

Répartition des sols dans le massif des Sept-Laux

Rôle majeur de la morphologie, effets du pâturage et de la gestion hydro-électrique des lacs

J.-M. Boissier^(1*), G. Sanchez⁽²⁾, J. Félix-Faure⁽²⁾, J. Gaillard⁽²⁾, J.-N. Avriillier⁽²⁾,
et E. Dambrine⁽²⁾

- 1) ECOSYLVE, La Combe 73230 Les Déserts, France
2) Carrel INRAE-USMB, 73376 Le Bourget du Lac, France

* Auteur correspondant : jm.boissier@free.fr

RÉSUMÉ

Cette cartographie des sols du massif des Sept-Laux, en Belledonne, contribue à préciser comment les sols de haute montagne cristalline se mettent en place et évoluent dans le paysage en fonction des usages. Ce massif forme le versant oriental de la vallée du Grésivaudan, entre Albertville et Grenoble. La partie centrale, d'altitude supérieure à 1700 m, est portée par des granites hyper-alcalins. L'activité glaciaire y a creusé de nombreux cirques cernés de moraines, et une haute vallée centrale, à une altitude voisine de 2000 m, où s'aligne le chapelet des lacs des Sept-Laux. Ce noyau granitique est cerné sur ses flancs orientaux et occidentaux par des formations de roches vertes, des micaschistes puis des sédiments à plus basse altitude. Les pentes sont couvertes par des formations périglaciaires et des colluvions.

Les sols dominants de l'étage montagnard sous forêt sont des brunisols oligosaturés et aloctrisols. L'étage subalpin est couvert de pelouses pâturées par les moutons; les landes à éricacées sont peu étendues, et les forêts n'occupent que les pentes fortes et les crêtes rocheuses. La distribution des sols dépend de la fragmentation et de la stabilité du substrat. Les éboulis portent des rankosols peu humifères, les roches moutonnées portent des rankosols humiques tandis que moraines et tabliers d'éboulis stabilisés sont marqués par le processus de podzolisation. Néanmoins, les podzosols typiques, avec un humus de type mor, et un horizon éluviaux cendreaux sont rares. Les humus sont très peu développés, les horizons éluviaux sont sombres et les horizons spodiques non indurés.

À l'étage alpin, rankosols et peyrosols dominent en fonction de la fragmentation et de la stabilité du substrat.

Comment citer cet article :

Boissier J.-M., Sanchez G., Félix-Faure J., Gaillard J., Avriillier J.-N. et Dambrine E., 2022 - Répartition des sols dans le massif des Sept-Laux : Rôle majeur de la morphologie, effets du pâturage et de la gestion hydro-électrique des lacs - *Étude et Gestion des Sols*, 29, 295-308

Comment télécharger cet article :

<https://www.afes.fr/publications/revue-etude-et-gestion-des-sols/volume-29/>

Comment consulter/télécharger

tous les articles de la revue EGS :
<https://www.afes.fr/publications/revue-etude-et-gestion-des-sols/>

La distribution des sols ressemble donc beaucoup à celle décrite par Legros et Cabidoche (1977) dans le massif du Mont-Blanc. Cependant, dans ce dernier massif, les podzosols couvrent une large bande altitudinale au subalpin en face nord. La faible représentation de ce type de sols dans le massif des Sept-Laux est attribuée (1) à la faible extension des landes et forêts subalpines, qui reflète l'intensité du pâturage ovin et (2) à la faible extension des formations morainiques.

La cartographie précise des sols de haute montagne cristalline paraît donc relativement facile, à partir d'une prospection sommaire, si l'on effectue une analyse géomorphologique du paysage. Ces sols sont sensibles aux activités anthropiques, et les impacts actuels de l'élevage et des aménagements hydro-électriques ont tendance à homogénéiser les couvertures pédologiques.

Mots-clés

Alpes, Sols, cartographie, pâturage, aménagement hydro-électrique.

SUMMARY

DISTRIBUTION OF SOILS IN THE SEPT-LAUX MASSIF.

Major role of morphology, effects of grazing and hydroelectric management of lakes

This mapping of the soils of the Sept-Laux massif in the Belledonne region helps to clarify how soils of the high crystalline mountains are established and evolve according to land use. This massif forms the eastern slope of the Grésivaudan valley, between Albertville and Grenoble. The central part, at an altitude of over 1,700 m, is supported by hyper-alkaline granites. Glacial activity has carved out numerous cirques surrounded by moraines, and a high central valley, at an altitude of around 2,000 m, where the string of Sept-Laux lakes is aligned. This granitic core is surrounded on its eastern and western flanks by green rock formations, micaschists, and sediments at lower altitudes. These slopes are covered by peri-glacial formations and slope colluvium.

The dominant soils in the forests of the mountain best are Dystric and Hyperdystric Cambisols.

The subalpine best is covered by grasslands grazed by sheep herds; ericaceous heaths are not widespread, and forests occupy only the steep slopes and rocky ridges. The distribution of soils depends on the fragmentation and stability of the substrate. Scree slopes have Dystric Leptosols, rock outcrops carved by glaciers (roches moutonnées) have Umbric Leptosols, while stabilised moraines and scree slopes are marked by the process of podzolisation. Nevertheless, typical Podzosols with a Mor-type humus and an eluvial ash horizon are rare. The humus are very poorly developed, the eluvial horizons are dark and the spodic horizons are not cemented. In the alpine zone, Lepsols and Hyperskeletal Leptosols dominate, depending on the fragmentation and stability of the substrate.

The distribution of soils is therefore very similar to that described by Legros and Cabidoche (1977) in the Mont Blanc massif. However, in this massif, Podzosols cover a wide altitudinal band on north-facing slopes of the subalpine stage. The low occurrence of this type of soil in the Sept-Laux massif is attributed to (1) the low extension of heaths and subalpine forests, which reflects the intensity of sheep grazing and (2) the low extension of moraine formations.

The precise mapping of soils of high crystalline mountains seems relatively easy, if a geomorphological analysis of the landscape is available. These soils are sensitive to human activities, and the current impacts of livestock farming and hydroelectric developments tend to homogenize the soil covers.

Key-words

Alps, soils, mapping, grazing, hydropower management.

RESUMEN

DISTRIBUCIÓN DE SUELOS EN EL MACIZO DE SEPT-LAUX.

Papel principal de la morfología, los efectos del pastoreo y la gestión hidroeléctrica de los lagos

Esta cartografía de los suelos del macizo de Sept-Laux, en la región de Belledonne, permite aclarar cómo se establecen y evolucionan los suelos de las altas montañas cristalinas en el paisaje en función de los usos. Este macizo forma la vertiente oriental del valle de Grésivaudan, entre Albertville y Grenoble. La parte central, a más de 1.700 m de altitud, se apoya en granitos hiperalcalinos. La actividad glacial ha esculpido numerosos circos rodeados de morrenas y un alto valle central, a unos 2.000 m de altitud, donde se alinea la cadena de lagos de Sept-Laux. Este núcleo granítico está rodeado en sus flancos oriental y occidental por formaciones de rocas verdes, micaesquistos y luego sedimentos a menor altura. Estas laderas están cubiertas por formaciones preglaciares y generalmente están ocupadas por bosques.

Los suelos dominantes en la zona montañosa son Dystric and Hyperdystric Cambisols desarrollados sobre formaciones periglaciales y coluviones de ladera bajo bosque.

El nivel subalpino está cubierto por pastizales pastoreados por ovejas, los brezales ericáceos no son muy extensos y los bosques sólo ocupan las laderas empinadas y las crestas rocosas. La distribución de los suelos depende de la fragmentación y la estabilidad del sustrato. Las laderas de los desprendimientos tienen Dystric Leptosols, las rocas pulidas por los glaciares tienen Humbric Leptosols, mientras que las morrenas estabilizadas y las laderas de los desprendimientos están marcadas por el proceso de podzolización. Sin embargo, son raros los Podzsoles típicos con un humus de tipo Mor y un horizonte eluvial bien desarrollado. El humus está muy poco desarrollado, los horizontes eluviales son oscuros y los horizontes espódicos no están indurados. En la zona alpina dominan los Leptosols, en función de la fragmentación y la estabilidad del sustrato.

La distribución de los suelos es por tanto muy similar a la descrita por Legros y Cabidoche (1977) en el macizo del Mont Blanc. Por tanto, en esta zona, los Podzsoles cubren una amplia franja altitudinal en el subalpino. La escasa representación de este tipo de suelos en el macizo del Sept-Laux se atribuye a (1) la escasa extensión de los brezales y bosques subalpinos, que refleja la intensidad del pastoreo de ovejas y (2) la escasa extensión de las formaciones morrénicas.

Por lo tanto, la cartografía precisa de los suelos de las altas montañas cristalinas parece relativamente fácil, a partir de un estudio sumario, si se dispone de un análisis geomorfológico del paisaje. Estos suelos son sensibles a las actividades humanas, y los impactos actuales de la ganadería y los desarrollos hidroeléctricos tienden a homogeneizar las coberturas del suelo.

Palabras clave

Alpes, suelos, cartografía, pastoreo, desarrollo hidroeléctrico.

INTRODUCTION

L'effet de l'altitude sur la végétation est classiquement synthétisé par la notion d'étage de végétation. Elle induit un gradient décroissant de température, et un gradient croissant de pluviométrie qui provoquent un allongement de la période d'enneigement et une réduction de la durée de la période de végétation.

Dans les Alpes du Nord, les hêtraies-sapinières (Alpes externes) et sapinières ou pessières (Alpes internes) dominant l'étage montagnard. À l'étage subalpin, à partir d'environ 1700 m d'altitude, les peuplements sont enrichis en ligneux bas (*Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium uliginosum*, *Rhododendron ferrugineum*, *Juniperus communis*...) formant des landes qui s'étendent pour dominer l'étage subalpin supérieur, tandis que les formations forestières disparaissent. Enfin l'étage alpin se caractérise par l'extension des pelouses et la raréfaction des formations ligneuses (Richard et Pautou, 1982; Ozenda, 1985; Koerner, 1998). Mais la végétation des étages alpin et subalpin et leur limite altitudinale ont considérablement varié au cours de l'holocène, en réponse aux variations associées du climat et de l'usage pastoral de ces espaces (Richard et Pautou, 1982; Talon, 2010; Brisset, 2014; Rey *et al.*, 2014; Bajard, 2017).

À cet étagement de la végétation correspond un étagement des types de sols (Bartoli, 1966; Bartoli et Burtin, 1979; Gobat et Guénat 2019). La répartition spatiale des sols de montagne cristalline a été étudiée en France par de nombreux auteurs (*in*

Jamagne, 2011). Dans les Alpes et les Pyrénées, elle est régie par (a) l'altitude équivalente, facteur climatique qui rassemble l'altitude, l'exposition et la végétation, (b) l'usage des sols (Dambrine, 1981), et (c) le substrat dynamique (Legros et Cabidoche, 1977; Cabidoche, 1979). Ce dernier concept associe la lithologie du matériau parental, qui conditionne la texture et la minéralogie, la topographie, qui conditionne la dynamique de l'eau, et la stabilité du substrat (Dambrine, 1985) qui régit le temps laissé à la pédogénèse.

Cette étude a pour objectif de préciser les règles de répartition des sols dans le massif de Belledonne, dans le cadre du programme IGCS de cartographie des sols, et, plus précisément, de son volet Connaissance Pédologique de la France (CPF; Richer-de-Forges *et al.*, 2014).

Cependant, elle avait été initiée lors de l'étude écologique et paléo-écologique des lacs du secteur des Sept-Laux (Felix-Faure, 2018; Felix-Faure *et al.*, 2022). En effet, les sédiments lacustres fournissent une archive illustrant l'évolution écologique des lacs, laquelle est influencée par celle des paysages et des sols (Mourrier *et al.*, 2010; Poulénard, 2011; Bajard 2017). Cette archive est complexe, et nécessite d'être contrôlée par une analyse précise de l'organisation et de la distribution des sols. Nous nous attarderons donc sur les arguments montrant comment les sols et la végétation de ces bassins-versants lacustres ont été transformés par l'élevage, et plus récemment, comment les bordures littorales des lacs ont été modifiées par l'activité hydro-électrique.

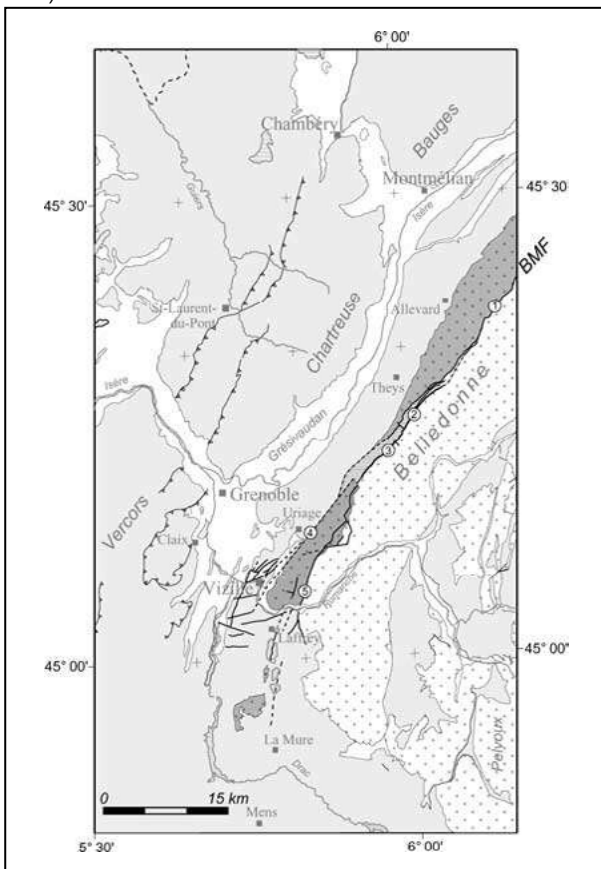
MATÉRIELS ET MÉTHODES

Géologie et lithologie

La chaîne de Belledonne forme la bordure orientale de la vallée du Grésivaudan, entre Albertville et Grenoble (Figure 1). C'est l'un des grands massifs cristallins des Alpes externes françaises. Il s'inscrit entre les massifs des Aiguilles Rouges et du Mont-Blanc au Nord, et les massifs des Écrins et du Mercantour au

Figure 1 : Localisation du Massif de Belledonne et des Sept-Laux : carte tectonique simplifiée (blanc = Dépôts quaternaires ; grisé = Mésozoïque et Cénozoïque ; motif en croix sur fond blanc = rameau interne de Belledonne ; motif en croix sur fond sombre = rameau externe de Belledonne ; hachures horizontales = Carbonifère de Belledonne) (Thouvenaud et al., 2003).

Figure 1: Location of the Massif de Belledonne and Sept-Laux: simplified tectonic map (white = Quaternary deposits; shaded = Mesozoic and Cenozoic; cross pattern on white background = internal branch of Belledonne; cross pattern on dark background = branch exterior of Belledonne; horizontal hatching = Carboniferous of Belledonne) (Thouvenaud et al., 2003).



Sud. Cet ensemble est composé essentiellement de granites et de gneiss. La partie centrale de la chaîne de Belledonne correspond au massif des Sept-Laux, qui culmine à près de 3000 m d'altitude. Il s'insère entre, au Nord, les massifs de La Lauzière et du Grand Arc, et au Sud, les massifs des Grandes Rousses et du Taillefer.

La zone d'étude est comprise dans un quadrilatère délimité par le col du Glandon au Nord-Est, Theys au Nord-Ouest, le Rivier d'Allemont au Sud et Froges au Sud-Ouest (Figure 2). Elle représente une surface approximative de 107 km² pour une altitude moyenne de 2100 m environ. La nature des roches se distribue d'ouest en est suivant différentes séries géologiques :

- Les pentes fortes dominant la vallée du Grésivaudan sont couvertes de larges épandages de matériaux morainiques indifférenciés, suivis d'alternances leptynites/amphibolites (au niveau des stations du Pleynet, de Pipay et de Prapoutel), puis de gneiss riches en micas (comme on en trouve au Pic de la Belle Etoile).

- Un pluton de granite leucocrate plus dur occupe l'ensemble de la zone centrale correspondant au secteur des Sept-Laux. On y distingue une zone axiale, aux abords immédiats des lacs, constituée de granite monzonitique à grain moyen, très pauvre en Ca, Mg et Fe, puis une large enveloppe (correspondant aux pentes des rives ouest et est) formée par un granite clair, à biotite et à muscovite, dont le grain est variable, mais qui contient des enclaves de roches sombres (« vaugnerites », rapportables à des diorites potassiques), riches en biotite.

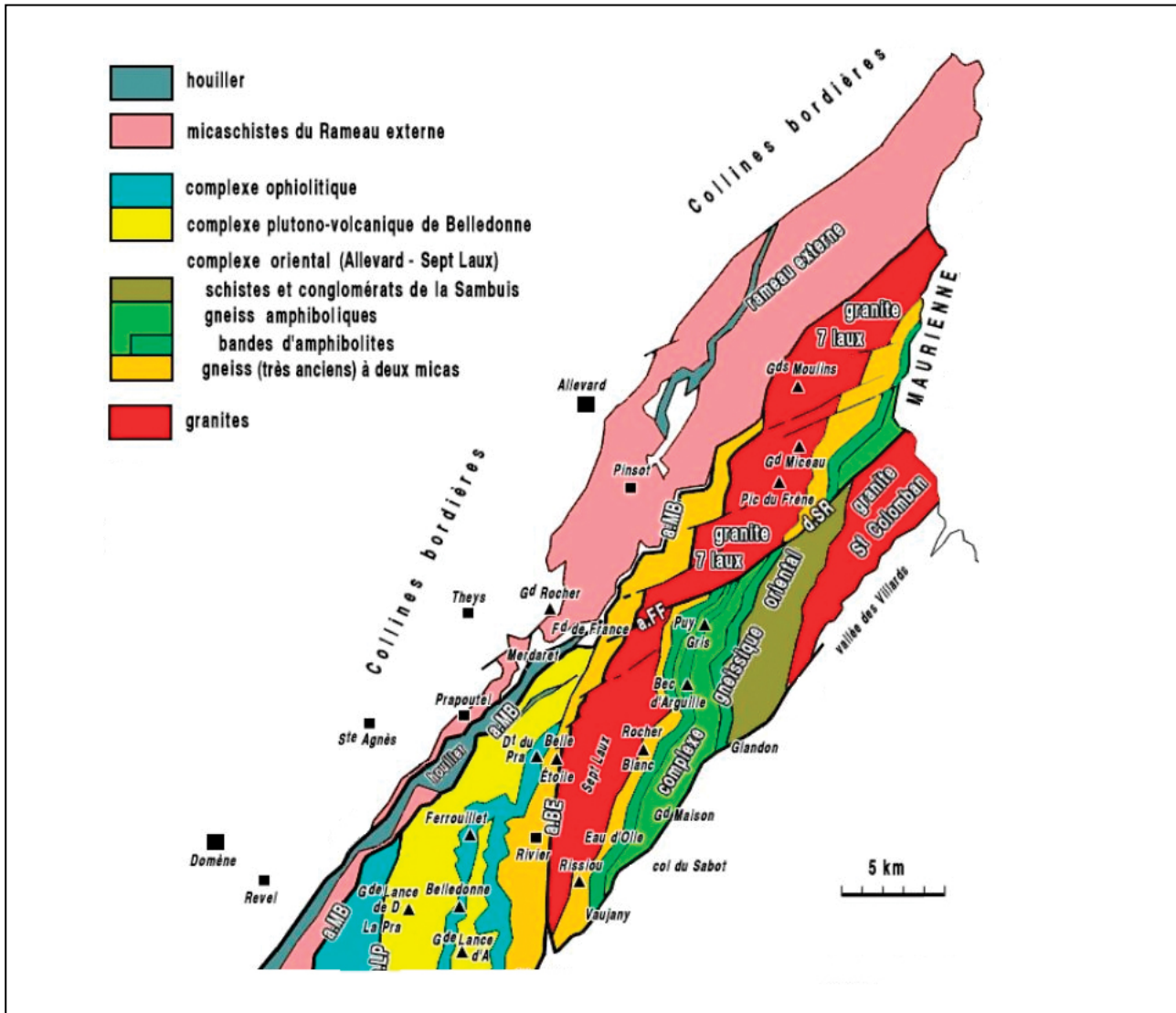
- À l'est, des gneiss à biotites forment les principaux sommets, (comme les Aiguilles de l'Argentière) en alternance avec des amphibolites. À noter au nord-est, la proximité des roches sédimentaires liasiques, présentes au niveau du secteur du col de la Croix de Fer. Bien que peu présentes sur notre zone d'étude, ces formations carbonatées ont pu avoir un rôle non négligeable sur les caractéristiques des sols en place sur ces versants est.

Morphologie

D'un point de vue géomorphologique, le relief est très marqué par l'activité glaciaire, bien que les glaciers actuels n'occupent que des espaces très restreints, exclusivement sur les versants Nord des cimes de haute altitude (Aiguilles de l'Argentière, Pic du Rocher Blanc). À partir des crêtes et des sommets, la roche fragmentée alimente en éboulis les versants (Figure 3). De chaque côté de l'axe de ce massif, au-dessus de 1800 m d'altitude, de nombreux cirques glaciaires, aux reliefs adoucis, dominent de fortes pentes. Le fond de ces cirques est souvent occupé par des lacs et des affleurements rocheux qui ont été polis et striés par le passage des glaciers (« roches moutonnées »). Les bas de versants encadrant ces fonds de vallées sont recouverts par des épandages morainiques.

Figure 2 : Cadre géologique général du massif des Sept-Laux (d'après Gidon, 2002).

Figure 2: General geological setting of the Sept-Laux massif (from Gidon, 2002).



Le centre du massif est occupé par une vallée suspendue, orientée Nord-Sud, à près de 2 000 m d'altitude, et reposant sur des granites clairs (Figure 4).

Usage

La zone occidentale du massif est desservie à partir d'Allevard et de Theys par des routes ouvrant sur les stations de Pipet, Pleynet, et Prapoutel, d'où partent les remontées mécaniques du domaine skiable des Sept-Laux. L'activité de ces anciens villages, autrefois essentiellement agricole, est maintenant tournée vers le tourisme et l'exploitation forestière, avec de nombreuses forêts privées et communales.

Les secteurs non occupés par la forêt correspondent à des surfaces en herbe, pâturées par des moutons. L'historique de cette exploitation pastorale est encore mal connu. Par analogie avec d'autres massifs des Alpes du Nord, il est probable qu'initialement, les troupeaux étaient de petite taille et d'origine locale. Avec la généralisation de la transhumance, au XIX^e siècle, la taille des troupeaux a augmenté. Actuellement, la charge en bétail est de 0,7 à 2,4 moutons/ha, ce qui représente une pression de pâturage importante au regard de la surface en herbe et de la brièveté de la saison de végétation. Les moutons sont présents dès le mois de juin sur les parties basses, puis se déplacent vers l'ensemble des étages subalpines et alpines qu'ils parcourent jusqu'à la fin septembre (Margaillan, 2021).

Figure 3 : Cirques glaciaires sur le versant méridional du massif. Les pointillés indiquent les zones fortement pâturées.

Figure 3: Glacial cirques on the southern slope of the massif. Dotted lines indicate heavily grazed areas.



Prospections de terrain

Les prospections de terrain se sont déroulées en deux phases. Les sols de la haute vallée des Sept-Laux ont fait l'objet de prospections entre 2015 et 2019, dans le cadre de l'étude écologique des lacs de Cos et Corne. La deuxième phase a eu lieu en 2019-2021 à l'occasion de la cartographie d'un secteur de référence dans le cadre du programme IGCS.

Au cours de la première phase, les sols des rives des lacs de la partie centrale ont été prospectés préférentiellement dans le but d'étudier l'impact des variations périodiques du niveau des lacs, provoquées par l'activité hydro-électrique (Félix-Faure et al., 2022). La seconde phase de prospection a été réalisée sur la base de transects altitudinaux distribués en fonction des différentes formations géologiques et de l'orientation des versants. Ainsi, près de 120 profils ont été ouverts à la bêche/pioche et décrits. L'épaisseur des horizons, le pourcentage en éléments grossiers, la couleur, la texture et la structure ont été notés sur le terrain.

RÉSULTATS

Remarque : tous les noms de sols cités ci-dessous font référence au Référentiel Pédologique Français (Baize et Girard, 2009).

Étage montagnard

Sur la partie ouest de la zone d'étude

Sur les versants dominant la vallée du Grésivaudan, l'étage montagnard est très fortement occupé par la forêt, avec différentes végétations forestières qui ont largement été décrites (Bartoli, 1966 ; Richard et Pautou, 1982 ; Gensac, 1964).

Dans les zones non soumises aux avalanches, la forêt correspond généralement à une pessière acidiphile, avec une strate herbacée dominée par *Maianthemum bifolium*, *Deschampsia flexuosa*, *Luzula sieberii*...

La couverture pédologique correspond à des brunisols oligosaturés et à des aloclisols, développés sur les formations périglaciaires ou des éboulis atterris. Ces sols ont une profondeur fortement liée au degré de fragmentation du substrat. Ils sont caractérisés par une richesse variable en éléments grossiers, et des textures à dominante limoneuse à limono-sableuse. Les brunisols oligosaturés sont caractérisés par une structure polyédrique subanguleuse, voire grumelleuse, et des humus de type « mull peu actifs ». Les aloclisols ont une structure microagrégée et des humus de type moder. À noter que cette distinction morphologique est parfois assez délicate, l'horizon S pouvant avoir une structure microagrégée et l'horizon A une structure polyédrique.

Figure 4 : La vallée glaciaire centrale, suspendue à 2000 m d'altitude, du massif des Sept-Laux, avec le chapelet des lacs de Sagne, Corne, Jéplan, Cos, Cottepens, La Motte, Carré (du premier au dernier plan). La zone centrale ainsi que les pentes reposent sur des granites clairs, tandis que les sommets sont formés de gneiss.

Figure 4: The central glacial valley, suspended at an altitude of 2000 m, of the Sept-Laux massif, with the string of lakes of Sagne, Corne, Jéplan, Cos, Cottepens, La Motte, Carré (from the first to the last plan). The central zone as well as the slopes rest on light granites, while the summits are formed of gneiss.



Les versants soumis aux avalanches ou aux éboulis sont colonisés par des formations pionnières à Erable sycomore, la strate herbacée étant dominée par des hautes herbes (*Cicerbita alpina*, *Impatiens noli-tangere*, *Peucedanum osthrotium*...), avec l'apparition de l'Aulne vert dans les situations les plus froides.

Les sols correspondent à des colluviosols qui se développent à la faveur de ces conditions topographiques favorisant des transferts de matériaux (talweg, pentes fortes, ...). Ces remaniements induisent des sols ayant une morphologie généralement peu différenciée (ou avec des horizons enterrés), généralement profonds, poreux, avec une forte teneur en éléments grossiers (souvent plus de 30 %) répartis sur tout le profil. Les textures sont à dominante sableuse à sablo-limoneuse, et les structures grumeleuses. Les humus sont de type mésomull à oligomull.

À l'est de la zone d'étude

Près du col du Glandon, la forêt est absente. Les sols montrent des horizons A et S bien marqués permettant un rattachement à des brunisols « typiques ». Les horizons A sont caractérisés par des structures grumeleuses plus ou moins grossières. Les

textures sont sablo-limoneuses, avec cependant des teneurs en argiles non négligeables qui pourraient témoigner de l'influence des roches carbonatées présentes à proximité.

L'étage subalpin

Cas général

Cet étage est le plus souvent occupé par des pelouses acidophiles à *Nardus stricta*. En particulier, toute la vallée centrale est dépourvue d'arbres, ceux-ci ne se rencontrant que sur les pentes fortes ou les crêtes rocheuses. Les landes denses à éricacées sont également peu étendues, et là encore, localisées uniquement sur les pentes fortes.

La distribution des sols dépend de la fragmentation et de la stabilité du substrat, et donc également de la nature des roches et de la topographie.

Les peyrosols sont présents au niveau des éboulis plus ou moins actifs, alors que les lithosols sont présents au niveau des crêtes ou affleurements rocheux, avec une végétation souvent peu développée (« pelouse pionnière des dalles rocheuses siliceuses subalpines à alpines »). Bien que ponctuellement

Figure 5 : Répartition des points de prospections sur la zone d'étude (IGN Scan 25).
Figure 5: Distribution of survey points in the study area (IGN Scan 25).

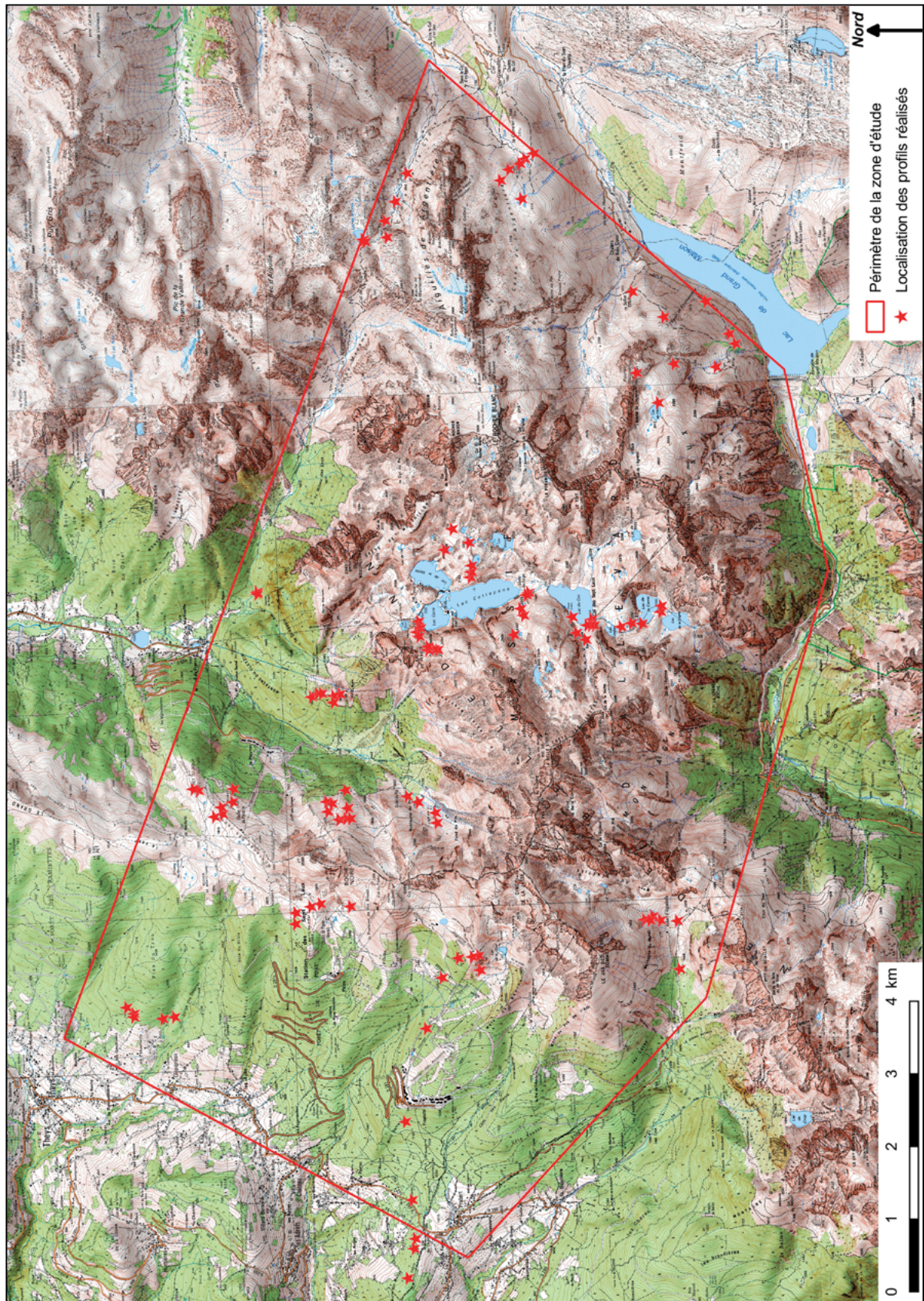
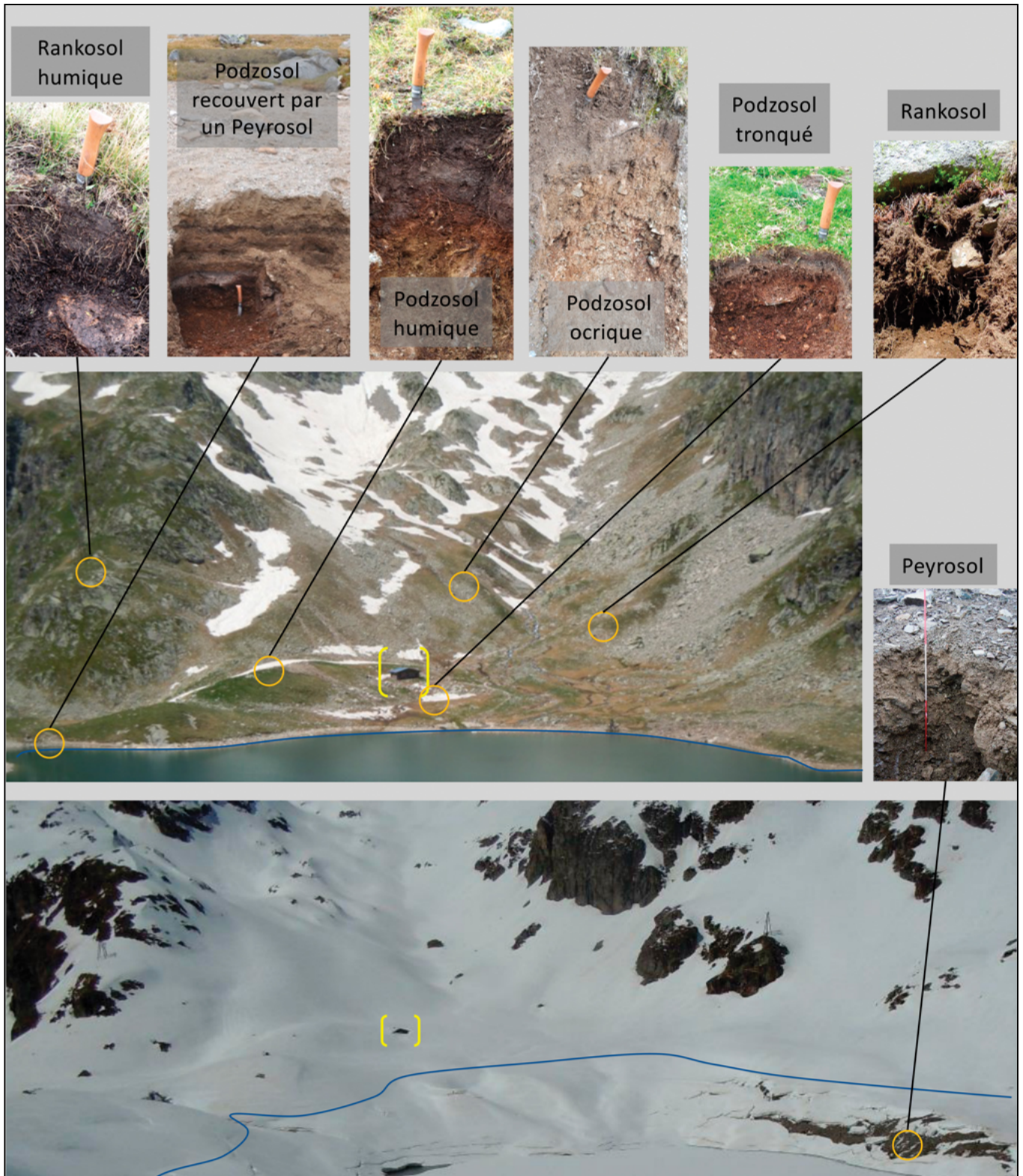


Figure 6 : Répartition des sols à l'étage subalpin en relation avec le paysage. Influence du pâturage et des fluctuations lacustres.

Figure 6: Soil distribution at the subalpine level in relation to the landscape. Influence of grazing and lake fluctuations.



présents à l'étage subalpin, ces deux types de sols peu évolués sont particulièrement bien représentés à l'étage alpin.

Les éboulis plus ou moins stabilisés sur pentes fortes portent des rankosols peu humifères, coiffés d'humus plus ou moins actifs (de type moder à dysmull) en fonction de la végétation en place (lande à éricacées ou pelouse à Nard), qui traduit un usage pastoral plus ou moins récent.

Ces sols sont peu différenciés et de faible profondeur (généralement moins de 30 cm), avec une forte proportion d'éléments grossiers. Les textures sont à dominante sableuse à sablo-limoneuse, et les structures micro-agrégées, voire particulières.

Lorsque la proportion de terre fine devient plus importante, apparaissent des profils de type alocriisol. Ces derniers sont généralement peu profonds et riches en éléments grossiers, avec des textures sableuses à sablo-limoneuses, et des structures micro-agrégées.

Localement, les replats au sein des versants ont favorisé le regroupement des troupeaux (repositoires) dont les déjections ont fortement participé à modifier les cortèges floristiques, avec le développement de pelouses nitrophiles à *Poa alpina* et *Crepis aurea*. Les sols ont les mêmes caractéristiques physiques (textures, structures, richesses en éléments grossiers) que celles des alocriisols, mais les teneurs en matières organiques sont très importantes, induisant des couleurs brun sombre à noir (10YR2/1 par exemple) sur tout le profil. Cette richesse en matière organique pourrait justifier (après analyses) un rattachement aux organosols.

Les roches moutonnées portent des rankosols humifères peu épais (le plus souvent de 20 à 30 cm d'épaisseur), très sombres, sans différenciation nette. Cependant, au contact et à la surface de la dalle rocheuse, on observe des enrobements brun foncé légèrement rougeâtres caractéristiques de la crypto-podzolisation (Blaser *et al.*, 1997).

Les moraines et les tabliers avals d'éboulis sont constitués de matériaux granitiques fragmentés. Leur position topographique fait qu'ils sont déconnectés d'une alimentation directe par l'amont (absence d'apports en éléments grossiers induits par les éboulements et les avalanches périodiques). Ces matériaux stables sont le siège de phénomènes de podzolisation plus marqués. Les humus, très peu développés sous pelouses, sont généralement de type mull acide. Les horizons éluviaux sont sombres et les horizons spodiques non indurés et souvent diffus. Ainsi, les podzosols typiques sont-ils rares sur la zone d'étude. Près des bergeries, sous les repositoires en pente faible à *Poa alpina*, les horizons E des podzosols sont érodés. Sur les formations morainiques modelées en banquettes par le passage des troupeaux, l'horizon A s'épaissit par colluvionnement-glissement et l'horizon Bs ocreux est diffus. En pente moyenne à forte (supérieure à 30 %), l'érosion peut affecter la partie supérieure du sol, voire l'ensemble du sol jusqu'au matériau morainique.

Enfin, sur roches vertes, on observe des brunisols bien structurés et des alocriisols. Nous n'avons pas observé d'évolution podzolique.

Malgré une morphologie du paysage qui pourrait leur être favorable, les réductisols sont rares, et leur apparition restreinte, en forêt ou en prairie.

Sols des littoraux lacustres

Les lacs naturels, dont le niveau a été rehaussé par des barrages, construisent des relations particulières avec les sols littoraux.

En hiver, l'eau est turbinée pour produire de l'électricité, de sorte que le niveau des lacs baisse. La surface de l'eau étant gelée, il se produit des crevasses sur la périphérie. Sur les pentes fortes, en fin d'hiver et en orientation sud, lorsque le niveau d'eau est encore bas, les fragments de couverture de glace et de neige glissent et entraînent terre et blocs vers le lac (Figure 7). Il ne subsiste du sol initial que l'horizon C morainique appauvri en particules fines.

En été, lorsque le niveau d'eau est au plus haut, la matière organique et la terre fine sont entraînées par l'action des vagues et nourrissent les sédiments lacustres. Cette érosion contribue à produire autour des lacs une ceinture de peyrosols, sous lesquels, en pente faible et dans des contextes favorables, on peut trouver d'anciens sols enterrés (Figure 6).

Étage alpin

À l'étage alpin se prolongent les règles de distribution observées au subalpin. Cependant la proportion de peyrosols (éboulis et moraines) et de lithosols (crêtes rocheuses) augmente car les surfaces végétalisées se restreignent.

Les rankosols les remplacent sur les substrats moins mobiles, permettant l'installation d'une couverture végétale. Enfin la podzolisation apparaît lorsque le matériau est stable et fragmenté (crêtes morainiques par exemple), avec des profils caractérisés par des horizons sombres. Ils peuvent être rattachés aux podzosols humiques.

Cet étage est caractérisé par la présence ponctuelle de combes à neige mésohygrophiles acides à *Carex foetida*. Les sols sont relativement profonds (plus de 30 cm), peu différenciés, et très foncés (de type rankosol humique). Ils ont la particularité d'être totalement dépourvus d'éléments grossiers, et d'avoir des textures dominées par des limons. Leur situation topographique (large concavité ou replat au sein d'un versant) fait de ces combes des milieux isolés, « protégés » de toute alimentation en éléments grossiers par l'amont. La formation de ces sols pourrait s'expliquer par des redistributions locales de particules (Dambrine 1985) et/ou des dépôts éoliens d'origine lointaine (De Angelis et Gaudichet, 1990), concentrés dans ces concavités par les écoulements latéraux au moment de la fonte des neiges.

La carte des sols (Figure 8) illustre cette gradation altitudinale et géomorphologique. Les types de sols sont regroupés sous

Figure 7 : Rajeunissement du profil dû au glissement de la couche de glace.

Figure 7: Rejuvenation of the profile due to the sliding of the ice cover.



forme d'unités complexes, qui correspondent à des unités essentiellement paysagères.

DISCUSSION ET CONCLUSION

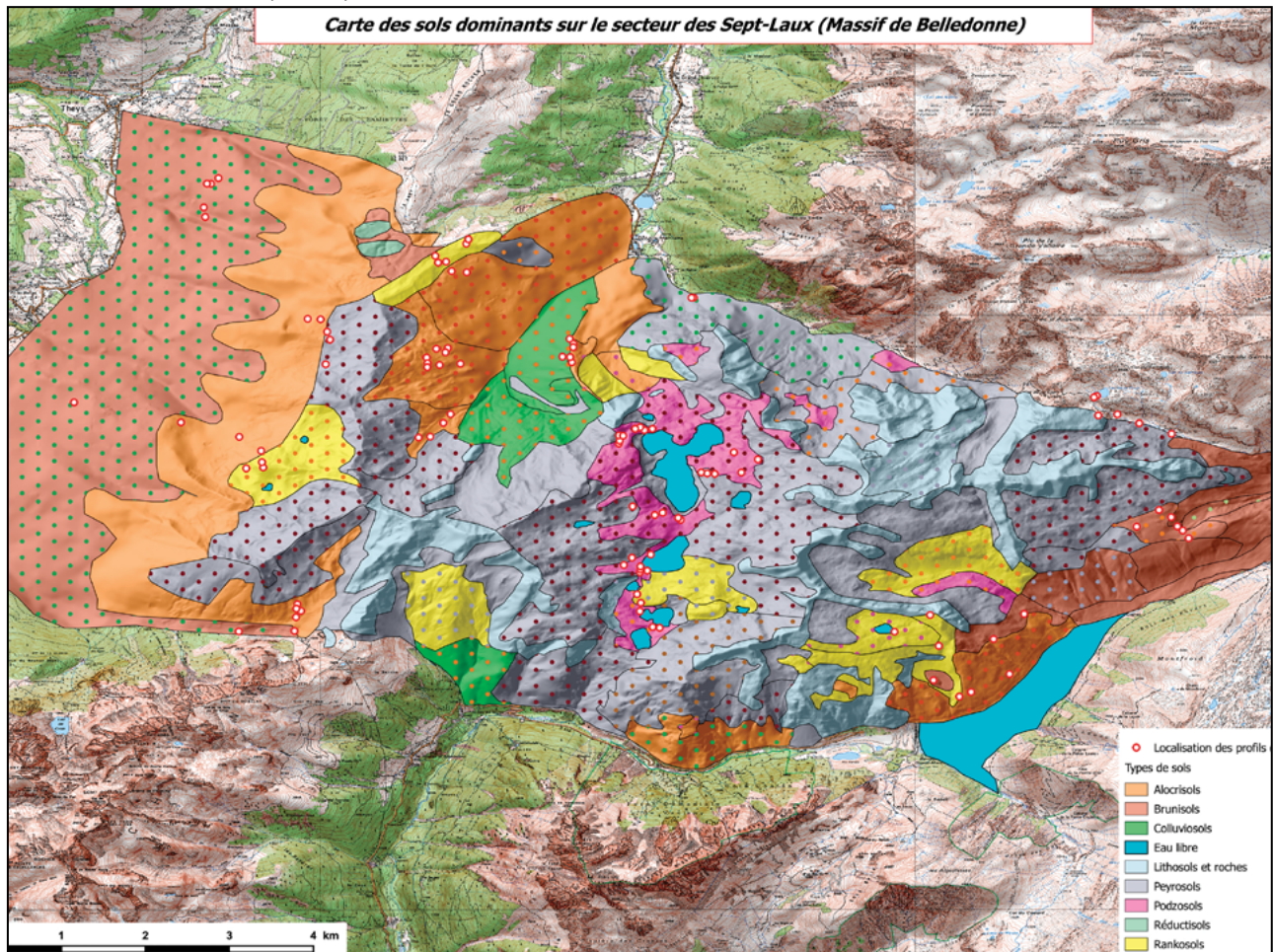
Les études effectuées dans d'autres massifs cristallins des Alpes convergent vers les mêmes conclusions générales : une majorité de brunisols et alocrisols à l'étage montagnard, des sols podzolisés à l'étage subalpin et des rankosols à l'étage alpin. Ce constat est le même en Val d'Aoste (D'Amico *et al.*, 2008 ; 2020), dans le Tyrol (Neuwinger, 1970), l'Engadine (Holtmeier et Broll, 2018). La stabilité du milieu apparaît fondamentale : le degré maximal d'avancement de la podzolisation est atteint dans les positions les plus stables du paysage, car c'est là que la durée nécessaire à la différenciation de ces sols est atteinte (Egli *et al.*, 2001), mais aussi parce que s'y conservent des pédogénèses qui ne sont plus en équilibre avec les conditions actuelles du milieu (Heinz, 2002 ; D'Amico *et al.*, 2019).

Si les podzols typiques avec des horizons O, E, Bh et Bs bien différenciés couvrent une large bande altitudinale, entre 1 700 et 2 200 m, dans le massif du Mont-Blanc, de tels sols sont très rares dans le massif des Sept-Laux. La lithologie ne paraît pas en cause car la composition du granite des Sept-Laux (SiO_2 : 71 %, Fe_2O_3 1,6 % ; CaO : 1,3 %, Gasquet, 1979) et de la protogyne du Mont-Blanc (SiO_2 : 71 %, Fe_2O_3 2,2 % ; CaO : 1 %, Bellière, 1956) sont très semblables.

D'un point de vue écologique, la principale différence entre ces deux régions est la végétation : les forêts et landes subalpines sont rares aux Sept-Laux, tandis qu'elles sont fréquentes dans le massif du Mont-Blanc. Cette différence est sans nul doute due au pastoralisme, très étendu aux Sept-Laux. Au contraire, dans la vallée de Chamonix, pour diverses raisons et en particulier leur rôle avéré de protection vis-à-vis des avalanches et des chutes de pierres, les forêts ont été largement conservées. De plus, la puissance des formations morainiques dans le massif du Mont-Blanc participe aussi à cette différence.

Figure 8 : Carte des sols dominants sur le secteur des Sept-Laux (Massif de Belledonne). Les types de sols sont représentés par différentes couleurs, avec un fond coloré figurant le sol dominant. Le cas échéant, une trame de points colorés indique la présence d'un sol co-dominant au sein d'unités cartographiques complexes.

Figure 8: Map of the dominant soils in the Sept-Laux sector (Massif de Belledonne). Soil types are represented by different colors, with a colored background representing the dominant soil. Where applicable, a pattern of colored dots indicates the presence of co-dominant soil within complex map units.



Comme dans la vallée de Chamonix, la podzolisation est moins développée en versant sud. Cependant, là encore, les différences de lithologie, d'extension des moraines et d'usage ne facilitent pas une analyse indépendante des effets de l'exposition. En effet, dans les Sept-Laux, les versants orientés au Sud portent des formations morainiques de moindre puissance, tandis que les éboulis sont plus généralisés.

De même, d'un point de vue lithologique, le cadre choisi fournit des informations incomplètes sur les relations entre la nature des roches et la pédogénèse. En effet, les affleurements de roches vertes ne forment pas les sommets, de sorte que les sols qui les couvrent héritent de colluvions ou de formations périglaciaires venant de l'amont, voire de plus loin. En l'absence de caractérisation analytique, nous nous contenterons de dire qu'elles confirment les observations menées par d'autres

auteurs sur des secteurs où cet aspect a été mieux analysé : à conditions géomorphologiques et climatiques identiques, la brunification est beaucoup plus généralisée que la podzolisation sur les roches plus riches en minéraux altérables (Duchaufour, 1952; Bartoli, 1966; Cadel, 1980; Trosset, 1980; Verger, 1987). Localement, la cartographie précise des sols de la haute montagne cristalline paraît donc relativement aisée, à partir d'une prospection sommaire après avoir effectué une analyse géomorphologique du paysage. Cependant, ces sols sont sensibles aux activités anthropiques, et leur usage actuel, par l'élevage, a tendance à homogénéiser les couvertures.

La transformation de sols par le pastoralisme est un processus ancien et complexe. Il implique d'abord le déboisement, généralement par le feu, ainsi que l'élimination de la végétation de lande, par des pratiques diverses comme le soutrage. Ces

transformations provoquent la troncature de l'horizon supérieur des sols. La conversion de forêts et de landes en pelouses réduit les restitutions de litières « acidifiantes » et minimise ainsi la formation d'humus bruts et donc la production d'acides complexants, qui sont le moteur de la podzolisation. L'installation de ces pelouses favorise en effet l'enrichissement en carbone des horizons minéraux par des litières racinaires et modifie profondément la qualité de la matière organique restituée au sol. De plus, ces formations herbacées sont riches en espèces graminoides dont le chevelu racinaire très développé participe à une micro-structuration favorable à une forte minéralisation de l'azote et du carbone dès la fonte du manteau neigeux (Gobat et Guénat, 2019). Enfin, ces pelouses renferment des espèces fixatrices d'azote, comme le trèfle des Alpes (*Trifolium alpinum*), qui favorise un enrichissement du milieu (Lonati *et al.*, 2015).

Les parcours des ovins contribuent à limiter ce phénomène de podzolisation. Ils participent directement à la formation de gradins sur les pentes, qui favorisent l'homogénéisation des horizons superficiels par une érosion générale de ces surfaces. Mais les ovins contribuent aussi à l'activation du cycle biologique, via les restitutions par les fèces. Enfin le berger, en guidant les parcours, permet de redistribuer la fertilité sur l'alpage et d'enrichir les zones de repos aux dépens des zones pâturées. L'ensemble de ces pratiques réduit l'expression de la podzolisation, sans toutefois effacer les signatures géochimiques des horizons caractéristiques.

Relier l'expression de cette pédogénèse avec les activités d'élevage est néanmoins une tâche ardue parce que l'histoire de l'élevage est mal connue, et que la podzolisation a varié dans son expression et son extension au cours des grandes fluctuations climatiques du quaternaire. Il est amusant de constater que parmi les profils observés, celui où la podzolisation est la mieux exprimée était conservé sous la surface lacustre (Figure 6).

Les variations des niveaux lacustres liées aux activités hydro-électriques contribuent à redistribuer de la matière organique des sols littoraux vers le lac, où sa minéralisation alimente la chaîne trophique. C'est le « trophic upsurge » décrit par de nombreux auteurs (Ostrofsky et Duthie 1980; Turgeon *et al.*, 2016; Felix Faure *et al.*, 2022). Puis l'érosion de rives déconnecte le lac de son environnement terrestre, et le niveau trophique du lac en pâtit (Spitale *et al.*, 2015).

Les modifications pédologiques induites par l'activité pastorale, la production d'hydroélectricité et plus généralement les activités humaines s'enregistrent dans les sédiments lacustres. Il paraît donc logique et nécessaire d'associer l'étude des sols à celle des sédiments dans une démarche synthétique et diachronique de compréhension de la pédogénèse (Poulenard, 2011), de l'évolution trophique des lacs et plus généralement pour éclairer l'écologie passée, actuelle et future de ces paysages.

BIBLIOGRAPHIE

- Baize D., Girard M.C., 2009 - Référentiel pédologique 2008. Editions Quae, 405 p.
- Bajard M., 2017 - Trajectoires d'évolution des sols et des agroécosystèmes de montagne de l'Holocène à l'Anthropocène Reconstitution des pédopayages des Alpes du Nord occidentales à partir d'archives sédimentaires lacustres. Thèse, Université Savoie, 370 p.
- Bartoli C., 1966 - Etudes écologiques sur les associations forestières de la Haute-Maurienne. Ann. Sci. For. XXIII, 3, pp. 433-749.
- Bartoli C., Burtin G., 1979 - Etude de quatre séquences sol-végétation à l'étage alpin. Documents de cartographie écologique, XXI, pp. 79-93.
- Bellièvre J., 1956 - Contribution à l'étude pétrogénétique des schistes cristallins du Massif des Aiguilles Rouges. Thèse Université Liège, 198 p.
- Blaser P., Kernebeek P., Tebbens L., Van Breemen N., Luster J., 1997 - Cryptopodzolic soils in Switzerland. European Journal of Soil Science, 48, 3, pp. 411-423.
- Brisset E., 2014 - Sensibilité des milieux de montagne aux forçages climatiques et anthropiques depuis 14 000 ans dans les Alpes du Sud. Thèse, Université Aix-Marseille, 216 p.
- Cabidoche Y.-M., 1979 - Contribution à l'étude des sols de haute montagne (Analyse des relations sols-milieu dans les Pyrénées occidentales cristallines et calcaires). Thèse Université Montpellier, 1979. 152 p.
- Cadel G., 1980 - Séries de végétation et sols du subalpin Briançonnais sur roches mères silico-alumineuses. Comparaison avec la Maurienne et la Tarentaise. Sci. Sol, 4, pp. 249-264.
- D'Amico M.E., Pintaldi E., Sapino E., Colombo N., Quagliano E., Stanchi S., Navillod E., Rocco R., Freppaz M., 2020 - Soil types of Aosta Valley (NW-Italy). Journal of Maps, 16, 2, pp. 755-765.
- D'Amico M., Julitta F., Previtali F., Cantelli D., 2008 - Podzolization over ophiolitic materials in the western Alps (Natural Park of Mont Avic, Aosta Valley, Italy). Geoderma, 146, pp. 129-137.
- D'Amico M.E., Pintaldi E., Catoni M., Freppaz M., Bonifacio E., 2019 - Pleistocene periglacial imprinting on polygenetic soils and paleosols in the SW Italian Alps. Catena, 174, pp. 269-284.
- Dambrine E., 1981 - Répartition des phénomènes pédologiques sur le plateau des Saisies. DEA Fédéral de Pédologie, Université Paris 7, 31 p.
- Dambrine E., 1985 - Contribution à l'étude de la répartition et du fonctionnement des sols de haute montagne (massifs des Aiguilles Rouges et du Mont-Blanc). Thèse Université Paris VII, 284 p.
- De Angelis M., Gaudichet A., 1990 - Saharan dust deposition over Mont-Blanc (French Alps) during the last 30 years. Tellus Series B 43, pp. 61-75.
- Duchaufour P., 1952 - Études sur l'Ecologie et la Sylviculture du Mélèze (*Larix europaea* DC).-II. Pédologie et facteurs biotiques. Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts, Nancy, pp. 135-203.
- Egli M., Fitzte P., Mirabella A., 2001 - Weathering and evolution of soils formed on granitic, glacial deposits: results from chronosequences of Swiss alpine environments. Catena, 45(1), pp. 19-47.
- Félix-Faure J., Chanudet V., Walter C., Dorioz J.M., Baudoin J.M., Gaillard J., Lissolo T., Descloux S., Dambrine E., 2017 - Evolution des sols ennoyés sous les retenues de barrage : Influence sur l'écologie des plans d'eau et la dynamique des gaz à effet de serre. Etude et Gestion des Sols, 24(1), pp. 45-58.
- Félix-Faure J., 2018 - Devenir des sols ennoyés sous les réservoirs de barrage : Effets sur la sédimentation et l'écologie des plans d'eau. Thèse, Université Savoie Mont Blanc, 171 p.
- Félix-Faure J., Ramon M., Hatté C., Rimet F., Gaillard J., Chanudet V., Develle A.-L., Garcia-Orellana J., Dambrine E., 2022 - Effects of Hydropower Management on the Sediment Composition and Metabolism of a Small Alpine Lake. Applied Hydro-ecology (in press).

- Gasquet D., 1979 - Etude pétrologique, géochimique et structurale des terrains cristallins de Belledonne et du Grand Chatelard traversés par les galeries EDF Arc-Isère-Alpes Françaises. Thèse, Université de Grenoble, 230 p.
- Gensac P., 1964 - Les Pessières de Tarentaise. Etude phytogéographique et pédologique. Doc Carte Vég. Alpes, 2, pp. 119-155.
- Gidon M., 2002 - <http://www.geol-alp.com>
- Gobat J.-M., Guénat C., 2019 - Sols et paysages, Types de sols, fonctions et usages en Europe moyenne. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. 562 p.
- Heinz V.E.I.T., 2002 - Relict soils as paleoclimatic indicators: examples from the Austrian Alps and the Central Andes. In 17. World congress of soil science, Bangkok (Thailand), 14-21 Aug 2002.
- Holtmeier F.K., Broll G., 2018 - Soils at the Altitudinal and Northern Treeline: European Alps, Northern Europe, Rocky Mountains - A Review. Insights For Res 2(1), pp. 67-83.
- Jamagne M., 2011 - Grands paysages pédologiques de France. Éditions Quae, 536 p.
- Körner C., 1998 - A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation. *Oecologia*, 115(4), pp. 445-459.
- Legros J.-P., Cabidoche Y.M., 1977 - Les types de sols et leur répartition dans les Alpes et les Pyrénées cristallines. Doc. de carte écologique, Vol. XIX, pp. 1-19.
- Legros J.-P., 1992 - Soils of alpine mountains. In *Weathering, soils & paleosols. Developments in earth surface processes 2*. Elsevier, pp. 115-181.
- Lonati M., Probo M., Gorlier A., Lombardi G., 2015 - Nitrogen fixation assessment in a legume-dominant alpine community: comparison of different reference species using the ¹⁵N isotope dilution technique. *Alpine Botany*, 125(1), pp. 51-58.
- Margaillan L., 2021 - Comportement spatial des ovins transhumants sur le massif de Belledonne et interactions avec la faune sauvage. Master 2, USMB, 31 p.
- Mourier B., Poulénard J., Carcaillet C., Williamson D., 2010 - Soil evolution and subalpine ecosystem changes in the French Alps inferred from geochemical analysis of lacustrine sediments. *Journal of Paleolimnology*, 44(2), pp. 571-587.
- Neuwinger I., 1970 - Böden der subalpinen und alpinen Stufe in den Tiroler Alpen. *Mitteilungen der Ostalpin-Dinarischen Gesellschaft für Vegetationskunde*, 11, pp. 135-150.
- Ozenda P., 1985 - La végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen. Masson, Paris, 330 p.
- Ostrofsky M.L., Duthie H.C., 1980 - Trophic upsurge and the relationship between phytoplankton biomass and productivity in Smallwood Reservoir, Canada. *Can J Bot* 58, pp. 1174-1180.
- Poulénard J., 2011 - Des empreintes pédologiques dans les bassins versants et les archives naturelles. Mémoire HDR, Université de Savoie, 226 p.
- Rey P.J., Batigne-Vallet C., Collombet J., Delhon C., Martin L., Moulin B., Oberlin C., Poulénard J., Robin V., Thiébaud S., Treffort J.M., 2014 - Approche d'un territoire de montagne : occupations humaines et contexte pédosédimentaire des versants du col du Petit-Saint-Bernard, de la Préhistoire à l'Antiquité. Actes des premières Rencontres Nord-Sud de Préhistoire récente, Marseille, mai 2012, Archives d'Ecologie Préhistorique, pp. 73-91.
- Richard L., Pautou G., 1982 - Alpes du Nord et Jura méridional. Notice détaillée des feuilles 48 Annecy-54 Edition CNRS, 316 p.
- Richer-de-Forges A.C., Baffet M., Berger C., Coste S., Courbe C., Jalabert S., Lacassin J.-C., Maillant S., Michel F., Moulin J., Party J.-P., Renouard C., Sauter J., Scheurer O., Verbèque B., Desbourdes S., Héliès F., Lehmann S., Saby N.P.A., Tientcheu E., Jamagne M., Laroche B., Bardy M., Voltz M., 2014 - La cartographie des sols à moyennes échelles en France métropolitaine. *Etude et Gestion des sols*, 21(1) - 25-36 pp.
- Spitale D., Angeli N., Lencioni V., Tolotti M., Cantonati M., 2015 - Comparison between natural and impacted Alpine lakes six years after hydropower exploitation has ceased. *Biologia (Bratisl)* 70, pp. 1597-1605.
- Talon B., 2010 - Reconstruction of Holocene high-altitude vegetation cover in the French southern Alps: evidence from soil charcoal. *The Holocene*, 20(1), pp. 35-44.
- Thouvenot F., Frechet J., Jenatton L., Gamond J.F., 2003 - The Belledonne Border Fault: identification of an active seismic strike-slip fault in the western Alps. *Geophys. J. Int.*, 155, pp. 174-192.
- Trosset L., 1980 - Différenciation pédogénétique et organisation des sols sur micaschistes dans les Alpes nord-occidentales. *Bull. Assoc. Fr. Etude Sol* 4, pp. 337-351.
- Turgeon K., Solomon C.T., Nozais C., Gregory-Eaves I., 2016 - Do novel ecosystems follow predictable trajectories? Testing the trophic surge hypothesis in reservoirs using fish. *Ecosphere* 7, pp. 1-17.
- Verger J.-P., 1987 - Végétation et pédogenèse sur roches vertes et gneiss acide dans une séquence altitudinale montagnard-alpin en Val d'Aoste (Italie). Essai de synthèse écologique. Thèse de doctorat d'État de l'Université de Grenoble, 216 p.