des Transferts en Hydrologie et Environnement (UMR5564) : <http://www.lthe.fr/LTHE/?lang=fr>

- MMAyA – Ministère de l’Environnement et de l’Eau : <http://www.mmaya.gob.bo>
- ORE HYBAM – Service d’Observation pour le contrôle géodynamique, hydrologique et biogéochimique de l’érosion/altération et du transport de matériaux dans l’Amazonie : <http://www.ore-hybam.org/index.php/eng/Data/Station-Access-Maps/HYBAM-ORE-South-America>
- PELT – Programme Spécial binational du Lac Titicaca : <http://www.pelt.gob.pe/pelt/>
- PSLT – Programme d’Assainissement du Lac Titicaca : http://www.mmaya.gob.bo/index.php/informacion_institucional/content,1610.html
- SI SOERE OLA – Système d’Information de l’Observatoire des Lacs : <https://si-ola.inra.fr/>
- SPIRALES – Soutien aux Projets Informatiques dans les Equipes Scientifiques de l’IRD :
- THEIA (fille d’Ouranos – le Ciel – et de Gaïa – la Terre) – Pôle de données et de services surfaces continentales (créé par 9 institutions publiques françaises impliquées dans l’observation de la terre et les sciences de l’environnement ; structure scientifique et technique a pour vocation de faciliter l’usage des images issues de l’observation des surfaces continentales depuis l’espace) : <https://www.theia-land.fr/fr/presentation/theia>
- UB – Université de Barcelone : <http://www.ub.edu/web/ub/ca/>
- UMSA – Université Majeure de San Andrés : <http://www.umsa.bo/web/guest>
- ULB – Université Libre de Bruxelles : <http://philoscsoc.ulb.be/fr/users/cdelaere>
- UOB – Unité Opérationnelle Bolivienne :
- UVEG – Université de Valence, Espagne : <http://www.ub.edu/web/ub/ca/>
- VEPB – Vice présidence de l’Etat Plurinational de Bolivie : www.vicepresidencia.gob.bo
- VLMP – Maine Volunteer Lake Monitoring Program : <http://www.mainevlmp.org>, <http://www.highlandlakemaine.org/home/water-monitoring-committee-videos>
- VRHR – Vice ministère de Ressources Hydriques et Irrigation : <http://www.riegobolivia.org>

Valorisation et communication scientifique autour du Lac Titicaca (mai 2013 - mai 2015)

2 Communiqués, page Représentation IRD-Bolivie/Actualités :

Achá D. & Lazzaro X (2015) Análisis y recomendaciones acerca de la mortandad ocurrida en la zona Norte del Lago Menor durante el mes de Abril 2015 ; mai 2015 : <http://www.bolivia.ird.fr/toda-la-actualidad/la-actualidad/comunicado-analisis-y-recomendaciones-acerca-de-la-muerte-de-peces-anfibios-y-aves-ocurrida-en-la-zona-norte-del-lago-menor-durante-el-mes-de-abril-2015>

Lazzaro X. (2015) El Lago Menor verde, evento meteorológico extremo o cambio climático en marcha? Mai 2015 : <http://www.bolivie.ird.fr/toute-l-actualite/l-actualite/el-lago-menor-verde-evento-meteorologico-extremo-o-cambio-climatico-en-marcha>

2 Interviews dans la presse écrite bolivienne sur l'ANR LA PACHAMAMA :

« Mercurio una alerta en el Titicaca »; Escape / La Razón, La Paz, mai 2014 : http://www.la-razon.com/suplementos/escape/Mercurio-alerta-Titicaca_0_2048795180.html

« La Bahía de Cohana es la mas contaminada del Lago - Se consolida el observatorio ambiental binacional del Lago Titicaca »; Oxígeno, La Paz, mai 2014 :

1 diaporama animé dans le Journal du CNRS sur l'ANR LA PACHAMAMA :

« Les chasseurs de mercure du Lac Titicaca » : <https://lejournald.cnrs.fr/videos/les-chasseurs-de-mercure-du-lac-titicaca>

1 Interview dans la presse Suisse :

« Joyau d'Amérique, le lac Titicaca est en péril » - LeTemps.ch ; Frédéric Faux, 25 août 2015 : <http://www.letemps.ch/sciences/2015/08/24/joyau-amerique-lac-titicaca-peril>

4 Reportages TV et 3 Interviews Radio :

Interview « Polución y eutrofización del Lago Titicaca »; Programa Nuevo Mundo, Canal Universitario TVU, La Paz, mai 2013, en studio, 1hr

Reportage « Contaminación de la Bahía de Cohana »; Los Chapacas, Canal Universitario TVU, La Paz, mai 2015, sur le terrain, 3 x 30 min

Documentaire « Pérou: Planète extrême »; French Connection Films, Codex Now, Futura-Sciences et IRD, diffusé sur Ushuaïa TV et TV5 Monde, 3 épisodes, conseillers scientifiques Olivier Dangles (Andes) et X. Lazzaro (Lac Titicaca) :

http://www.terraeco.net/spip.php?page=imprimer&id_article=60166
<http://www.frenchcx.com/fr/portfolio/perou-planete-extreme/>

Documentaire « Expédition Nouveau Monde »; Les Frères La Tullaye, Agence Biglo, diffusé sur France 5 lors de la COP21 à Paris, déc. 2015 : <http://www.lesfrereslatullaye.fr>

Interview « Pollution: Le Lac Titicaca en danger », diffusée sur France Inter, à la RTBF et à France Info, Frédéric Faux, juin 2015: <http://www.franceinter.fr/emission-ailleurs-pollution-le-lac-titicaca-en-danger>

Reportage audio « Bolivie : l'asphyxie du lac Titicaca », Frédéric Faux, RFI, Sept. 2015 : <http://www.rfi.fr/emission/20151003-2-bolivie-lac-titicaca-asphyxie>

Contacts de quelques membres du consortium du GEOVISOR

IIGEO/UMSA - IRD

- Javier NUÑEZ VILLABA, géographe-géomaticien, Directeur de l'Institut de Recherche en Géographie de l'Universidad Mayor de San Andrés (IIGEO/UMSA), Responsable du GEOVISOR, jnunezvillalba@gmail.com

- Xavier LAZZARO, écologiste aquatique-limnologue, IRD/BOREA, co-responsable du GEOVISOR, xavier.lazzaro@ird.fr
- Sylvain LESAGE, ingénieur système, Chef de l'unité d'innovation et développement, ADSIB, slesage@adsib.gob.bo
- Raúl Fernando MOLINA RODRIGUEZ, ingénieur géomaticien, coordinateur général, projet GEOBOLIVIA, rmolina@geo.gob.bo
- Stéphane DEBARD, ingénieur système IRD, HSM et ESPACE Dev, stephane.debard@ird.fr
- Vincent HEURTEAUX, ingénieur système, PDG GEOMATYS SAS, Module CONSTELLATION, vincent.heurteaux@geomatys.com

Pour en savoir plus

Recherches et travaux de l'IRD et de ses partenaires sur la page Web de la Représentation IRD en Bolivie :

<http://www.bolivie.ird.fr/content/advancedsearch?SearchText=titicaca+&SubTreeArray%5B%5D=19147>

/OBLT-Axe transversal-BOREA.docx