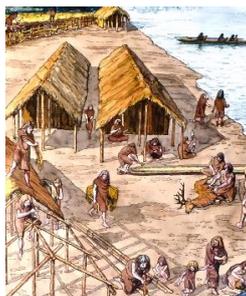


PROJET 2021FA208 – TRAME



208FA/2021 – TRAME (loupV2)

Résumé du projet

L'objectif de ce projet est de retracer l'histoire d'un agro-écosystème de moyenne montagne à partir de l'étude des sédiments du Lac du Loup (1500 m a.s.l., Maurienne). Par rapport aux sites étudiés précédemment et situés dans la même zone altitudinale, le bassin versant du Lac du Loup se distingue par le développement à la fois d'activités pastorales et de cultures alors que seuls des activités pastorales ont été développées sur les autres sites.

Resp : Charline Giguet Covex, EDYTEM , Charline.Giguet-Covex@univ-savoie.fr

Collaborations : voir tab2

Début du projet : 2021

Projet scientifique

Les Alpes ont depuis longtemps attiré les populations humaines en raison de la grande richesse des ressources biologiques et minérales. Avec le développement de l'agriculture, les écosystèmes alpins ont subi des modifications drastiques dans leur état et leur fonctionnement. Ces modifications ont pu affecter en retour le développement des activités humaines en altérant les services écosystémiques tels que la ressource en sol. Dans la continuité des travaux initiés depuis maintenant 10 ans avec le LECA et récemment synthétisés dans le cadre d'un numéro spécial consacré au projet CDP « TRAJECTORIES », l'objectif de ce projet est de 1) retracer la trajectoire d'un agro-écosystème de moyenne montagne à partir de l'étude des sédiments du Lac du Loup (1500 m a.s.l., Maurienne) et 2) de tester le modèle proposé dans notre synthèse. Par rapport aux sites étudiés précédemment et situés dans la même zone altitudinale, le bassin versant du Lac du Loup se distingue par le développement à la fois d'activités pastorales et de cultures alors que seuls des activités pastorales ont été développées sur les autres sites. Ce site offre donc une nouvelle forme de trajectoire socioenvironnementale en moyenne montagne à étudier.

Description du projet et des résultats attendus

- Contexte scientifique et/ou technologique, objectifs du projet et positionnement sur les scènes locale, nationale et internationale (1 page)

A partir du Néolithique, le développement des activités humaines, notamment agro-pastorales, a conduit à de fortes interactions entre les hommes et leur environnement. Ces activités humaines, qui se sont intensifiées et diversifiées au fil du temps, ont impacté la dynamique des écosystèmes à différents degrés selon les paramètres et les contextes considérés^{1,2}. En retour, ces changements environnementaux ont pu affecter les sociétés humaines en modifiant les services fournis par les écosystèmes et se traduire par des réponses adaptatives des sociétés ou amener les populations à subir les changements, allant parfois jusqu'au déclin de civilisations³⁻⁵. Dans le contexte actuel de changements global, il apparaît essentiel de s'intéresser à ces interactions passées pour mieux les comprendre et, *in fine*, considérer l'état actuel des socio-écosystèmes à la lumière de leurs trajectoires passées.

Bien qu'elle puisse apparaître comme un territoire hostile en raison des conditions climatiques difficiles et d'une topographie complexe, la montagne a depuis longtemps attiré les populations humaines.

Ces populations ont d'abord développé des activités de chasses et de cueillettes, puis des activités agropastorales et minières. Dans les Alpes du Nord, l'état actuel des connaissances montre que les activités pastorales d'altitude se sont fortement développées à partir de l'Age du Bronze, ce qui a entraîné des bifurcations dans la trajectoire des paysages et parfois dans la dynamique de l'érosion^{6,7}.

A plus basse altitude,

ce sont à la fois les activités pastorales et de cultures qui ont entraîné des bifurcations dans les trajectoires des paysages et des crises érosives. Ces changements apparaissent plus tardivement que dans les alpages d'altitude, au début du Moyen Age⁷. A partir du Moyen Age Central ou Tardif, une bifurcation vers une phase

d'adaptation dans la dynamique de l'érosion s'opère. Elle est caractérisée par une intensification de l'utilisation des terres mais paradoxalement une baisse de l'érosion, suggérant le développement de nouvelles pratiques permettant de préserver la ressource en sol, telles que la construction de terrasses, la culture d'arbres fruitiers, ou le maintien de zone boisées en sommet de pentes. Ces résultats, basés sur la synthèse

des travaux de recherches menés depuis 10 ans à EDYTEM en collaboration avec le LECA, montrent que la trajectoire millénaire des agro-écosystèmes alpins est complexe, non-linéaire et variable, notamment selon

les zones altitudinales considérées. De cette évolution des agro-écosystèmes en découle des modifications dans les services rendus par les écosystèmes tels que définis par Costanza et al.⁸. Ce concept de services écosystémiques représente un cadre idéal pour apporter des éléments de décision aux gestionnaires en vue

de préserver au mieux les socio-écosystèmes et de trouver l'équilibre entre activités humaines et « Nature ».

Dans ce projet, nous proposons de tester le modèle de trajectoires des agro-écosystèmes alpins construit grâce à notre collaboration entre EDYTEM et le LECA, en intégrant l'étude d'un nouveau site : le système Lac-vassin versant du Loup, situés en Maurienne à une altitude moyenne (lac à 1500 m) et en périphérie de la plateforme eLTSER du Lautaret-Galibier. Ce site présente l'intérêt d'être sur un versant exposé sud permettant le développement d'activités de cultures, contrairement aux sites de mêmes altitudes étudiés précédemment qui étaient en versant Nord et seulement utilisés pour le pastoralisme. Par ailleurs, il a fait l'objet d'une première étude interdisciplinaire, développée dans le cadre du projet CDP « TRAJECTORIES »

(ANR-15-IDEX-02), dont l'objectif était de retracer la trajectoire du système socio-écologique au cours des derniers 500 ans⁹. A plus long terme (année du projet +1), l'objectif sera d'utiliser les reconstitutions paléoenvironnementales acquises au cours de ce projet et celles déjà acquises sur un autre lac en contexte pastorale (Lac de Gers), afin de retracer les trajectoires des services écosystémiques (SE) et de les comparer.

Cette notion de services, issues des communautés d'écologues et d'économistes⁸ a encore été peu appliquée sur le passé¹⁰⁻¹³ et encore moins sur des périodes couvrant plusieurs centaines d'années ou millénaires¹⁴. Pourtant, cet objectif essentiel, notamment pour intégrer les processus « lent » (e.g. formation des sols)¹⁴, fait partie des 50 questions prioritaires en paléoécologie¹⁵.

- Programme scientifique / Méthodologie / Résultats escomptés

En 2019, dans le cadre du projet CDP « TRAJECTORIES », une carotte de plus de 6 m de long a été prélevée dans la zone profonde du lac (6m de fond), à l'aide d'une plateforme UWITEC. Elle a fait l'objet d'une étude sédimentologique et géochimique et 24 restes de végétaux ont été prélevés et datés au radiocarbone.

Seuls 16 dates ont été conservés pour la réalisation du modèle âge-profondeur, auquel s'ajoute l'analyse des radioéléments courtes périodes pour affiner le modèle sur le dernier siècle (Fig. 1). Cette carotte couvre plus de 4000 ans d'histoire et contient des événements instantanés interprétés comme des événements de crues et reflétant la dynamique de l'érosion. Ces résultats montrent une forte augmentation de l'érosion il y a

environ 1500 ans, c'est-à-dire au même moment que sur l'un des lacs précédemment étudiés (La Thuile)^{7,16}, en réponse au développement de la culture des céréales. La question d'un facteur commun expliquant cette réponse de la dynamique de l'érosion se pose. Pour répondre à cette question et de manière générale retracer la trajectoire de l'agro-écosystème, nous nous appuierons sur plusieurs analyses :

1) Des analyses métabarcoding ADN¹⁷ appliqué aux sédiments lacustres, ciblant les plantes¹⁸⁻²¹ et les mammifères²². Ces données permettront de retracer les changements de paysage et de la biodiversité floristique, les activités agro-pastorales, et si les données sur les plantes aquatiques s'avèrent pertinentes, l'état trophique du lac et donc la qualité de l'eau²³.

2) Des analyses palynologiques pour compléter la reconstitution de la végétation en terme taxonomique mais aussi spatiale ; les analyses ADN produisant des informations à l'échelle locale (bassin versant) tandis que les analyses pollen intègrent aussi des informations à l'échelle régionale.

3) Des analyses de spores de champignons coprophiles pour compléter la reconstitution de l'activité pastorale ; les spores de *Sporormiella sp.* étant des indicateurs quantitatifs (mais non-qualitatifs) plus robustes que les analyses ADN de mammifères^{24,25}.

4) Des analyses sédimentologiques et géochimiques (description lithologique, scanner de carotte XRF et Infra Rouge) déjà acquises dans le cadre du projet « TRAJECTORIES » (Fig. 1) seront utilisées pour retracer la dynamique de l'érosion d'un point de vue quantitatif mais aussi qualitatif, grâce à une approche « source-puits », afin de déterminer les sources affectées par l'érosion.

En intégrant toutes ces données, nous pourrons analyser les trajectoires des paysages et de l'érosion et étudier leurs réponses aux activités agro-pastorales ; c'est-à-dire mettre en évidence l'existence de phase de crises,

de résiliences, de résistances ou d'adaptation. La trajectoire des paysages pourra être retracée à l'aide d'analyses statistiques (ACP, NMDS) appliquées aux données de reconstitution de la végétation. A plus long terme, l'objectif sera d'identifier les ES pertinents pour notre agro-écosystème puis de développer des indicateurs issus des données produites par l'approche paléoenvironnementale^{11,12} pour quantifier les services rendus par l'écosystème depuis 4000 ans (e.g. traits fonctionnels des espèces végétales²⁶).

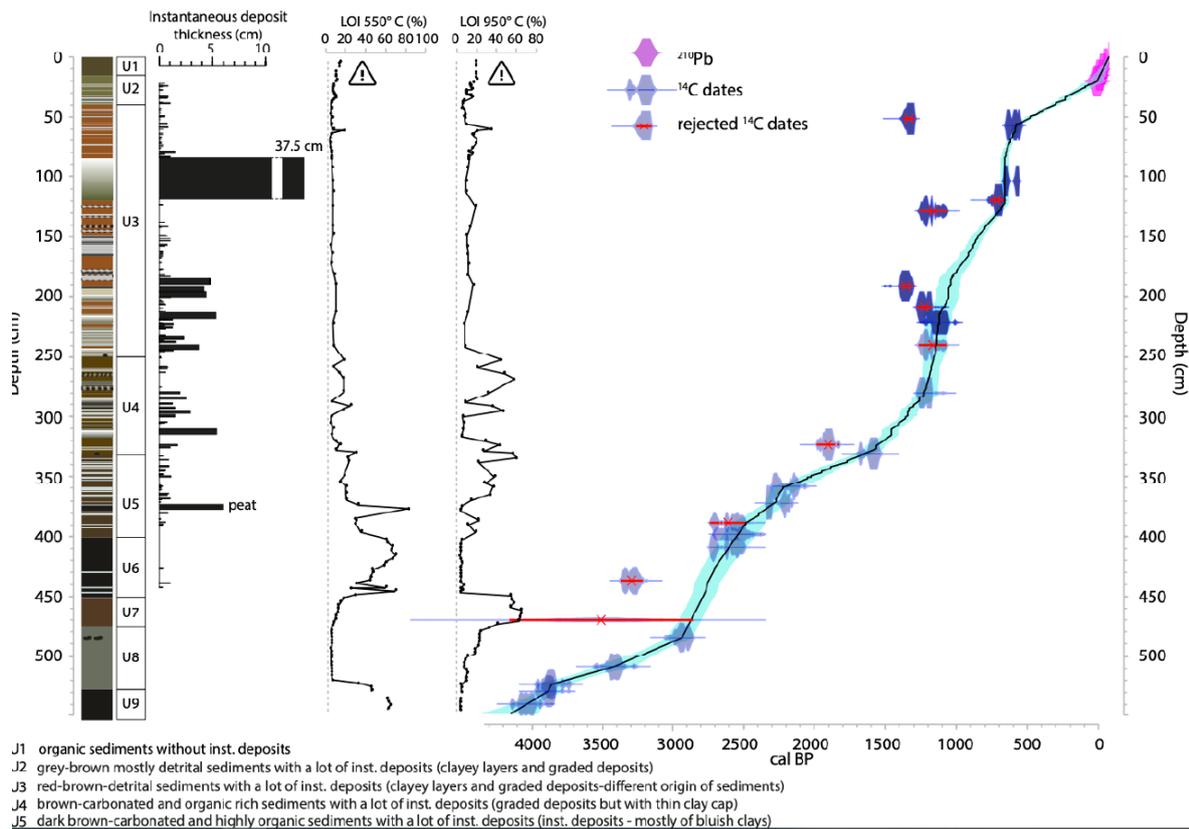


Figure 1. Description lithologique de la carotte du Lac du Loup et modèle d'âge.

Références

1. Ellis, E. C., Fuller, D. Q., Kaplan, J. O. & Lutters, W. G. Dating the Anthropocene: Towards an empirical global history of human transformation of the terrestrial biosphere. *Elem. Sci. Anthr.* **1**, 000018 (2013).
2. Crutzen, P. J. The "anthropocene". *J. Phys. IV Proc.* **12**, 1–5 (2002).
3. McAuliffe, J. R. et al. Pre-columbian soil erosion, persistent ecological changes, and collapse of a subsistence agricultural economy in the semi-arid Tehuacan Valley, Mexico's 'Cradle of Maize'. *J. Arid Environ.* **29** (2001) doi:doi:10.1006/jare.2000.0691.
4. Kolata, A. L. The Technology and Organization of Agricultural Production in the Tiwanaku State. *Lat. Am. Antiq.* **2**, 99–125 (1991).
5. Ladefoged, T., Stevenson, C., Vitousek, P. & Chadwick, O. Soil Nutrient Depletion and the Collapse of Rapa Nui Society. *Antiquity* **19**, 7 (2005).
6. Gilck, F. & Poschlod, P. The origin of alpine farming: A review of archaeological, linguistic and archaeobotanical studies in the Alps. *The Holocene* 095968361985451 (2019) doi:10.1177/0959683619854511.
7. Giguët-Covex, C. et al. Mountain agro-ecosystems long-term trajectories in the North Western Alps. *Quat. MDPI* 1–28 (submitted).
8. Costanza, R. et al. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosyst. Serv.* **28**, 1–16 (2017).
9. Elleaume, N. et al. An interdisciplinary approach to reconstruct the multi-century trajectory of a socio-ecological system in the French Alps. *Quat. MDPI* (submitted).

10. Egarter Vigl, L., Tasser, E., Schirpke, U. & Tappeiner, U. Using land use/land cover trajectories to uncover ecosystem service patterns across the Alps. *Reg. Environ. Change* **17**, 2237–2250 (2017).
11. Lin, Q. Integrating long-term dynamics of ecosystem services into restoration and management of large shallow lakes. *Sci. Total Environ.* **10** (2019).
12. Locatelli, B., Lavorel, S., Sloan, S., Tappeiner, U. & Geneletti, D. Characteristic trajectories of ecosystem services in mountains. *Front. Ecol. Environ.* **15**, 150–159 (2017).
13. Dearing, J. A. *et al.* Extending the timescale and range of ecosystem services through paleoenvironmental analyses, exemplified in the lower Yangtze basin. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **109**, E1111–E1120 (2012).
14. Dearing, J. A., Braimoh, A. K., Reenberg, A., Turner, B. L. & van der Leeuw, S. Complex Land Systems: the Need for Long Time Perspectives to Assess their Future. *Ecol. Soc.* **15**, (2010).
15. Seddon, A. W. R. *et al.* Looking forward through the past: identification of 50 priority research questions in palaeoecology. *J. Ecol.* **102**, 256–267 (2014).
16. Bajard, M. *et al.* Progressive and regressive soil evolution phases in the Anthropocene. *CATENA* **150**, 39–52 (2017).
17. Taberlet, P., Coissac, E., Pompanon, F., Brochmann, C. & Willerslev, E. Towards next-generation biodiversity assessment using DNA metabarcoding: NEXT-GENERATION DNA METABARCODING. *Mol. Ecol.* **21**, 2045–2050 (2012).
18. Taberlet, P. *et al.* Power and limitations of the chloroplast trnL (UAA) intron for plant DNA barcoding. *Nucleic Acids Res.* **35**, e14–e14 (2007).
19. Pansu, J. *et al.* Reconstructing long-term human impacts on plant communities: an ecological approach based on lake sediment DNA. *Mol. Ecol.* **24**, 1485–1498 (2015).
20. Parducci, L. *et al.* Ancient plant DNA in lake sediments. *New Phytol.* **214**, 924–942 (2017).
21. Alsos, I. G. *et al.* Sedimentary ancient DNA from Lake Skartjørna, Svalbard: Assessing the resilience of arctic flora to Holocene climate change. *The Holocene* **26**, 627–642 (2016).
22. Giguët-Covex, C. *et al.* Long livestock farming history and human landscape shaping revealed by lake sediment DNA. *Nat. Commun.* **5**, (2014).
23. Giguët-Covex, C., Messager, E., Arthaud, F., Gielly, L. & Jenny, J. P. Aquatic plant dynamic and fishes 2440 over the last 1800 years in the Lake Aiguebelette (Northern French Alps). (2019).
24. Etienne, D., Wilhelm, B., Sabatier, P., Reyss, J.-L. & Arnaud, F. Influence of sample location and livestock numbers on Sporormiella concentrations and accumulation rates in surface sediments of Lake Allos, French Alps. *J. Paleolimnol.* **49**, 117–127 (2013).
25. Blanchet, C. *et al.* Vegetation history told by two different narrators: pollen and DNA from Lake Gers (Northern French Alps). *The Holocene* (submitted).
26. Lavorel, S. & Grigulis, K. How fundamental plant functional trait relationships scale-up to trade-offs and synergies in ecosystem services: Plant traits scale to ecosystem services trade-offs. *J. Ecol.* **100**, 128–140 (2012).

Table 2. Personnel impliqué, partenariats

Noms	Statut-Structure	Rôle dans le projet	Disciplines	Compétences	Implications
GIGUET-COVEX Charline	Chercheur (CNRS-EDYTEM)	Porteur du projet	Sédimentologie/géochimie/biologie moléculaire/paléoenvironnementaliste	analyses ADN sédimentaire lacustre, érosion	25%
POULENARD Jérôme	Professeur (USMB-EDYTEM)	Investigateur	Pédologue-Agronome	Erosion, Agrosystems	10%
MESSAGER Erwan	Chercheur (CNRS-EDYTEM)	Investigateur	Palynologue/paléoenvironnementaliste	dynamique de la végétation, paléopaysages, agropastoralisme	10%
ETIENNE David	Enseignant-Chercheur (USMB-CARTEL)	Investigateur	Palynologue/paléoenvironnementaliste	Analyses des spores de champignons coprophiles, agropastoralisme	10%
GIELLY Ludovic	Ingénieur de Recherche (LECA)	Investigateur	Biologie moléculaire	analyses ADN sédimentaire lacustre	10%