



**HAL**  
open science

## Écosystèmes sensibles de haute montagne: lacs et tourbières

Blas Valero Garcés, David Amouroux, Laure Gandois, Didier Galop, Gaël Le Roux, Lluís Camarero, Jordi Catalan, Jesus Miguel Santamaria, David Elustondo, Alberto de Diego, et al.

► **To cite this version:**

Blas Valero Garcés, David Amouroux, Laure Gandois, Didier Galop, Gaël Le Roux, et al.. Écosystèmes sensibles de haute montagne: lacs et tourbières. Le changement climatique dans les Pyrénées: impacts, vulnérabilités et adaptation Bases de connaissances pour la future stratégie d'adaptation au changement climatique dans les Pyrénées, 2018, 978-84-09-06268-3. hal-02461479

**HAL Id: hal-02461479**

**<https://hal.science/hal-02461479v1>**

Submitted on 30 Jan 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

## 2.5. Écosystèmes sensibles de haute montagne: lacs et tourbières

**Coordinateurs:** Blas Valero Garcés (IPE-CSIC)

**Auteurs et co-auteurs:** David Amouroux (U. Pau- Pays de L'Adour), Laure Gandois (EcoLab, CNRS, UPS, INPT), Didier Galop (EcoLab, CNRS, UPS, INPT), Gaël Le Roux (EcoLab, CNRS, UPS, INPT), Lluís Camarero (CEAB-CSIC), Jordi Catalán (CSIC-UAB), Jesús Miguel Santamaría (U. Navarra), David Elustondo (U. Navarra), Alberto de Diego (UPV-EHU), Ana Moreno (IPE-CSIC) Fernando Barreiro-Lostres (IPE-CSIC), Pilar Mata-Campo, (IGME), Pablo Corella (IFQSH-CSIC) Penélope González-Sampériz (IPE-CSIC), Anna Avila Castells (CREAF-UAB), Olaia Liñero, (UPV-EHU), Marisol Felip (CREAF-UB).

### RÉSUMÉ

Les lacs et les tourbières de haute montagne sont des éléments emblématiques des paysages pyrénéens. Ils sont très vulnérables aux changements climatiques et à l'augmentation des pressions humaines. Depuis des millénaires, ils jouent un rôle essentiel de maintien de la biodiversité, contribuent au stockage de carbone, constituent des ressources en eau. Ces zones humides ont constitué des lieux nécessaires pour l'activité pastorale et plus récemment elles sont devenues des ressources touristiques. Leur conservation dans le cadre d'un développement durable des montagnes est un défi et une occasion de sensibiliser le public aux effets du changement global sur ces territoires considérés à tort comme vierges de tout impact humain.

### 2.5.1. Caractéristiques des lacs et tourbières pyrénéens

Les lacs et tourbières de haute montagne dans les Pyrénées sont des éléments emblématiques du paysage pyrénéen, vulnérables aux récents changements climatiques et à l'augmentation de la pression humaine. Plus d'un millier de lacs de haute montagne ont été inventoriés dans les Pyrénées en fonction de divers critères d'altitude et de superficie (Castillo-Jurado, 1992 - superficie > 0,5 ha dans les étages de montagnes et alpins, principalement entre 2000 et 2500 m d'altitude). Les 17 plus grands lacs (le plus grand étant de 0,3 km<sup>2</sup>) ont une surface totale de 7,87 km<sup>2</sup>. Selon l'inventaire de Jurado Castillo (1992), le 75% des lacs ont une superficie de moins de 0,04 km<sup>2</sup> et leur bassin versant varie en superficie entre 0,1 km<sup>2</sup> (Gentianes, GavePau) et 32,6 km<sup>2</sup> (Bains Panticosa Gallego), avec une moyenne de 1,67 km<sup>2</sup>. En ce qui concerne la profondeur, deux types de lacs se distinguent: relativement peu profonds (< profondeur maximale de 10 à 15 m) et profonds (> 15 m). Au total il existe 90 lacs avec des profondeurs supérieures à 25 m, dont 47 dépassent les 40 m de profondeur.

Les tourbières sont des écosystèmes caractérisés par une accumulation de matière organique (turfigénèse) du fait des conditions anoxiques dues à une saturation en eau du milieu. Dans les Pyrénées, les tourbières sont généralement des bas-marais minérotrophes alimentées par les eaux de surface ou par les eaux souterraines. Leur formation dépend de la topographie et des conditions hydro-climatiques. Le retrait des glaciers à la fin de la dernière déglaciation a favorisé la formation de larges tourbières qui ont rempli les dépressions disponibles et accumulé de la matière organique jusqu'à aujourd'hui. Les petites tourbières de haute altitude sont généralement plus récentes et se

sont par ex. formées dans des dépressions laissées par les activités humaines passées ou par paludification. Il n'existe pas d'inventaire exhaustif des tourbières des Pyrénées pour l'ensemble du Massif. Elles semblent moins nombreuses que dans d'autres montagnes au climat Atlantique similaire (Heras *et al.*, 2017). En particulier, les informations sur les petites tourbières (<1 ha) sont très limitées quoique potentiellement abondantes et associées à des petits lacs de montagne. Il existe également des tourbières développées à basse et moyenne altitude comme les tourbières en Navarre (Atxuri, Belate, Gesaleta et Baltsagorrieta) ou côté français dans les Pyrénées centrales (par ex. Bernadouze, et col d'Ech). Les données existantes sur l'épaisseur de tourbe accumulée dans ces écosystèmes au cours des derniers milliers d'années sont limitées à quelques endroits, de sorte qu'il n'y a pas d'estimation fiable du réservoir de carbone accumulé par celles-ci. La dynamique de ces écosystèmes de montagne originaire initialement du retrait glaciaire quaternaire est fortement conditionnée aux processus de la cryosphère dans leurs bassins versants (enneigement, fonte des neiges, dynamique des névés et du permafrost). Les caractéristiques de ces lacs et tourbières (haute altitude, hautes radiations solaires dont UV, ultra-oligotrophie due à la pénurie en nutriments, températures basses, présence d'une couche de glace pendant plusieurs mois, etc.) les rendent très sensibles au facteur climatique (régimes de température et de précipitations, vent, etc.) (Fig. 2.5.1). D'un côté, ces "sentinelles" des changements globaux situés sur le territoire pyrénéen sont extrêmement sensibles aux fluctuations climatiques et environnementales ainsi que la dégradation de leur bassin versant. D'un autre côté, elles sont des archives environnementales avec leurs

sédiments qui enregistrent les signaux des paysages, des évolutions des écosystèmes aquatiques ainsi que les processus biotiques et abiotiques ayant eu lieu dans les derniers mois et millénaires.

Les lacs et les tourbières fournissent des services au territoire pyrénéen au-delà leur qualité d'indicateurs du changement global. Au cours des dernières décennies, l'économie de nombreuses zones de montagne est devenue de plus en plus dépendante des activités touristiques liées aux sports d'hiver et à la randonnée estivale. Certains éléments uniques aux hautes montagnes tels que les glaciers, les ibones, les tourbières et les écosystèmes de la toundra alpine sont des éléments iconiques indispensables aux économies locales, avec toutefois des degrés de protection et mesures de conservation variables dans les différents territoires pyrénéens. Compte tenu de la grande importance des ressources en eau de haute montagne et de ces éléments paysagers singuliers pour de multiples secteurs (tourisme, agriculture, production d'énergie, environnement, approvisionnement en eau, etc.), la qualité des services fournis par les lacs et tourbières dépend directement des réponses de la cryosphère-hydrosphère-biosphère au changement climatique sur le territoire pyrénéen. La haute

montagne est le château d'eau, la centrale électrique et le terrain de jeu de tous les territoires pyrénéens, une région avec des besoins croissants en ressources hydriques et énergétiques pour la consommation agricole et humaine.

### 2.5.2. Processus dans les lacs et tourbières de haute montagne dans un contexte de changement climatique

Les processus biogéochimiques dans les lacs et les tourbières de haute montagne sont déterminés par la nature extrême de ces habitats (Catalan et al., 2006). Les agences territoriales, les agences de l'eau et les services ministériels d'Espagne, de France et d'Andorre maintiennent des programmes d'analyse pour vérifier l'état écologique de certains lacs des Pyrénées (CHE: <http://www.chebro.es/>; ACA: <http://aca-web.gencat.cat/>) Les eaux de haute montagne sont généralement très pauvres, avec une très faible teneur en sels dissous, oligotrophe et avec une grande transparence. Le type de bassin et le substrat géologique sont des déterminants de la composition chimique des eaux (formations carbonatées versus siliceuses) et du cycle du carbone (présence de carbone organique dissous associé à l'abondance des

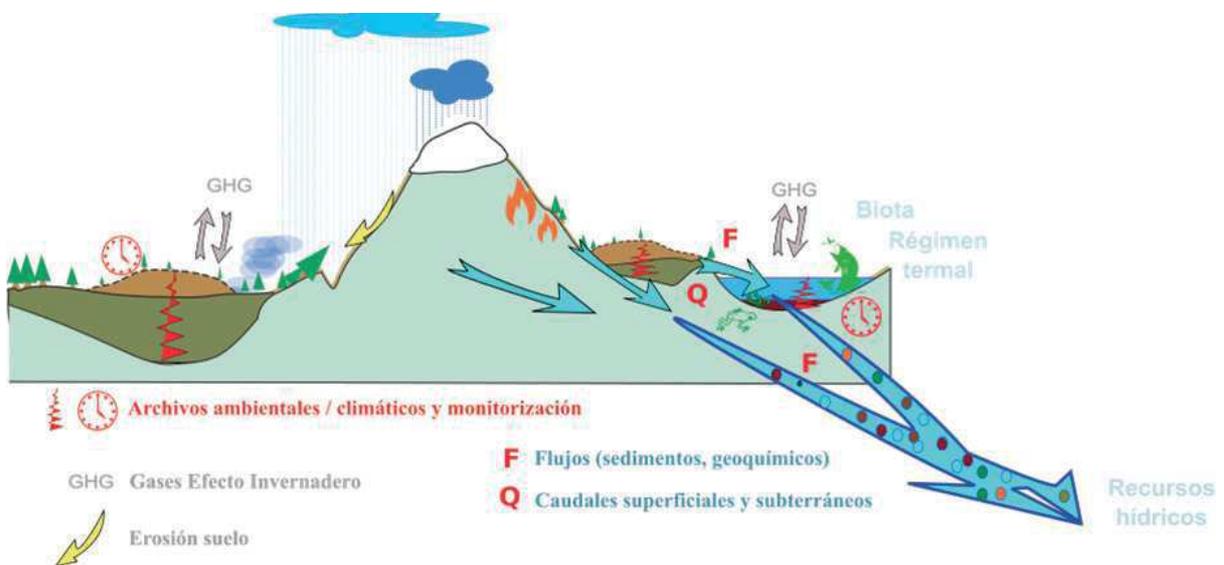


Figure 2.5.1. Cycles biogéochimiques dans les lacs et tourbières de haute montagne

(31) <http://www.chebro.es/>

(32) <http://aca-web.gencat.cat/>

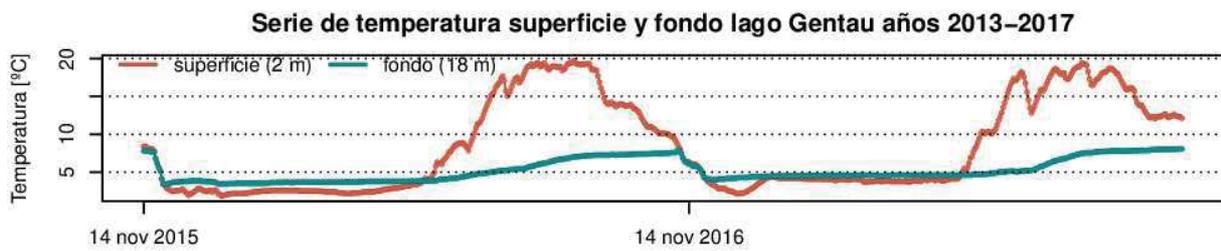
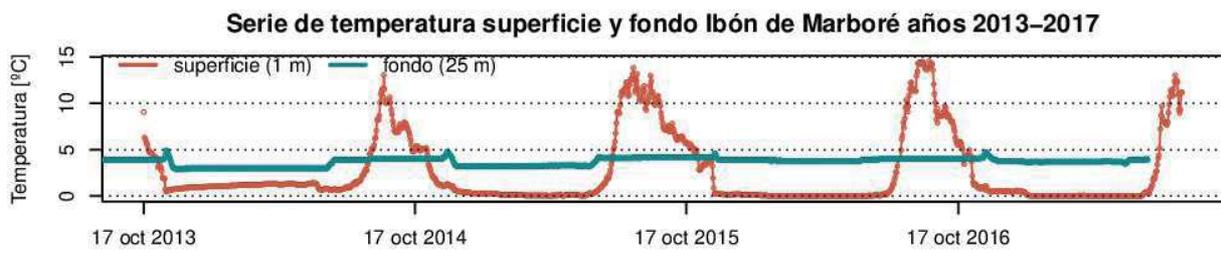
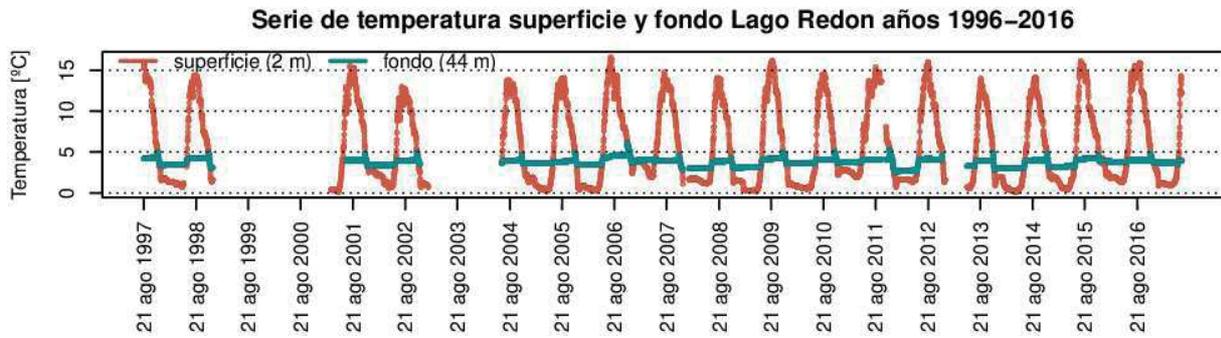


Figure 2.5.2. Profiles de température en surface et profondeur au lac Redon (1969-2016), Marboré (2013-2017) et lac Gentaú (2013-2017). Source : Données issues du projet CLAM-IGME et REPLIM.

## 2.5. Écosystèmes sensibles de haute montagne: lacs et tourbières

sols dans le bassin). Les cycles biogéochimiques sont fortement contrôlés par le substrat (alcalinité, cycle du carbone), micro- et macrobiotes (nutriments) et par les dépôts atmosphériques (nutriments, contaminants). En particulier, le pH de l'eau est l'un des paramètres qui contrôle la présence de certaines microalgues et macrophytes. Le pH dépend de l'alcalinité et est lié au substrat du bassin (Catalan et al., 2006).

Selon une étude réalisée par l'été 2000 (Catalan et al., 2006), 70% des lacs sont ultraoligotrophes TP <4,7 mg L<sup>-1</sup>, 22% oligotrophe (4,7 <TP <9,3 mg L<sup>-1</sup>) et 6% sont mésotrophes (9,3 <TP <31 µg L<sup>-1</sup>). Pendant la saison sans glace, la pénétration de la lumière atteint le fond dans plus de 75% des lacs, ce qui permet le développement de biotes autotrophes. Le rayonnement ultraviolet peut être très élevé dans ces systèmes, bien que leurs effets sur les micro-organismes indiquent des tendances différentes. Lakes et agissent de la tourbe comme accumulateurs dans les sédiments de contaminants organiques et inorganiques (métaux lourds) (Catalan et al., 1993; Camarero, 2003, Le Roux et al., 2016). Plus de 75% des lacs étudiés (Camarero, 2003) montrent des facteurs d'enrichissement des métaux supérieurs à 1,5 démontrant l'effet de la pollution atmosphérique en haute montagne, plus élevé dans les Pyrénées centrales et orientales que dans les pays occidentaux (Fig. 2.5.3A).

Les sédiments dans divers lacs montrent que les dépôts

atmosphériques de métaux lourds ont été importants à l'époque romaine, médiévale et contemporaine associés à l'activité minière et métallurgique et a diminué depuis la fin du XXe siècle, avec une réduction Pb essences (Camarero et al., 1998). D'autre part, les autres polluants organiques ont augmenté au cours des dernières décennies (Arellano et al., 2015). Les lacs pyrénéens ont subi une acidification modérée en raison des pluies acides produites durant la seconde moitié du XXe siècle (Camarero, 2017). Les cycles physiques annuels dans les lacs et tourbières montrent une grande variabilité saisonnière, selon la disponibilité de l'eau, régime de température saisonnière et les périodes de couverture de glace. Les cycles biologiques suivent le même schéma saisonnier, avec différentes phases de productivité maximale des communautés phytoplanctoniques (Camarero et al., 1999 ; Felip et Catalan, 2000 ; Ventura et al., 2000). Seulement dans certains lacs sont disponibles des séries de mesures limnologiques pluriannuelles (Redon, depuis 1996, Marboré depuis 2013, fig. 2.5.2, à partir de Sánchez et al., 2017). Les tourbières sont des écosystèmes essentiels dans l'hydrologie et le cycle du carbone dans les zones de montagne (Parish et al., 2008). En eux, le carbone est stocké par l'accumulation de matière organique et agit comme des filtres pour l'eau (polluants, matière organique, particules du sol) qui assurent la qualité de l'eau dans les eaux d'amont des bassins hydrologiques. Malgré leur extension

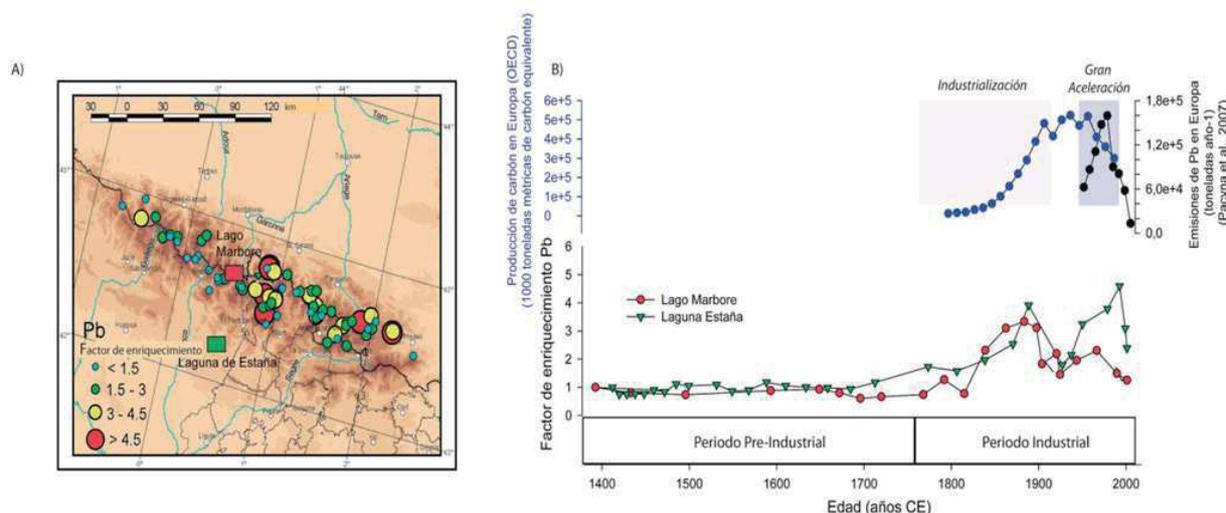


Figure 2.5.3. A. Distribution géographique du facteur d'enrichissement en plomb dans les sédiments de surface des lacs des Pyrénées. B. Facteurs d'enrichissement en métaux lourds dans les lagunes de Marboré et d'Estaña au cours des 600 dernières années. Source : Camarero, 2003

relativement faible, ils apparaissent dans de nombreux bassins et conservent une biodiversité unique. Les tourbières à sphaignes des Pyrénées se situent à la limite sud de leur répartition géographique et sont donc très sensibles aux changements climatiques et anthropiques. Le cycle du carbone dans les tourbières de haute montagne est complexe et non quantifié. Les tourbières sont les écosystèmes terrestres les plus efficaces en tant que réserves de carbone. Les tourbières tempérées contiennent sept fois plus de carbone par hectare que tout autre écosystème. Les tourbières ont accumulé du carbone depuis des millénaires, mais les taux d'accumulation naturels inconnus tout au long de l'Holocène (dernières 11.700 ans), l'anthropocène et les variations possibles du XXe siècle sont inconnues en raison du réchauffement climatique. Un mineur et contrôlé par les processus environnementaux (inondations, feux, etc.) des échelles de temps, des tourbières peuvent potentiellement agir comme émetteurs de CH<sub>4</sub> et de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère ou les bassins versants (sous forme de carbone organique dissous ou particulaire). Enfin, les microenvironnements de ces écosystèmes contiennent une grande biodiversité. Pour connaître la résilience de ces écosystèmes aux changements climatiques et aux pressions anthropiques locales (déforestation, feux pour augmenter les pâturages, etc.), il est nécessaire d'identifier et de quantifier les processus sur une échelle annuelle et saisonnière.

### 2.5.3. Impacts attendus

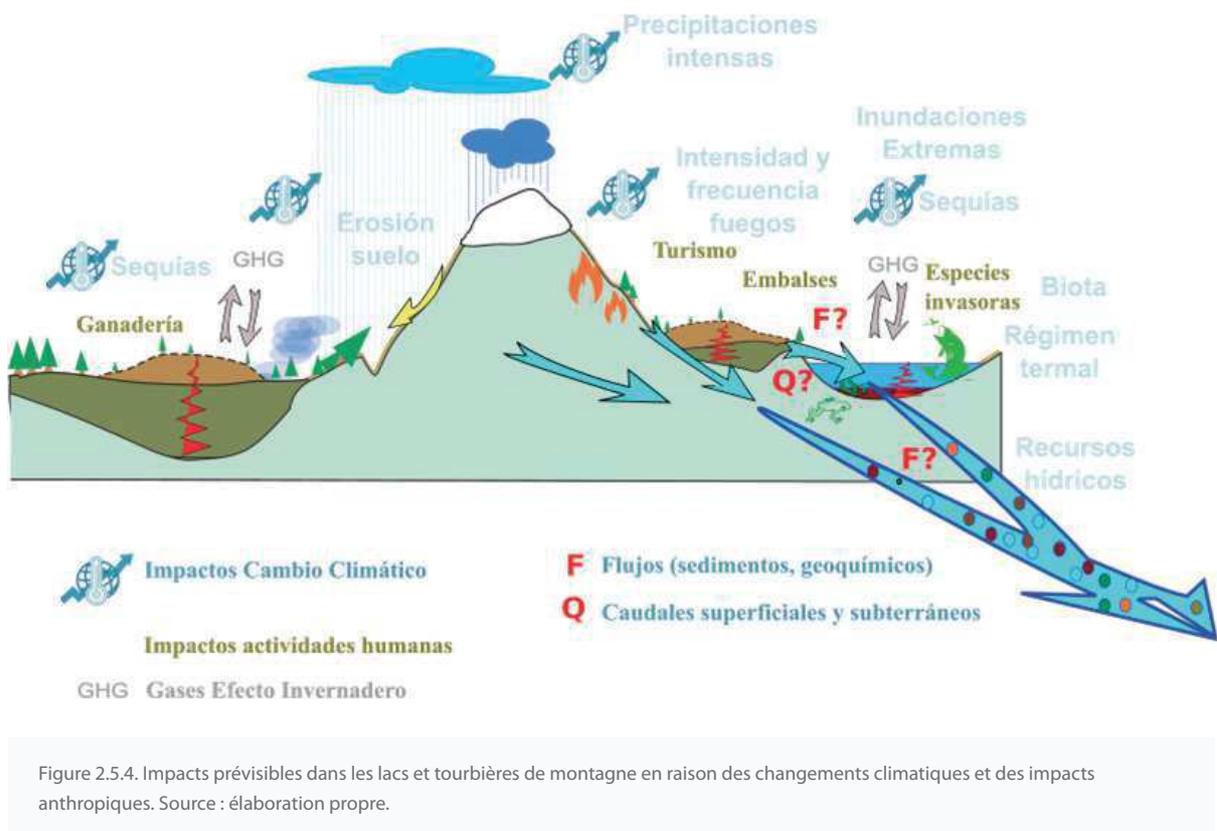
Les zones d'altitude les plus élevées de toutes les montagnes du monde sont des zones où l'incidence du changement climatique est particulièrement élevée. Les principaux impacts attendus sur les lacs et les tourbières de haute montagne et leurs bassins de réception sont liés à l'altération de leurs caractéristiques physico-chimiques et biologiques en réponse à la variation de la disponibilité en eau et à l'augmentation des températures. À ces altitudes, non seulement la température de l'eau est importante, mais aussi la durée de la couverture de glace du lac et le manteau neigeux dans son bassin. Parmi les autres processus ainsi essentiels à caractériser, on compte les changements prévus dans le cycle de mise en glace et de dégel, dans le type et l'abondance de certaines communautés biologiques et dans la composition chimique de l'eau (alcalinité). Dans les bassins versants, la dégradation des névés et la disparition des sols gelés de façon saisonnière (pergélisol) entraînera des changements dans l'hydrologie de surface et la perte de communautés végétales relictuelles. Associés à des lacs et des tourbières, les communautés végétales des zones humides et névés, et de nombreuses espèces boréo-alpines à la limite de leur distribution sont

particulièrement vulnérables à tout changement thermique ou modèle de précipitations. Certains services écosystémiques (qualité et quantité d'eau, tourisme) peuvent être affectés également. Les changements dans l'état trophique des lacs de haute montagne ont été détectés dans la plupart des montagnes du monde (Elser *et al.*, 2009 ; Camarero et catalans, 2012) et les causes ont été attribuées à la fois à des changements dans le régime thermique et des vents causés par le changement climatique ainsi que les changements dans les dépôts atmosphériques d'azote et de phosphore liés aux changements dans la circulation synoptique des masses d'air. L'augmentation attendue du rayonnement UV dans les zones de montagne peut avoir un effet important sur les communautés planctoniques des lacs comme le montrent des études dans l'Himalaya et les Alpes (Sommaruga *et al.*, 1999). Des études menées dans les Alpes autrichiennes ont montré que l'effet combiné de ces facteurs rend les lacs dans la gamme d'altitude entre 1500 et 2000 m ultrasensibles aux changements de température et de précipitations, car c'est dans cette gamme d'altitude où les changements dans la durée de couverture de glace et le manteau neigeux sont plus prononcés. En général, les lacs profonds ont une inertie thermique plus élevée, de sorte qu'ils devraient réagir plus lentement aux changements physiques (gradients de température et densité), chimique (salinité, l'alcalinité, pH, nutriments) et biologique (productivité primaire, composition des communautés biologiques). Les impacts attendus sur les lacs et les tourbières des Pyrénées en raison de la variabilité climatique chevauchent ceux causés par les activités anthropiques.

D'un point de vue historique, les lacs des Pyrénées, malgré leur éloignement, ont subi d'importants impacts anthropiques au cours des derniers millénaires. Le dépôt de métaux lourds remonte à l'époque romaine. Ceux qui sont situés à des altitudes plus basses ont vu leurs bassins versants déboisés depuis l'époque médiévale et soumis à une pression plus forte du bétail (González-Sampériz *et al.*, 2016). L'introduction du poisson est aussi une pratique ancienne (premières références au XVe siècle, Miró et Ventura, 2013). Au cours du XXe siècle, les principaux impacts ont été la construction de barrages hydroélectriques et l'augmentation du tourisme et des infrastructures liées aux sports d'hiver et d'été. Les impacts du changement climatique sur ces écosystèmes pyrénéens sont principalement associés aux changements de régimes thermiques. La tendance générale à une augmentation de la température moyenne dans les Pyrénées (2 °C depuis la fin de petit âge glaciaire et avec un taux de 0,2°C / décennie depuis 1950) et la période a diminué avec la couverture de glace est un changement essentiel dans le régime thermique saisonnier des lacs. La plupart des études indiquent que le réchauffement thermique

a causé moins d'accumulation et réduit la durée de la couverture neigeuse dans la plupart des montagnes du monde, il est très probable que cet effet s'accroîtra très nettement dans le futur. Certains modèles (Schneider *et al.*, 2010) prévoient que la température de l'eau de surface des lacs (épilimnion) augmentera de plus de 10°C au cours du 21ème siècle, en accord avec les observations disponibles. Ces projections de changements dans l'hydrologie, la couverture de glace et la température de l'eau dépassent les variations observées dans ces lacs au cours des 11700 dernières années (Holocène). Dans plusieurs lacs pyrénéens (Arreo, Basa de la Mora, Marboré, Montcortès, Redon) étudiés durant les derniers siècles grâce aux sédiments, des changements importants dans le flux de sédiments, la flore (algues, diatomées) et la faune (micro et macro-invertébrés) à la fin du petit âge glaciaire (fin du XIXe siècle) et dans les dernières décennies ont été documentés. Les causes de ces changements sont complexes et peuvent inclure des facteurs climatiques (augmentation de la température) et des facteurs anthropiques (dépôt atmosphérique accru de nutriments). Dans les Pyrénées, le lac Redon est l'un des meilleurs étudiés et montre une nette tendance à la croissance de la température moyenne de l'eau (accélérée au cours des dernières décennies) tout au long du XXe siècle (catalan *et al.*, 2002; III rapport CCC,

2016). Ces changements de température, plus élevés en été et en particulier à l'automne, ont favorisé les espèces de diatomées planctoniques de floraison courte à l'automne (*Fragilaria nanana* et *Cyclotella pseudostelligera*) et aussi quelques chrysophytes formant des kystes au printemps. La durée de la couverture de glace contrôle également directement le type de communautés de crustacés planctoniques (Catalan *et al.*, 2009). Il manque de longues séries chronologiques pour enregistrer la dynamique dans le passé récent de ces écosystèmes et il est encore difficile à attribuer les changements observés au cours des dernières années aux fluctuations climatiques, l'impact anthropique ou les synergies attendues entre les deux. Il existe d'autres effets indirects des changements climatiques résultant de la fonte des glaciers et pergélisol persistant (permafrost), en particulier la libération de métaux traces ou de polluants organiques: une des causes est l'augmentation de la mobilisation des matières organiques et des polluants associés (Bacardit et Waiter, 2010). En plus de l'héritage et l'impact continu de certaines métaux traces, les effets du changement climatique peuvent amplifier à la fois leur remobilisation dans les réservoirs de ces écosystèmes en augmentant leurs taux de dépôt et transfert (Le Roux *et al.*, 2016).



Dans les tourbières, les principaux impacts attendus du changement climatique sont: la dégradation des tourbières, la perte de zones inondées, l'inversement de l'effet de puits de carbone et la perte de services écosystémiques. Ces changements affecteront la capacité de ces écosystèmes à être des réservoirs de carbone, des régulateurs de la quantité et de la qualité des eaux et à sauvegarder la biodiversité. L'augmentation de la variabilité dans les précipitations de haute montagne augmentera la fréquence et l'intensité des sécheresses et des inondations, avec des changements possibles dans les zones inondées des tourbières. L'augmentation de la température prolongera la productivité en augmentant la durée de la saison de croissance. Les taux de décomposition de la tourbe augmenteront également, augmentant potentiellement les émissions de CH<sub>4</sub> et de CO<sub>2</sub>. La fusion du pergélisol augmentera probablement aussi les émissions de CH<sub>4</sub> et entraînera une diminution de la concentration de carbone organique dissous dans les fleuves. Les changements hydrologiques affecteront également à la fois l'accumulation et la décomposition de la tourbe et l'émission de gaz à effet de serre, car les surfaces sèches émettent moins de CH<sub>4</sub> et plus de N<sub>2</sub>O et de CO<sub>2</sub>, par opposition aux zones inondées. L'élévation altitudinale de la limite de la forêt à la suite des températures estivales plus élevées peut entraîner l'expansion de la forêt dans les zones de tourbières ouvertes, entraînant une réduction de l'albédo et un renforcement positif du réchauffement de la planète. Une augmentation de la torréalité peut augmenter l'érosion des tourbières, qui en outre peuvent être amplifiées par le drainage et le surpâturage. Des périodes de sécheresse plus intenses peuvent entraîner une augmentation de la fréquence des incendies et de leur intensité, bien que les activités humaines continuent d'être la principale cause des incendies. Les effets combinés du changement climatique et des changements locaux de l'hydrologie auront des conséquences importantes sur la répartition et l'écologie des plantes et des animaux qui habitent ou utilisent les tourbières. Les activités humaines augmentent la vulnérabilité des tourbières au changement climatique. En particulier, le drainage, la combustion ou le surpâturage amplifieront les émissions de carbone.

### 2.5.4. Principaux défis

Les principaux défis pour comprendre et évaluer les effets du changement climatique dans les lacs de haute montagne et les tourbières des Pyrénées sont liés à la complexité des processus biotiques et abiotiques dans ces écosystèmes, aux incertitudes de nos modèles, au manque de séries chronologiques enregistrées, à la variabilité naturelle de ces écosystèmes et à notre

capacité à mettre en œuvre des mesures de gestion. L'un des principaux défis consiste à identifier et évaluer les impacts associés au changement climatique et à la pression anthropique croissante dans ces écosystèmes. D'autre part, nous devons réduire les incertitudes sur les risques plus grands, les effets négatifs possibles et les pressions futures sur les écosystèmes de haute montagne des Pyrénées. Le manque d'informations détaillées sur les caractéristiques de ces écosystèmes (des inventaires détaillés à la quantification des processus biogéochimiques) rend impossible l'estimation de la résilience de ces systèmes de montagne face aux pressions du changement climatique et anthropique. Enfin, ces écosystèmes doivent être inclus dans la gestion intégrale du territoire pour garantir leur conservation et l'utilisation durable des ressources de montagne.

### 2.5.5. Conclusions et recommandations

En dépit de l'éloignement des principales sources des activités humaines, l'impact des changements climatiques sur les lacs et les tourbières des systèmes de haute montagne est difficile à distinguer des effets des activités humaines (tourisme, dépôt des éléments nutritifs, l'utilisation des ressources en eau, etc ...). Bien que l'impact humain puisse être décisif dans certains cas, l'augmentation de la température peut mettre ces systèmes de haute montagne dans une situation de risque plus élevé, en soumettant les communautés biologiques à un niveau de stress plus élevé. Du point de vue du biote, la plasticité phénotypique des communautés lacustres et des tourbières peut leur permettre de mieux s'adapter aux fluctuations climatiques et environnementales. Il est important d'analyser les impacts potentiels d'un point de vue holistique qui inclut de nombreux facteurs climatiques tels que anthropique, global (dépôt de pollution par les nutriments) et locales (effets spécifiques du tourisme dans chaque région). L'adaptation et l'atténuation des effets du changement climatique sur les systèmes lacustres et les tourbières de haute montagne doivent comprendre les effets associés au changement global afin de les réduire autant que possible. Les lacs et les tourbières des Pyrénées sont des éléments uniques, reconnus et valorisés par le public et pouvant favoriser sa participation tant dans leur suivi et leur conservation que dans la compréhension des impacts du Changement Global dans les zones de montagne. Parmi les mesures générales pour la gestion durable des lacs et des tourbières et leur adaptation aux éventuels effets négatifs des changements globaux, nous pointons les points suivants:

### Mesures *soft* <sup>33</sup>

- Développer des groupes de travail pluridisciplinaires, transfrontaliers et stables à long terme, composés de représentants de tous les groupes d'intérêt (mairies, entreprises touristiques, sociétés hydroélectriques, autorités régionales, scientifiques, associations environnementales, ONG, etc.) pour guider le débat sur les effets du changement climatique - et anthropique - sur ces écosystèmes vulnérables grâce à des modèles d'observation participatifs.
- Établir et maintenir des réseaux d'observation et de suivi détaillé de ces écosystèmes et promouvoir des projets intégrés avec la participation de tous les agents du territoire.
- Inclure dans les plans de gestion des espaces naturels les risques associés au changement climatique.

### IDÉES CLÉS

- Les lacs et les tourbières sont des écosystèmes emblématiques des Pyrénées, mais très vulnérables. Leur conservation offre une opportunité de sensibilisation des citoyens aux défis du changement climatique et à la pression anthropique croissante.
- Afin de gérer les effets du changement climatique dans les lacs de haute montagne et les tourbières des Pyrénées, nous avons besoin de stratégies de suivi qui nous permettent de mieux comprendre les processus complexes qui se déroulent dans ces écosystèmes et de réduire les incertitudes des modèles.
- Il s'agit également de faire progresser les politiques consensuelles de gestion durable.

### Mesures *vertes* <sup>34</sup>

- Promouvoir un tourisme écologique avec le minimum d'impact sur les espaces protégés et l'intégration maximale des citoyens dans sa conservation. Développer des programmes éducatifs aux niveaux local, régional et transfrontalier pour expliquer les services écosystémiques et leur capacité à agir comme puits de carbone, leur capacité naturelle de rétention d'eau, ainsi que leurs fonctions de protection de la biodiversité et de protection des montagnes contre les phénomènes érosifs.

### Mesures *grises* <sup>35</sup>

- Inciter les entreprises de tourisme dans les montagnes à s'adapter aux objectifs de conservation et de gestion durable de ces écosystèmes.

(33) Les mesures douces ou mesures non structurelles pour réduire les effets négatifs du changement climatique. Cette catégorie de mesures est typiquement représentée par les études de recherche visant à couvrir des lacunes de connaissance ou à enrichir les bases de connaissance sur le changement climatique, ses effets et les secteurs les plus vulnérables. Cette catégorie comprend aussi le développement de méthodologies et de systèmes spécifiques pour réduire les risques inhérents au changement climatique (ex. Développement d'un Early Warning System transfrontalier pour la gestion des vagues de chaleur dans le Massif).

(34) Les mesures vertes ou basées sur les services écosystémiques : ce type de mesures comprend toutes les mesures, bonnes pratiques, études ou initiatives ayant pour principe l'utilisation des services écosystémiques rendus par les différentes ressources naturelles pour pallier les effets négatifs du changement climatique (par ex. pratiques sylvicoles conservatrices pour accroître la capacité des forêts des Pyrénées à réduire les risques hydrogéologiques).

(35) Les mesures grises ou infrastructurelles, sont toutes celles qui basent leur action palliative sur la construction ou la mise en place d'éléments infrastructurels concrets (par ex. construction de digues dans les zones habitées à haut risque d'inondations torrentielles).