

# Premiers résultats d'un suivi de l'edelweiss (*Leontopodium alpinum* Cass.) dans le val Ferret (Valais)

Roland Keller<sup>1</sup> et Pascal Vittoz<sup>2, 3</sup>

Bull. Murithienne 127: 29-44 (2010)

Cet article présente une étude, commencée en 2007, sur le développement de l'edelweiss dans deux alpages du val Ferret (VS). A moyen terme, cette étude vise à estimer la capacité de résistance à la pâture des moutons de l'espèce et à mieux connaître la dynamique de ses populations dans l'idée d'améliorer sa conservation. L'article présente les deux sites d'études (conditions écologiques, importance des populations d'edelweiss) et s'intéresse principalement à la composition du tapis végétal. Cette première étape est avant tout descriptive mais elle est d'importance primordiale pour pouvoir interpréter les observations de multiplication et de colonisation de l'edelweiss in situ. Des méthodes de l'écologie numérique sont utilisées pour explorer la variabilité de la composition spécifique des parcelles d'étude, subdivisées en groupes homogènes. On cherche ensuite les variables environnementales qui expliquent le mieux la composition floristique des groupes retenus.

**Erste Resultate einer Studie über das Edelweiss (*Leontopodium alpinum* Cass.) im Val Ferret.** – Der vorliegende Aufsatz präsentiert eine im Jahr 2007 gestartete Studie zur Entwicklung des Edelweisses auf zwei Alpen im Val Ferret (VS). Mittelfristiges Ziel der Studie ist es, die Widerstandsfähigkeit des Edelweisses gegenüber Schafweiden und seine Populationsdynamik zu untersuchen, damit dessen Schutz verbessert werden kann. Der Artikel beschreibt die beiden Untersuchungsgebiete (ökologische Bedingungen, Populationsgrößen des Edelweisses) und befasst sich mit der Zusammensetzung der Vegetation. Diese erste, vor allem beschreibende Phase der Studie ist wichtig für die Interpretation der Beobachtungen in Bezug auf die in-situ-Vermehrung und Kolonisierung des Edelweisses. Mit Methoden der numerischen Ökologie wird in den Studiengebieten, die in gleichförmige Gruppen unterteilt wurden, die Variabilität der Artzusammensetzung erforscht. Später werden diejenigen Umweltvariablen gesucht, welche die floristische Zusammensetzung der Gruppen am besten erklären.

## Mots clés

Edelweiss,  
*Leontopodium alpinum*,  
pâturage,  
moutons,  
Alpes,  
Seslerion,  
schistes,  
calcaire,  
environnement,  
Valais.

## Schlüsselwörter

Edelweiss,  
*Leontopodium alpinum*,  
Weide,  
Schafe,  
Alpen,  
Seslerion,  
Schiefer,  
Kalkgestein,  
Umwelt,  
Wallis

1 Ch. de Primerose 6,  
CH 1007 Lausanne

2 Université de Lausanne,  
Département d'écologie  
et d'évolution (DEE),  
Faculté de biologie  
et médecine,  
Bâtiment Biophore,  
CH-1015 Lausanne

3 Université de Lausanne,  
Faculté des géosciences et  
de l'environnement,  
CH-1015 Lausanne

## INTRODUCTION

La littérature scientifique est paradoxalement pauvre en publications sur l'edelweiss (*Leontopodium alpinum* Cass.), en particulier sur son écologie et ses capacités de multiplication dans son milieu. L'espèce est généralement associée aux pelouses rocailleuses sur calcaire, dans des sites ensoleillés de l'étage alpin (OBERDORFER 1990; LAUBER & WAGNER 2000). Mais, comme le soulignait déjà

l'écologie de l'edelweiss dans les Alpes romandes complètera les résultats obtenus dans le val Ferret.

Afin de délimiter une région propice à ces observations, plusieurs alpages des cantons de Vaud, Valais et Fribourg ont été parcourus. Le choix d'un site se devait de respecter les critères suivants : existence d'une densité relativement grande d'edelweiss dans le secteur, site pas trop éloigné d'une route carrossable et déclivité acceptable pour des inventaires répétés. Le val Ferret remplis-



FIGURE 1 – Mouche butinant un edelweiss (*Leontopodium alpinum*), Arpalle de la Fouly, juillet 2009.

HEGI (1964-1979), l'edelweiss n'est pas limitée à des vires rocheuses peu accessibles et peut fort bien pousser dans pelouses ou des formations relativement denses.

L'edelweiss (fig.1) est protégée dans de nombreux cantons suisses (VUST & GALLAND 2001), bien qu'elle ne soit pas menacée au niveau national (MOSER & al. 2002). Cependant, nombreux sont les botanistes amateurs et les randonneurs qui se souviennent d'un site jadis magnifiquement fleuri où l'espèce a maintenant disparu. Cette espèce emblématique des Alpes est évidemment susceptible d'être cueillie, mais le pâturage des pelouses alpines par les moutons, souvent non surveillés et affectant les crêtes et sommets, est souvent montré du doigt. Aucune étude à notre connaissance n'a tenté jusqu'à maintenant de mettre en évidence une relation entre dynamique des populations de l'edelweiss et la pâture des moutons. Cette étude, débutée en 2007, vise donc à obtenir des données objectives sur l'impact du pâturage des moutons sur la croissance, le développement et la reproduction de l'edelweiss. Etant donné le manque de recul actuel pour évaluer l'impact des moutons sur l'espèce, cet article se limite à la présentation des sites d'études et de l'importance des populations d'edelweiss, ainsi que de la diversité des conditions écologiques et de la variabilité du tapis végétal qui lui est associée. Des résultats plus complets sont attendus en 2011. Une étude en cours sur

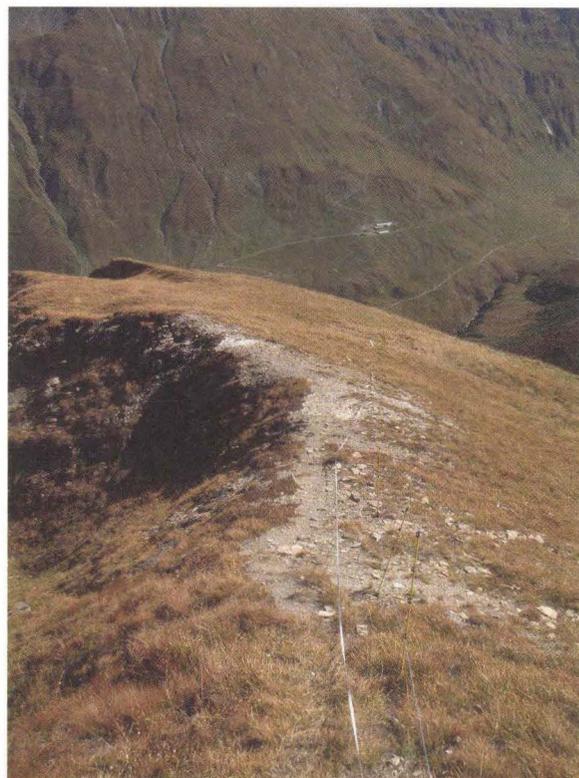


FIGURE 2 – Site de l'Arpalle de la Fouly à fin septembre 2009; peu avant 11h du matin, une partie des pentes est encore à l'ombre du Tsavre (2977 m).

FIGURE 3 – Site de la Dotse, septembre 2009. Bord supérieur de l'exclos suivant la ligne de crête.

sait ces conditions et comme les autorités communales d'Orsières ont remarqué l'intérêt de l'étude, une convention de partenariat pour la période 2007-2011 a été signée par ces dernières et un des auteurs (R. KELLER).

Deux sites ont été retenus dans le val Ferret : l'Arpalle de la Fouly (fig. 2) et le sommet de la Dotse (fig. 3). Les mises en place des sites et les observations préliminaires ont débuté en 2007, mais le plan d'expérience n'a été fixé qu'en 2008, de sorte que seules des comparaisons entre les saisons 2008 et 2009 sont présentées ici. L'article traite de la classification et de l'appartenance phytosociologique des groupements végétaux des deux sites, de la corrélation entre la présence de l'edelweiss et les groupements définis, des paramètres environnementaux importants, du nombre de rosettes fleuries ou stériles par unité de surface et de la biomasse d'herbage produite annuellement à proximité des placettes d'étude.

## SITUATION GÉOGRAPHIQUE, CLIMAT ET GÉOLOGIE DU VAL FERRET

Selon BURRI & MARRO (1993) et OULIANOFF & TRÜMPY (1958), le val Ferret est inclus dans le socle cristallin du Mont-Blanc et des nappes helvétique-ultrahelvétique et pennique. A la hauteur de Ferret, un profil ouest-est montre des granites (massif du Mont Dolent), des calcaires marneux, des schistes argileux et des calcaires détritiques (combe des Fonds) ou des grès, calcschistes, schistes noirs et quartzites (voisinsages de la Drance et versants de la rive droite jusqu'au Tsavre, y compris les deux sites choisis pour l'étude). A cause de l'extrême rareté des fossiles, l'âge des terrains n'est pas établi avec certitude (OULIANOFF & TRÜMPY 1958).

Le climat du val Ferret est relativement humide, avec des précipitations qui dépassent 2000 mm/an au-dessus de 2000 m. Les deux sites d'étude, situés autour de 2400 m, présentent des températures moyennes annuelles voisines de 0°C. Les vents soufflent dans le val Ferret généralement du nord-est (60%) ou du sud-ouest (40%) (SPIESS 1990).

### Site de l'Arpalle de la Fouly

L'Arpalle de la Fouly se trouve à mi-pente sur le versant de la rive droite de la vallée. Le versant est limité dans sa partie supérieure par la crête allant du Mont de La Fouly au Tsavre, deux sommets reliés par le col du Basset (2765 m). La parcelle se trouve à une altitude moyenne de 2365 m, avec une exposition variant entre sud-sud-ouest et ouest.

La pente est de 20 à 30 degrés, et se trouve en contrebas d'un éboulis qui l'alimente de plaquettes de roche se délitant très facilement. Le sol, de teinte foncée, est donc de nature colluviale, riche en éléments grossiers, et s'étend sur une grande profondeur, probablement de l'ordre du mètre. Le soubassement date du Crétacé (couche des Marmontains) à schistes noirs et quartzites (BURRI & MARRO 1993) mais d'après la carte géologique de ces auteurs, les flysch calcaires (couches de Saint Christophe) apparaissent une vingtaine de mètres plus haut.

### Site de la Dotse

Le nom de la Dotse proviendrait d'un terme de patois signifiant «boudeuse» ou «têtue», ceci probablement à cause de la présence fréquente de brouillard (fig. 4). La parcelle se trouve à une altitude moyenne de 2480 m, une dizaine de mètres sous le sommet de la Dotse (2491 m). Elle est exposée entre le sud-sud-est et l'est-sud-est. Le site accuse une pente de 10 à 20 degrés et repose sur la série



FIGURE 4 – Nappe de brouillard à la Dotse.

inférieure des schistes de Ferret à calcschistes et schistes argileux (OULIANOFF & TRÜMPY 1958). Le sol est profond d'au moins 30 cm, probablement plus de 60 en certains endroits, et contient beaucoup moins d'éléments grossiers qu'à l'Arpalle. Ce site est nettement plus exposé aux vents que celui de l'Arpalle de la Fouly.

### Comparaison des radiations solaires

A l'aide du modèle numérique d'altitude à 25m et de l'application ArcGIS 9.2, il a été possible de calculer les radiations solaires potentielles (qui ne prennent pas en compte la nébulosité) à la Dotse et à l'Arpalle de la Fouly (KELLER 2008). La période choisie a été fixée pour les calculs du 15<sup>e</sup> au 24<sup>e</sup> jour de l'année, soit à peu de chose près du 1<sup>er</sup> juin au 31 août. Pour l'Arpalle, les radiations solaires potentielles s'élèvent à 559 kWh/m<sup>2</sup> et pour la Dotse à 628 kWh/m<sup>2</sup>, soit environ 11 % de plus. La différence peut paraître faible au vu de l'exposition plutôt ouest de l'Arpalle mais sa plus forte pente l'expose mieux au rayonnement. A noter encore que le 10 juillet le soleil se lève sur la parcelle de l'Arpalle déjà à 9h45 heure locale (soit environ à 8h15, heure solaire).

## GESTION ET COMPORTEMENT DES TROUPEAUX

### Arpalle de la Fouly

Selon Dominique Duay, propriétaire du troupeau, l'Arpalle de la Fouly est pâturé par les moutons depuis 1985. Cet alpage est exploité pendant la première partie de la saison à l'aide de parcs mobiles situés dans le bas, en dessous de 2120 m, altitude de l'ancienne étable à vaches. A partir de début août, le troupeau (environ 500 têtes) est laissé libre et parcourt alors les pentes situées entre les cotes 85,5 et 86,5 (coordonnées Est sur la carte 1365, Grand St Bernard). Alors qu'il est bien connu qu'un mouton libre monte le plus haut possible, le troupeau se maintient ici la plupart du temps en dessous de 2500 m, car l'herbe située plus haut est déjà trop dure début août, à cause de l'ensoleillement nettement prolongé dans le haut de l'alpage (D. Duay, communication personnelle). Le troupeau passe les nuits dans des zones fraîches, situées plus à l'abri du vent, il se déplace volontiers en prenant les sentes qu'il a tracées au fil des ans et qui suivent à peu près les courbes de niveaux. Une de ces sentes traversait l'emplacement actuel de l'exclos (voir ci-dessous) mais la pose de la clôture a conduit à la création d'une nouvelle sente qui traverse la partie inférieure de la zone témoin. Cependant, le troupeau ne s'attarde pas dans cette zone qui est un lieu de passage pour gagner les herbages situés en contrebas.

### Dotse

L'alpage de la Dotse est soumis à une gestion très différente. Anciennement pâturé par des génisses, il est estivé par des moutons depuis 2001 (ZAPPELLAZ 2003), dès la mi-juillet (arrivés le 12 en 2009). Le troupeau (environ 500 têtes) est gardé en permanence par un berger, un patou et deux border collies. La pression de pâture y est nettement plus élevée qu'à l'Arpalle de la Fouly, ceci à cause d'une productivité bien plus faible (les surfaces utiles des deux alpages étant approximativement égales). L'élevage est devenu intensif sur une grande partie de la surface utile. L'emplacement du site d'étude se trouve presque à l'extrémité orientale de l'alpage. Les environs immédiats du sommet, où les randonneurs prennent leur pause et peuvent contempler les edelweiss, ont été épargnés de manière consciente par les bergers (Olivier Sarrasin, propriétaire du troupeau). Le troupeau passe la plus grande partie de la saison dans la partie centrale de l'alpage (à l'ouest de la zone d'étude), au-dessus de 2300 m. Cependant, une partie de l'herbe du versant nord de la Dotse est gardée pour la fin de la saison, ce qui implique des passages répétés du troupeau, du sud (où sont installés les parcs de nuit) au versant nord, et inversement, en passant à proximité de la zone d'étude. La végétation originelle de ce secteur a subi une profonde transformation. Divers témoignages attestent d'une population d'edelweiss autrefois bien plus grande que celle existant actuellement.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Toute étude cherchant à définir l'effet de quelque facteur humain ou environnemental repose sur l'existence de «témoins». Dans le cas présent, des surfaces ont été clôturées à l'aide de barrières électriques (les exclos) pendant la saison d'estivage afin de supprimer l'influence des moutons. Des placettes d'inventaire ont alors été retenues dans et hors de l'exclos. Ces dernières, considérées comme témoins, sont susceptibles d'être pâturées. Les exclos se justifient aussi pour l'étude de la dynamique des populations d'edelweiss, indépendamment de la question du pâturage. En effet, une partie de l'étude concerne la structure des colonies (aspect qui ne sera pas traité ici), définie par des paramètres de croissance, de ramification et de floraison liés à des facteurs génétiques et climatiques. Il serait fort dispendieux que des colonies étudiées et marquées par de délicats repères physiques soient anéanties par le passage impromptu d'un troupeau. Idéalement, un site hors de la zone d'estivage aurait pu être retenu, mais ils sont devenus bien rares dans les Alpes romandes, ou limité aux sites rocheux, où la végétation se présente alors sous une mosaïque de morceaux de pelouses et de rochers. Finalement, l'existence d'une zone clôturée possède une certaine visibilité pour les personnes de passage intéressées; nous pensons que cette visibilité de l'étude pourrait être un gage de protection et de pérennité.

Les deux sites font l'objet des mêmes types d'observations et des mêmes traitements statistiques. Le principe est de clôturer une surface relativement grande pour y définir vingt placettes de 1m<sup>2</sup> destinées aux observations phytosociologiques, aux mesures de paramètres environnementaux, au dénombrement des rosettes foliaires et aux études de détail des colonies (ce dernier point n'étant pas abordé dans l'article). Vingt autres placettes sont réparties dans la zone témoin, à proximité de l'exclos. Celles-ci font l'objet des mêmes mesures et observations. Les deux sites diffèrent néanmoins sur quelques points:

- L'exclos de la Dotse (40 m x 12,5 m) est plus long et plus étroit de celui de l'Arpalle de la Fouly (30 m x 20 m) car dans le premier site les edelweiss sont distribués sur une étroite bande longeant la crête sommitale.
- L'exclos de la Dotse a une topographie bien plus régulière que celui de l'Arpalle, où il existe des vallonnements orientés dans le sens de la pente. La distribution des placettes s'est donc faite à l'Arpalle de manière à avoir une répartition des placettes équitable entre bosses (riches en edelweiss) et creux (très pauvres en edelweiss).
- L'exclos de l'Arpalle est nettement plus pentu que celui de la Dotse, et les observations s'y déroulent de manière beaucoup moins confortable (risques de glissades, peu dangereuses pour l'observateur mais préjudiciables aux edelweiss dont les souches fragiles sont facilement arrachées). Des couloirs libres



FIGURE 5 – Solifluxion à l'Arpalle, 31 mai 2009.

pour les déplacements ont donc été retenus à l'Arpalle.

- A l'Arpalle, le troupeau est libre de début août à début octobre, alors qu'à la Dotse il est gardé mais peut transiter par la zone témoin.

## Plan des placettes

Les figures 7 et 8 donnent la disposition des 40 placettes dans chaque site d'étude. Les placettes sont disposées par paires aux extrémités d'une diagonale d'un rectangle de 2x5m. La répétition de ce motif facilite grandement le repérage des placettes tout en n'abaissant pas significativement le «hasard» de la disposition. Chaque rectangle est marqué en ses quatre angles par un bâtonnet de bois peint en rouge à son extrémité, extrémité qui dépasse la surface du sol. En plus, deux bâtonnets supplémentaires sont enfoncés dans le sol à 1 m perpendiculairement aux petits côtés des rectangles, facilitant grandement le repérage des deux placettes.

## Variables environnementales

Les variables environnementales mesurées ou estimées sur le terrain sont: pourcentage de sol nu, pourcentage de roche apparente (rochers en place ou cailloux), pente en degrés, exposition (en degrés d'écart par rapport au sud), situation relative (creux, bosse, flanc d'une surélévation du terrain), perturbations ou piétinement visibles (traces d'animaux, sentes) et solifluxion (fig. 5). A la Dotse, la distance entre la ligne de crête et les carrés a été mesurée. Celle-ci a été corrigée pour tenir compte de la situation sommitale de la partie ouest de la zone témoin, situation qui réduit la distance mesurée du sud au nord. De plus, le pH a été mesuré en laboratoire sur la base d'un échantillon de sol pris au centre de chaque rectangle en septembre 2009. Ces paramètres étant peu susceptibles d'évoluer rapidement, ils ne seront en principe pas remesurés pendant la période 2010-2011, sauf les traces de bétail dans les zones témoins. Pour raison de place, ces paramètres

ne sont pas donnés dans cet article dans un tableau complet mais sont à disposition auprès du premier auteur.

## Relevés phytosociologiques

La nomenclature des espèces suit LAUBER & WAGNER 2000. Les relevés phytosociologiques, numérotés de 1 à 40 pour chaque site, sont constitués d'une liste exhaustive des espèces, dont le recouvrement est estimé selon une échelle approximativement logarithmique, sur la base d'un 100 % correspondant à la végétation présente (sol nu et rochers ne sont pas considérés dans l'estimation des recouvrements des espèces). Mousses et lichens sont traités comme des espèces. Les classes utilisées sont :

1: 0 à 0,01 % 2: 0,01 à 0,1 % 3: 0,1 à 1 % 4: 1 à 5 % 5: 5 à 20 % 6: 20 à 50 % 7: > 50 %

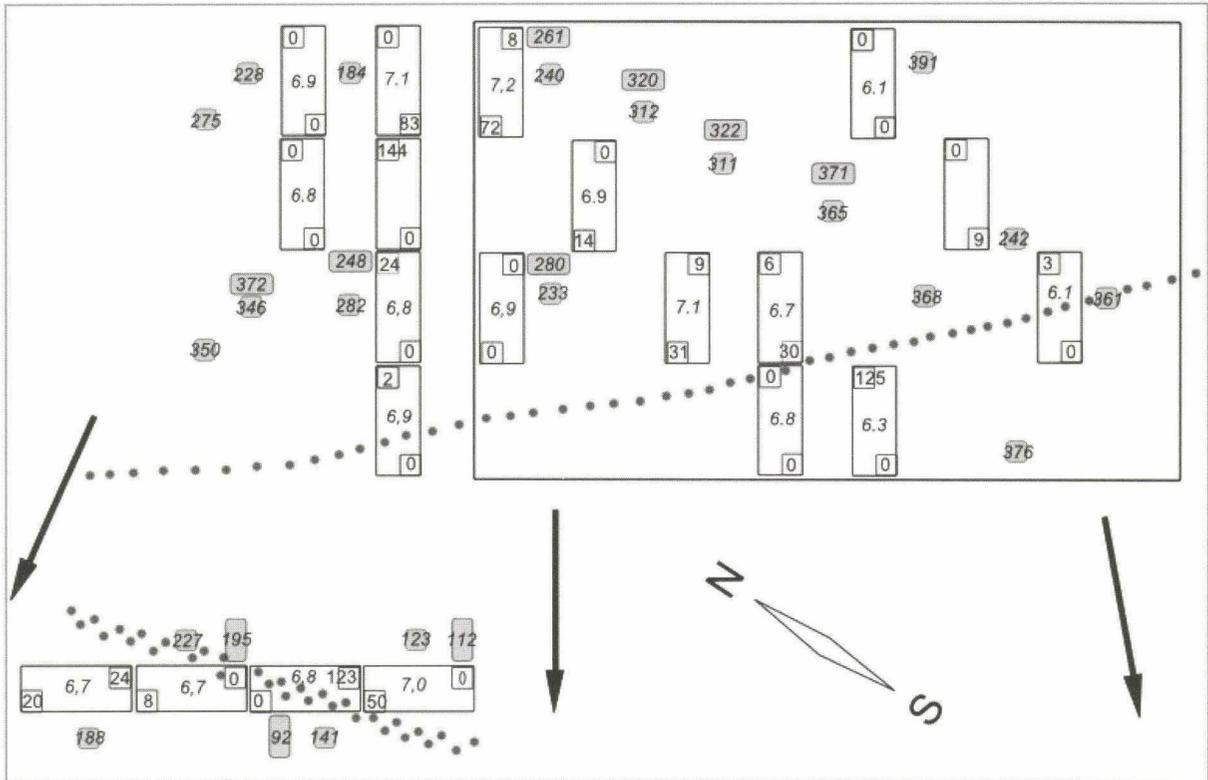
Les relevés ont été effectués pendant la première quinzaine de juillet 2008, complétés par un passage ultérieur pour mieux définir les recouvrements des petites espèces à floraison tardive (*Gentiana nivalis*, *Erigeron* spp., *Euphrasia* spp.). Des photos des placettes ont été réalisées en 2008 et 2009, afin de mieux illustrer ces relevés. Il est prévu de refaire l'ensemble des relevés phytosociologiques en 2010.

## Cartographie des colonies

La cartographie des colonies d'edelweiss s'effectue au moyen d'un double-mètre placé perpendiculairement aux rubans de deux chevillères parallèles aux petits côtés des exclos. Sur le terrain on se décale progressivement de deux, quatre ou six m au cours des observations, les chevillères étant toujours parallèles aux petits côtés de l'exclos. La forme des colonies dessinée lors de l'inventaire précédant permet de corriger les éventuelles imprécisions de mesures. Les paramètres employés pour caractériser les colonies sont: position x, y dans le carré de 1 m<sup>2</sup>, nombre de rosettes stériles, nombre de rosettes fleuries, diamètre maximal approximatif de la colonie, identification des 1, 2, (3) espèces les plus communes au voisinage de la colonie et indication du sol nu si la colonie est relativement isolée des autres plantes). Cette cartographie sera refaite chaque année.

## Production annuelle d'herbe

Ce paramètre est important pour rendre compte des différences de productivité entre les deux sites. La production annuelle de biomasse est évaluée sur une surface totale de 10 m<sup>2</sup> dans l'exclos et dans la zone témoin (soit au total sur 20 m<sup>2</sup> par site). La surface de prélèvement est décalée progressivement d'une année à l'autre (fig. 7 et 8). En 2008, cinq parcelles de 2 m<sup>2</sup> ont été choisies; en 2009, le choix s'est porté sur dix parcelles de 1 m<sup>2</sup>. La fauche (à la cisaille électrique) a été faite les 15-16 septembre 2008 et les 22-23 août 2009. Le séchage



s'est effectué pendant trois jours à 41-42C dans les installations de la coopérative Valplantes à Sembrancher. La mesure de la production d'herbe sera répétée ces prochaines années sur une surface de 1 m<sup>2</sup>.

### Analyses statistiques

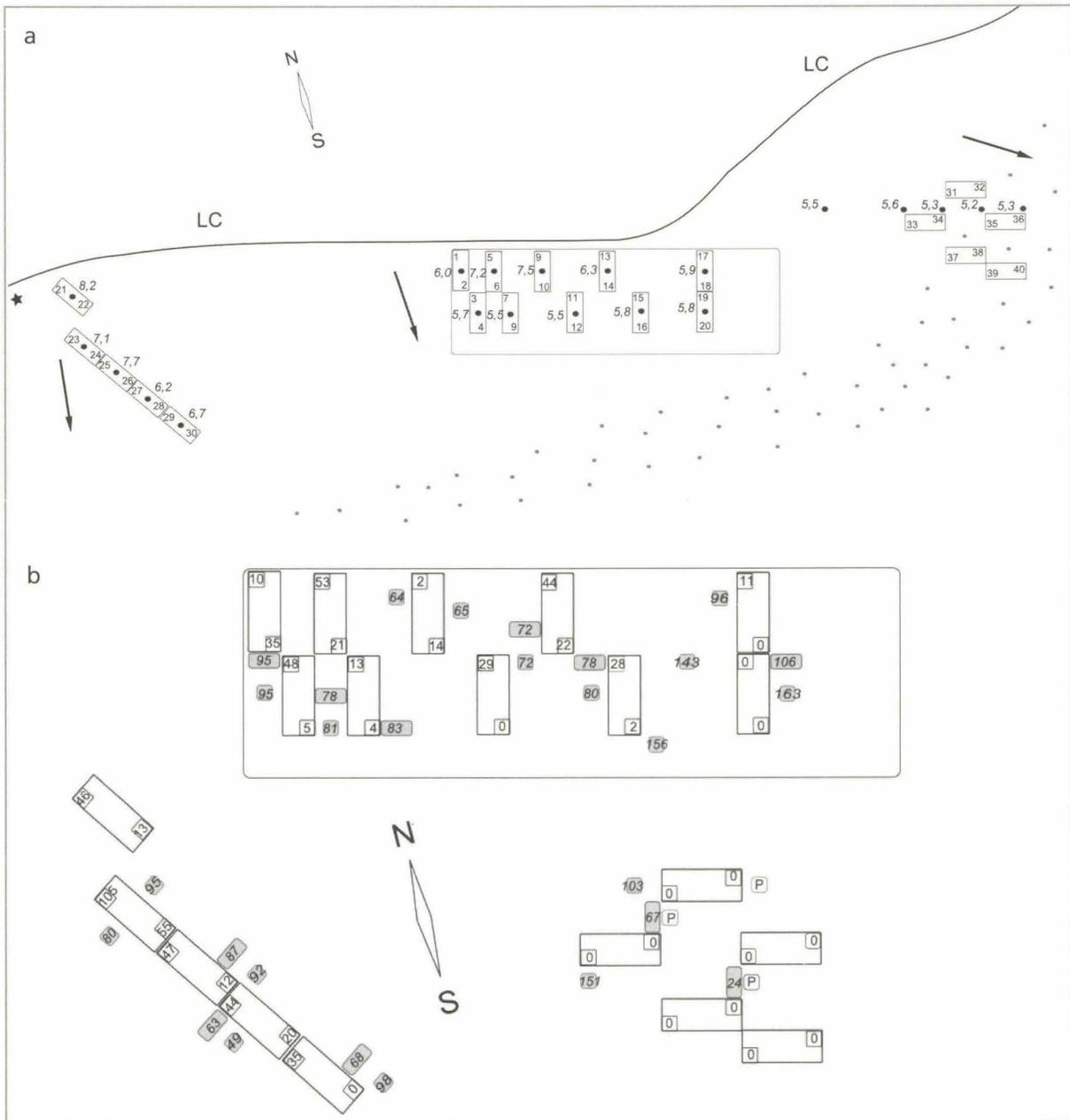
La classification des relevés phytosociologiques a été réalisée avec un cadrage non métrique multidimensionnel (*non-metric multidimensional scaling* ou NMDS) au moyen de la librairie *vegan* du logiciel libre R (R Development Core Team 2007). Cette méthode vise à représenter les relevés dans un espace multidimensionnel (seules deux dimensions retenues ici) de manière à mettre en évidence les ressemblances et différences des relevés dans leur composition en espèces. Ainsi, deux relevés qui partagent une composition spécifique très proches seront représentés côte-à-côte, et vice-versa. Une telle représentation permet de définir des groupes de relevés que l'on peut considérer comme comparables pour la suite de l'étude, tout en mettant en évidence des gradients dans la présence des espèces. Les espèces présentes dans une seule placette (par site) ont été exclues de la classification.

Afin d'avoir une idée plus précise des conditions écologiques présentes sur les sites d'étude, les indices écologiques de LANDOLT (1977) ont été utilisés pour calculer les moyennes de chaque relevé puis de chaque groupe défini.

Une analyse canonique de redondance (RDA dans la librairie *vegan*; R Development Core Team 2007) a été

FIGURE 7 – Plan du site de l'Arpalle de la Fouly. Les flèches indiquent la direction de la pente. Les rectangles mesurent 2m de large sur 5m de long. Nombres moyens (2008-2009) de rosettes (fleuries et stériles) dans chaque placette de 1m<sup>2</sup> (petits carrés à fond blanc). Les numéros des placettes sont donnés dans la figure 11. pH en italiques au centre des rectangles 2 x 5m. Biomasse récoltée (en g/m<sup>2</sup>) en italiques dans des petits rectangles (2008) ou carrés (2009) à fond gris. La ligne pointillée représente une ancienne sente traversant l'exclos et la double ligne pointillée une nouvelle sente créée en 2007.

FIGURE 8 – Plan du site de la Dotse donnant la position des relevés et quelques valeurs mesurées. (a) Positions relatives de l'exclos et de la zone témoin par rapport à la ligne de crête (LC). Les flèches indiquent la direction de la pente. L'étoile représente la croix du sommet, les placettes sont numérotées de 1 à 40, les points accompagnés de nombres en italiques donnent les positions des prélèvements de sol et les valeurs des pH mesurées. Ces points se trouvent aux centres des rectangles de 2 x 5m, sauf dans la partie est de la zone témoin où ils sont alignés sur une droite. Les points gris représentent la zone de passage du troupeau. (b) Plan du site de la Dotse, où les positions respectives des témoins par rapport à l'exclos n'ont pas été respectées. Nombres moyens (2008-2009) de rosettes (fleuries et stériles) dans chaque placette de 1m<sup>2</sup> (petits carrés à fond blanc). Biomasse récoltée (en g/m<sup>2</sup>) en italiques dans des petits rectangles (2008) ou carrés (2009) à fond gris (carrés «P»: la biomasse n'a pas été mesurée du fait de la pose d'un parc à moutons pendant une douzaine de jours en juillet 2009).



utilisée dans un premier temps pour mettre en évidence les relations entre les variables environnementales et la composition floristique. Dans ce type d'analyse, une représentation graphique projette simultanément les sites, les espèces et les variables environnementales. La bonne corrélation d'une espèce avec une variable environnementale se remarque par sa proximité avec la droite représentant cette dernière.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### Relevés phytosociologiques

Sur les 40 m<sup>2</sup> relevés dans chaque site, la biodiversité en plantes vasculaires est comparable sur les deux sites: 62 espèces à l'Arpalle et 69 espèces à la Dotse, pour un total de 87 espèces. Les deux sites partagent en commun la moitié de l'ensemble des espèces, soit 44 exactement.

Sur la base d'analyses préalables, il a été décidé de retenir quatre groupes par site pour l'analyse NMDS. Cette analyse est très robuste et elle est peu influencée par l'exclusion des espèces les plus rares. Les figures 9 et 10 donnent la

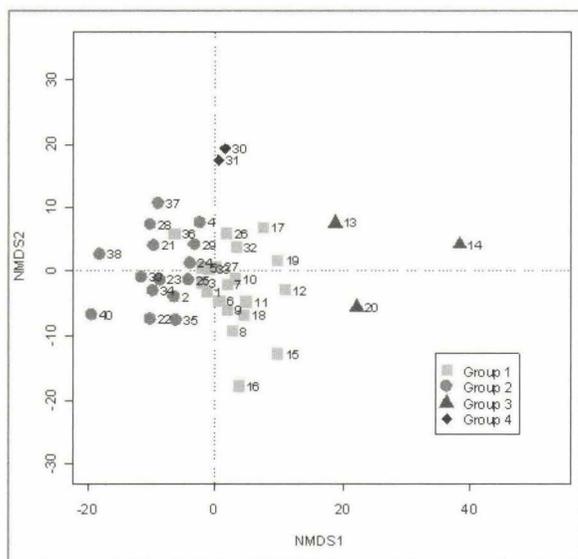


FIGURE 9 – Arpalle. Résultat du NMDS, classification en 4 groupes. Les Nos 5, 27 et 33 du groupe 1 se recouvrent partiellement.

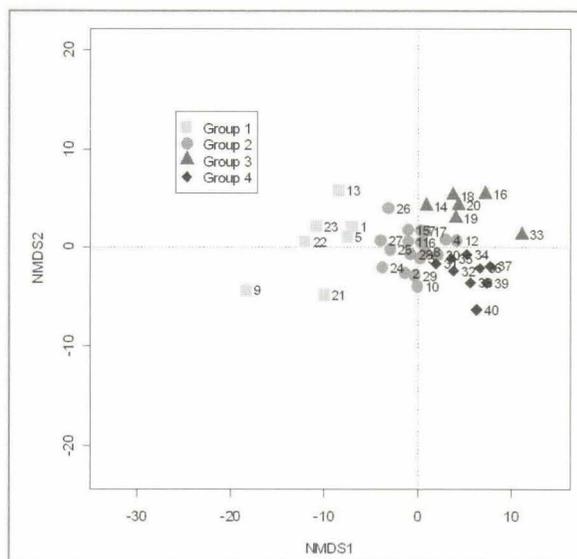
FIGURE 10 – Dotse. Résultat du NMDS, classification en 4 groupes. Nos 7, 8, 11, 15 et 28 du groupe 1 se recouvrent partiellement.

répartition des relevés dans les groupes et leur position relative selon cette analyse. Les figures 11 et 12 représentent les relevés sur le terrain en fonction des groupes auxquels ils appartiennent. Un tableau synthétique des 8 groupes est donné dans l'annexe 1.

A l'Arpalle, les limites entre les groupes 1 et 2 sont assez floues. Par contre, les groupes 3 et 4 (respectivement 3 et 2 relevés) se distinguent nettement des autres relevés. Les groupes de la Dotse sont mieux délimités, bien que restant proches les uns des autres, et correspondent à la répartition des relevés sur le terrain, en fonction de leur éloignement à la crête (gradient nord-sud) et d'un gradient ouest-est (fig. 7a).

Le tableau synthétique de l'annexe 1 donne les principales espèces des associations végétales rencontrées. Les colonnes ont été disposées de manière à mieux faire apparaître la proximité des groupes issus de la classification NMDS. Le tableau des espèces restantes (présentes dans moins de deux groupes) ainsi que les relevés complets sont à disposition sur demande auprès des auteurs. On constate que :

- La biodiversité moyenne est légèrement plus élevée à la Dotse qu'à l'Arpalle. Les groupes les plus riches sont aussi ceux qui contiennent le plus d'edelweiss, sauf le groupe 1 de la Dotse, soumis probablement à un grand stress dû à l'effet de crête. Tous les groupes appartiennent assez clairement à l'association du *Seslerio-Caricetum sempervirentis* Braun-Blanquet in Braun-Blanquet et Jenny 1926 (fait partie du *Seslerion*, ou pelouses calcaires sèches



à seسلرية selon DELARZE & GONSETH 2008). A l'Arpalle, le groupe 4 en est une variante appauvrie (forte densité de grandes graminées) et le groupe 3, situé dans une dépression, tire vers les friches et lisières forestières. A la Dotse, le groupe 1 montre une tendance vers l'*Elynon* (ou gazons des crêtes ventées), correspondant bien à la position de crêtes des parcelles de ce groupe (fig. 7a). Les groupes 2 à 4 tendent nettement vers les pelouses subalpines et alpines sur sol acide, comme le *Nardion* (pâturages maigres acides) et le *Caricion curvulae* (pelouses acides de l'étage alpin supérieur). Néanmoins, les espèces de sol acide, bien que fréquentes, sont moins abondantes que celles des pelouses calcaires.

- Les indices écologiques de LANDOLT (1977) montrent que les sols de l'Arpalle ont un pH plus élevé, sont plus humides, sont plus riches en substances nutritives mais moins riches en humus que ceux de la Dotse (annexe 2).



FIGURE 6 – Primevère farineuse (*Primula farinosa*) côtoyant l'edelweiss (*Leontopodium alpinum*), Dotse, fin juin 2008.



FIGURE 11 – Arpalle. Placettes numérotées de 1 à 40 en nuances de gris selon les groupes formés par le NMDS : groupe 1, gris très clair; 2, gris clair; 3, gris foncé; 4, gris très foncé.

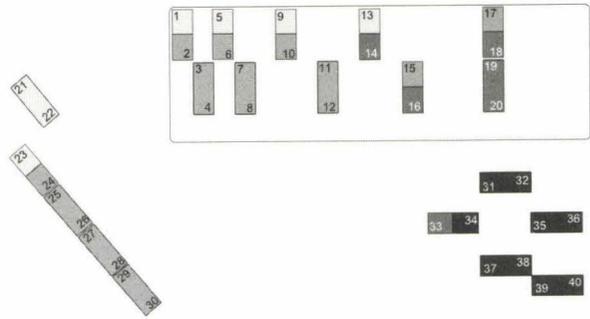


FIGURE 12 – Dotse. Placettes numérotées de 1 à 40 en nuances de gris selon les groupes formés par le NMDS : groupe 1, gris très clair; 2, gris clair; 3, gris foncé; 4, gris très foncé.

- *Primula farinosa* (fig. 6) et *Parnassia palustris*, deux espèces de milieux humides (OBERDORFER 1990), se trouvent dans une majorité des relevés des deux sites (75% des relevés à l'Arpalle et 85% des relevés à la Dotse pour *P. farinosa*). Pour qui a l'habitude d'observer des edelweiss sur des mosaïques de gazons insérés dans des calcaires durs, cette particularité est assez surprenante. Ceci est certainement dû à la nature du sol qui, dans les deux sites, est assez profond, peu argileux et offre une bonne capillarité. Ces sols sont donc filtrants mais peuvent contenir de grandes réserves d'eau, voire être saturés à la fonte des neiges. Ils seraient ainsi favorables à des espèces à exigences hydriques très différentes.

## AUTRES CARACTÉRISTIQUES DES SITES

### Topographie

L'exposition et la pente varient de manière conjointe dans les deux sites, comme c'est souvent le cas en montagne. Ainsi, les faibles pentes coïncident à la Dotse avec une exposition à l'est tandis qu'à l'Arpalle les plus fortes pentes (augmentation du rayonnement incident) sont souvent exposées plus à l'ouest (diminution du rayonnement), les deux effets se compensant donc probablement dans ce dernier cas. En outre, l'Arpalle se distingue de la Dotse pour sa microtopographie marquée de petits vallons dans l'axe de la pente et par une solifluxion (glissement du sol) bien visible.

### Piétinement

Les traces de piétinement se reconnaissent du sol nu «normal» de par leur orientation dans une direction privilégiée. Un certain piétinement a dû exister à la Dotse sur l'emplacement de l'exclos, avant 2007, année du début de l'étude. A l'Arpalle, le site montrait fort peu de traces, à part la sente notée sur la figure 7.

### pH du sol

Les sols de la Dotse ont un pH fort variable, atteignant 8,2 à proximité de la croix pour baisser jusqu'à 5,2, une centaine de mètres plus loin, à l'extrémité orientale du site (valeurs reportées sur la figure 7a). On observe aussi un gradient haut-bas, le bas des pentes étant

Site	Taille des échantillons	Moyenne [g/m <sup>2</sup> ]	Ecart-type	Rapport max/min
E Arpalle 08	5 x 2 m <sup>2</sup>	311	43	1,42
E Arpalle 09	10 x 1 m <sup>2</sup>	320	62	1,68
T Arpalle 08	5 x 2 m <sup>2</sup>	204	113	4,05
T Arpalle 09	10 x 1 m <sup>2</sup>	234	79	2,85
E Dotse 08	6 x 2 m <sup>2</sup>	86	13	1,44
E Dotse 09	10 x 1 m <sup>2</sup>	102	38	2,55
T Dotse 08	5 x 2 m <sup>2</sup>	62	23	3,72
T Dotse 09	7 x 1 m <sup>2</sup>	95	30	3,08

TABEAU 1 – Production annuelle d'herbe dans les deux sites d'étude en 2008 et 2009, pour les exclos (E) et les zones témoins pâturées (T). Les moyennes et écart-types sont standardisés afin de corriger la différence de surface des placettes. Les valeurs détaillées sont données dans les figures 7 et 8b.

presque toujours plus acides que les zones à proximité de la crête. Ce gradient marqué est probablement dû à une érosion éolienne sur la crête, complétée du lessivage des particules fines par les pluies, ralentissant la formation du sol. Le sol reste alors riche en éléments grossiers calcaires. Par contre, les parties plus basses ont un sol plus profond dû à l'accumulation de limons éoliens (loess) à l'abri du vent créé par la crête. A l'Arpalle, le pH est plus constant, variant entre 6,1 et 7,2 sur l'ensemble du site (figure 7).

## Production annuelle d'herbe

La coupe n'a pas eu lieu à la même date pour les deux saisons (quatre semaines plus précoce en 2009 qu'en 2008). Ce décalage a permis de mettre en évidence le fait que les zones témoins sont effectivement broustées, ce qui justifie donc la présence de ces dernières. Cette différence a évidemment une influence plus grande sur les zones témoins que sur les exclos. De plus, les résultats ne tiennent pas compte de trois des placettes témoins de la Dotse à cause de l'installation inopinée d'un parc à moutons qui a englobé cette zone en 2009 entre le 20 juillet et début août. Les valeurs obtenues sont présentées dans les figures 7 et 8 et les moyennes dans le tableau 1.

Dans l'ensemble, la production herbagère est plus importante à l'Arpalle qu'à la Dotse. Mais elle est aussi plus variable dans les zones témoin pâturées que dans les zones clôturées (coefficients max / min plus élevés). Ceci laisse supposer que les zones témoins sont pâturées de manière assez hétérogène, par les moutons.

Du tableau 1, on déduit les valeurs des tableaux 2 et 3. On constate que la productivité a été légèrement supérieure en 2009 (tab. 2), probablement suite à des

conditions météorologiques plus favorables. L'augmentation dans les zones témoins est évidemment aussi due en partie au décalage des dates de fauche. On remarque encore que dans chaque site et pour chaque année (tab. 3), la biomasse récoltée dans les zones témoins est plus basse que dans les exclos. Ceci était prévisible puisque les moutons ont accès à la zone témoin. On constate encore que pour un site donné, les coefficients sont plus élevés en 2008 qu'en 2009, ce qui est tout à fait logique car en 2009 on a fauché plus tôt donc les moutons ont eu moins de temps pour brouter. Finalement, l'herbe est plus broutée à l'Arpalle qu'à la Dotse (1,52 vs. 1,37 en 2008 et 1,36 vs. 1,06 en 2009), ce qui correspond aux impressions des bergers : présence de refus à la Dotse alors que celui de l'Arpalle trouve l'herbe en général «belle».

	E Arpalle	T Arpalle	E Dotse	T Dotse
Rapport 2009/2008	1,03	1,15	1,19	1,54

	Arpalle 08	Arpalle 09	Dotse 08	Dotse 09
Coeff E/T	1,52	1,36	1,37	1,06

TABLEAU 2 – Biomasse annuelle d'herbe produite en 2009 par rapport à 2008.

TABLEAU 3 – Rapports des biomasses entre les zones non pâturées (exclos) et les surfaces pâturées (témoin).

	Ex stériles	Ex fleuries	T stériles	T fleuries	total stériles (Ex+T)	total fleuries (Ex+T)	total (Ex+T)	Proportion rosettes fleuries
2008	220	93	514	78	734	171	905	0,19
2009	238	58	544	113	782	171	953	0,18
2009/2008	1.08	0.62	1.06	1.45	1.065	1.00	1.05	

	Ex stériles	Ex fleuries	T stériles	T fleuries	total stériles (Ex+T)	total fleuries (Ex+T)	total (Ex+T)	Proportion rosettes fleuries
2008	263	49	268	46	531	95	626	0,15
2009	328	33	396	40	724	73	797	0,09
2009/2008	1.25	0.67	1.48	0.87	1.36	0.77	1.27	

TABLEAU 4 – Nombre de rosettes stériles et fleuries observées en 2008 et 2009 à l'Arpalle (décomptes sur 10m<sup>2</sup>). Ex: exclos (pas de pâturage); T: témoin (potentiellement pâturé par les moutons).

TABLEAU 5 – Nombre de rosettes stériles et fleuries observées en 2008 et 2009 à la Dotse (décomptes sur 10 m<sup>2</sup>). Ex: exclos (pas de pâturage); T: témoin (potentiellement pâturé par les moutons).

## Synthèse des conditions écologiques des deux sites

Les deux sites d'études présentent donc des conditions pédologiques différentes. Ceci pourrait évidemment être vérifié avec une description plus complète des sols, mais les mesures effectuées et la végétation donnent déjà une bonne idée de la situation.

Globalement, l'Arpalle possède certainement des sols plus profonds que la Dotse, permettant une meilleure rétention en eau. De plus, l'apport régulier de matériaux grossiers (et certainement fins aussi) depuis l'amont permet de compenser la lixiviation naturelle (entraînement des carbonates et autres nutriments par infiltration de l'eau de pluie), importante à ces altitudes, et donc de maintenir un pH élevé (neutre à très légèrement acide) ainsi qu'un sol riche en substances nutritives. Ces facteurs se traduisent par une plus grande productivité et une présence marquée des espèces des *Seslerietea*. Les conditions varient avec une plus grande amplitude à la Dotse, qui montre une différence marquée entre la crête et les pentes en contrebas. Sur la crête, c'est probablement l'érosion éolienne qui maintient le pH élevé des sols, contrairement aux pentes qui montrent un pH nettement acide sur un sol probablement plus profond. Ceci se marque par une végétation calcicole avec des espèces de l'Elynion sur la crête et des espèces nettement plus acidophiles en dessous. L'absence d'apports réguliers par le haut, mais peut-être aussi la qualité de la roche-mère, induit des sols plus pauvres en substances nutritives, et donc une production annuelle d'herbe plus faible qu'à l'Arpalle.

## RÉPARTITION DES COLONIES D'EDELWEISS

### Importance des colonies

Le nombre de rosettes stériles et fertiles observées pour chaque site sont donnés dans les figures 7 et 8 et les tableaux 4 et 5, le détail par placette est donné dans l'annexe 3. Ces nombres se rapportent tous à des surfaces de 10 m<sup>2</sup>.

Globalement, en sommant les valeurs des exclus et témoins, le nombre de rosettes stériles augmente de 2008 à 2009 (+ 6,5% à l'Arpalle; + 36% à la Dotse), alors que celui des rosettes fleuries est constant ou en baisse (stable à l'Arpalle, - 23% à la Dotse). Le nombre total de rosettes augmente de 5 % à l'Arpalle et de 27% à la Dotse. La différence la plus remarquable entre les deux sites concerne le taux de floraison des rosettes. En effet, il reste pratiquement inchangé de 2008 à 2009 à l'Arpalle (19% et 18%), mais baisse de 15% à 9% à la Dotse. En fait, si on regarde plus en détail, le nombre de tiges fleuries a diminué partout (de 13 à 38%), sauf dans la zone témoin de l'Arpalle (l'augmentation spectaculaire de 45% pourrait être due au stress causé par les moutons. Par contre, la reproduction végétative a été plus

importante partout (plus de rosettes stériles), (augmentation de 6 à 48%). A ce stade, on ne peut pas encore dire quelles sont exactement les parts du climat, du stress ou tout simplement du hasard. En outre, un antagonisme pourrait exister entre floraison et production végétative.

## Relations entre edelweiss et facteurs environnementaux

Les groupes 1 et 2 de l'Arpalle et 1 et 2 de la Dotse (annexe 2) totalisent la majorité des relevés et eux seuls comprennent des edelweiss. Les deux sites ont d'ailleurs été choisis de manière à inclure aussi des zones dépourvues d'edelweiss. Tous ces groupes sont caractérisés par une dominance des espèces de pelouses subalpines-alpines sur calcaire (*Seslerietea*). Le groupe 2 de la Dotse montre une tendance à des conditions plus acides, mais les espèces acidophiles sont tout de même moins abondantes que dans les groupes 3 et 4 de ce site.

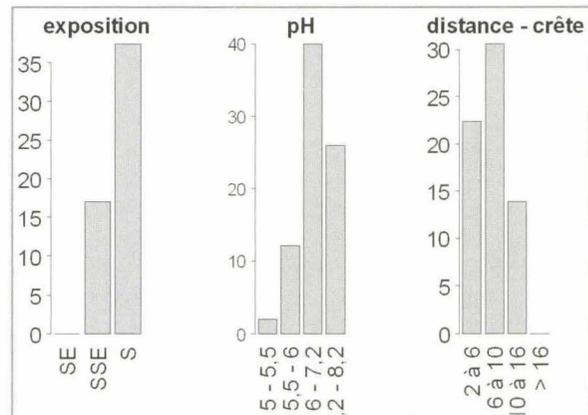
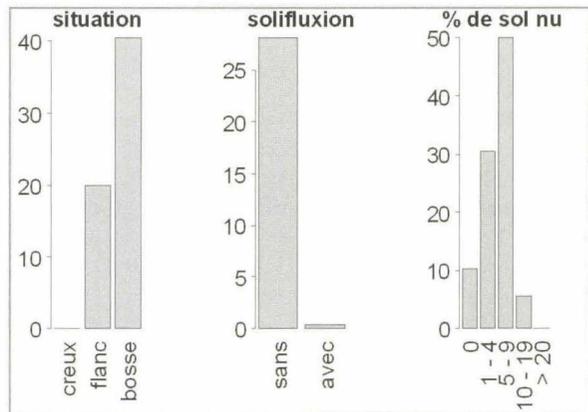


FIGURE 13 – Variables environnementales fortement corrélées à l'abondance des edelweiss à l'Arpalle. En ordonnées, les nombres moyens de rosettes.

FIGURE 14 – Variables environnementales fortement corrélées à l'abondance des edelweiss à la Dotse. En ordonnées, les nombres moyens de rosettes.

Comme exposé plus haut, une analyse de redondance, non présentée ici, a été préalablement réalisée afin de mettre en évidence les principales variables environnementales. Cependant afin de simplifier la représentation, les corrélations entre l'abondance des edelweiss et les variables les plus importantes montrées par cette analyse sont présentées à l'aide d'histogrammes (fig. 13 et 14).

A l'Arpalle les principales variables environnementales sont la microtopographie (situation), la solifluxion et la présence de sol nu (fig. 13). Les edelweiss ont une nette préférence pour les bosses, mais la présence de niches d'arrachement du sol (solifluxion) est défavorable. La distribution est unimodale par rapport à la proportion de sol nu. Un sol légèrement dénudé favoriserait les edelweiss (faible compétition par les autres espèces), mais non au delà de 10%. Ces conditions peuvent être dues à la solifluxion ou à d'autres causes non encore cernées, mais trahissent probablement une intensité de perturbations trop importante pour l'espèce. Quant à l'exposition et à la pente, elles ne sont presque pas corrélées à l'abondance des rosettes. Il ressort de l'analyse que le pH est peu corrélé à l'abondance des rosettes, ce qui est peu surprenant étant donné que ce facteur varie fort peu.

A la Dotse, les principales variables environnementales sont l'exposition, le pH et la proximité à la ligne de crête (fig. 14). Comme mentionné plus haut, les placettes tournées le plus à l'est montrent aussi les pentes les plus faibles et les sols les plus acides. Cette corrélation entre variables fait qu'il est donc plus difficile de définir les conditions recherchées par l'Edelweiss sur ce site, mais il semble clair que l'espèce est plus abondante pour des valeurs de pH proches de la neutralité. Quant à la microtopographie (creux, flanc ou bosse), elle varie trop peu pour avoir une influence significative.

L'examen simultané des figures 7 et 11 d'une part et 8b et 12 d'autre part montre que pour un même groupe, des placettes de l'Arpalle voisines peuvent montrer de grandes différences du nombre de rosettes. A la Dotse, il y a moins de différences entre placettes voisines, même si elles appartiennent à des groupes différents. Ceci est à mettre en relation avec la microtopographie de l'Arpalle (vallons dans le sens de la pente) qui induit probablement une compétition des autres espèces plus importante dans les creux que sur les bosses. Par contre, à la Dotse les variations de la topographie sont progressives. Une remarque : sur la sente créée par le troupeau à l'Arpalle (fig. 7), la placette N° 35 est encore très riche en edelweiss mais les N°s 36 et 37 n'en possèdent pas (ou n'en possède plus ?). Il faudra suivre attentivement ce secteur au cours des années à venir.

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Bien que la productivité diffère considérablement entre les deux sites (près de quatre fois plus élevée à l'Arpalle), le nombre de rosettes foliaires est du même ordre de grandeur sur les deux sites (une vingtaine par m<sup>2</sup> avec des maxima atteignant 100 à 130 rosettes par m<sup>2</sup>).

Ceci démontre que l'Edelweiss n'est pas limité aux crêtes rocheuses mais qu'elle peut pousser dans des milieux propices aux activités agropastorales. L'espèce est donc susceptible d'être influencée par la gestion des alpages. Cependant, l'écologie générale de l'espèce est encore insuffisamment connue et une étude plus fine des populations en fonction de divers facteurs environnementaux sur l'ensemble des Alpes romandes devrait compléter à l'avenir nos connaissances.

Bien que le site de l'Arpalle soit vallonné, son pH varie peu en comparaison du site de la Dotse sans microtopographie marquée. Par contre, ce dernier site montre un contraste important entre la situation de crête et le versant.

Si le pH varie peu à l'Arpalle, on observe cependant de fortes variations d'abondance des edelweiss, et ceci sur de courtes distances. Ce fait est très probablement lié à la microtopographie, qui modifie les conditions de croissance des plantes (profondeur du sol, compétition entre espèces, ...), mais une influence du pâturage qui a déjà eu lieu dans le passé n'est pas exclue. A la Dotse, où l'estivage n'est pratiqué que depuis 2001, il est difficile de connaître l'impact qu'a eu le troupeau sur la végétation. Toutefois, nous espérons pouvoir tirer d'ici quelques années un enseignement de l'effet de la pose d'un parc qui a touché en partie la zone témoin, créant donc brusquement et momentanément une très forte pression de pâture.

Un premier pas a pu être fait dans la compréhension de la structure des populations avec la mise en évidence de grandes variations dans les proportions de rosettes fleuries par rapport aux rosettes stériles. Il s'agit là sans doute d'un paramètre fondamental intégrant l'influence de facteurs multiples, tels que les rythmes endogènes, le climat ou le pâturage. Au cours des prochaines années, nous espérons observer l'apparition de nouvelles colonies, ce qui nous permettrait de mettre en relation la dynamique de l'espèce avec le type de végétation ou le type d'exploitation.

L'état de la végétation en zone alpine est le résultat d'une longue histoire au cours de laquelle le bétail a contribué à façonner le paysage. Des changements d'utilisation de l'espace, comme on peut l'observer ces dernières décennies avec une très forte augmentation des troupeaux de moutons sur les alpages, sont susceptibles de remodeler la répartition des espèces. L'effet de ces changements peut être négatif comme positif sur la biodiversité, mais seules des études scientifiques précises sont à même d'en évaluer l'impact. Dans le cas des moutons, elles manquent encore trop souvent.

**REMERCIEMENTS**

Nous remercions vivement la Fondation du Dr Ignace Mariétan, le groupe Weleda pour leur soutien financier, Christoph Carlen (directeur) et José Vouillamoz (biologiste) de la station Agroscope à Conthey pour des analyses de pH, la coopérative Valplantes S.A. à Sembrancher pour le séchage de l'herbe, les agriculteurs Dominique Duay et Olivier Sarrasin qui ont accepté l'implantation des sites d'étude, Alain Darbellay et les bergers Guillaume, Johan et Pascal pour leurs coups de main, les ingénieurs agronomes Marco Meisser, Manuel Schneider et Jakob Troxler pour les conseils prodigués, ainsi que Jean-Claude Praz conservateur du Musée de la nature à Sion, et Charly Rey, pour son expertise du site de la Dotse. Nous remercions finalement la Commune d'Orsières pour l'aide à la publication.

**BIBLIOGRAPHIE**

BRAUN-BLANQUET, J. & J. Jenny 1926. Vegetationsentwicklung und Bodenbildung in der alpinen Stufe der Zentralalpen. *Denkschr. Schweiz. Naturforsch. Ges.*, Zürich 63: 183-349.  
 BURRI, M & C. MARRO 1993. Atlas géologique de la Suisse – Feuille 1345 Orsières. Service hydrologique et géologique national.  
 DELARZE, R. & Y. GONSETH 2008. *Guide des milieux naturels de Suisse*. Rossolis, Bussigny. 424 pp.  
 HEGI, G. 1964-1979. *Illustrierte Flora von Mitteleuropa*, 2<sup>ème</sup> éd. Paul Parey, Berlin-Hamburg.

KELLER, R. 2008. *Mode d'emploi concernant l'utilisation d'outils d'ArcGIS pour la mesure de la luminosité*. Rapport interne. Institut de géomatique et d'analyse du risque (IGAR), Université de Lausanne.  
 LANDOLT, E. 1977. Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. *Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel Zürich* 64: 1-208.  
 LAUBER, K. & G. WAGNER (2000). *Flora Helvetica*. Haupt, Berne. 1616 pp.  
 LEGROS, J.-P. 2007. *Les grands sols du monde*. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne. 574 pp.  
 MOSER, D.M, A. GYGAX, B. BAÜMLER, N. WYLER & R. PALESE 2002. *Liste rouge des espèces menacées en Suisse – Fougères et plantes à fleurs*. Série OFEFP «L'Environnement pratique». Centre du réseau suisse de floristique, Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève, Chambésy. 118 pp.  
 OBERDORFER, E. 1990. *Pflanzensoziologische Exkursionsflora*. Ulmer Verlag, Stuttgart. 1050 pp.  
 OULIANOFF, N. & R. TRÜMPY 1958. *Atlas géologique de la Suisse – Feuille 1365 Grand Saint-Bernard*. Commission géologique suisse.  
 R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2007. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>  
 SPIESS, E. 1990. *Atlas de la Suisse*. Office fédéral de la topographie, Wabern-Berne.  
 VUST, M. & P. GALLAND 2001. *Les plantes protégées de Suisse*. Delachaux et Niestlé, Lausanne, Paris. 271 pp.  
 ZAPPELLAZ, A. 2003. *Analyse de gestion d'un alpage ovin gardienné en permanence par un berger*. Travail de diplôme, Haute école suisse d'agronomie, Zollikofen.



**ANNEXE 1 –** Tableau synthétique des relevés phytosociologiques dans les deux sites d'étude. Classes de fréquences d'occurrence dans les relevés : r, 0-10% ; I, 10-20 % ; II, 20-40% ; III, 40-60 % ; IV, 60-80 % ; V, > 80 %. Les espèces présentes dans moins de deux groupes n'ont pas été retenues dans ce tableau.

Site	Arpalle				Dotse			
<b>Groupes selon NMDS</b>	4	3	1	2	1	2	3	4
<b>Nombre de relevés</b>	2	3	20	15	7	18	6	9
<b>Nombre moyen d'espèces</b>	10.0	13.3	20.1	17.9	14.1	23.5	21.0	18.7
Ecart-type	2.8	5.1	2.9	3.9	4.3	4.0	3.7	2.0
<b>Carici rupestris-Kobresietea (crêtes ventées sur calcaire)</b>								
<i>Potentilla crantzii</i>	V	II	III	I	IV	V	III	IV
<i>Aster alpinus</i>	III		V	IV	V	IV	II	II
<i>Elyna myosuroides</i>			II	I	V	III	I	I
<i>Dryas octopetala</i>					II	II	V	
<i>Gentiana nivalis</i>			I	r	II	III	I	I
<i>Oxytropis campestris</i>			II	III	I			
<b>Seslerietea albicantis (pelouses subalpines-alpines sur calcaire)</b>								
<i>Sesleria caerulea</i>	V	V	V	V	V	V	III	III
<i>Carex sempervirens</i>	V	II	V	V	III	V	V	V
<i>Galium anisophyllum</i>	V	II	V	IV	I	V	V	IV
<i>Festuca quadriflora</i>			V	IV	V	V	III	IV

Site	Arpalle				Dotse			
<b>Seslerietea albicantis</b>			I					
<i>Leontopodium alpinum</i>			I	III	V	V		
<i>Festuca violacea</i> aggr.		V	V	I		II	IV	
<i>Helianthemum nummularium</i> subsp. <i>grandiflorum</i>	V	V	V	IV				
<i>Myosotis alpestris</i>	V	II	V	V				II
<i>Hedysarum hedysaroides</i>		IV	V	V				
<i>Hieracium villosum</i>	III			I	I			
<i>Anthyllis vulneraria</i> subsp. <i>alpestris</i>			I	III		II	I	
<i>Pedicularis verticillata</i>			I	V	I	I		
<i>Carduus defloratus</i> s.str.			I	r	I	IV	II	II
<i>Erigeron alpinus</i>			I	r	II	V	II	II
<i>Biscutella laevigata</i>		II	I	I			V	I
<i>Gentiana clusii</i>	III		I	II	II	I	I	III
<i>Scabiosa lucida</i>		II	I	II		r		
<i>Silene acaulis</i>		II		r	III	I		
<i>Phyteuma orbiculare</i>		II	r				II	

**Nardo-Callunetea (nardaies)**

<i>Arnica montana</i>						IV	V	V
<i>Trifolium alpinum</i>						II	V	V
<i>Leontodon helveticus</i>			I			II	IV	V
<i>Antennaria dioica</i>			I	I		IV	II	IV
<i>Luzula multiflora</i>			I	I		I	II	IV
<i>Hieracium angustifolium</i>					I	III		V
<i>Gentiana campestris</i> s.str.					I	II		I
<i>Potentilla grandiflora</i>						II	II	II

**Juncetea trifidi**  
(pelouses alpines acides sur silice)

<i>Pulsatilla vernalis</i>					III	IV	IV	V
<i>Anthoxanthum alpinum</i>		V	I			IV	IV	V
<i>Helictotrichon versicolor</i>			r	r		IV	I	V
<i>Campanula scheuchzeri</i>	III		I	II		I		

**Marais**

<i>Primula farinosa</i>		II	V	IV	I	V	V	V
<i>Parnassia palustris</i>		II	V	III	IV	IV	I	
<i>Bartsia alpina</i>		II	V	IV				

**Forêts et landes**

<i>Vaccinium vitis-idea</i>						IV	IV	V
<i>Thalictrum minus</i>		V	r					
<i>Homogyne alpina</i>		II	I	r		II	II	

Site	Arpalle				Dotse			
Autres formations								
<i>Festuca ovina</i> aggr.	V	IV	V	IV	II	IV	III	V
<i>Polygonum viviparum</i>		II	V	V	V	V	IV	V
<i>Minuartia verna</i>				I	III	V	I	
<i>Thymus serpyllum</i> aggr.		II	r		III	IV	II	
<i>Geranium sylvaticum</i>		V	I	r				
<i>Salix reticulata</i>			I	IV				
<i>Alchemilla vulgaris</i> aggr.			r	r			I	I
<i>Gypsophila repens</i>			I	II	I			
<i>Ligusticum mutellina</i>					II	r		I
<i>Salix retusa</i>				r	III	I		I
<i>Poa alpina</i>			I			r	I	



ANNEXE 2 – Moyennes des indices de Landolt (1977) des groupes issus de la classification NMDS pour l'Arpalle (Arp) et la Dotse (Dot). Les dernières lignes donnent les moyennes par site et la significativité de la différence entre les deux sites selon un test de t (ns, non significatif; \*\*\*, hautement significatif). Les abréviations des en-têtes de colonnes sont: D, diversité; F, humidité; H, teneur en humus; L, lumière; N, substances nutritives dans le sol; R, pH du sol; T, température.

Site et groupe	Nbre relevés		D	F	H	L	N	R	T
Arp 1	20	Moyenne	3.48	2.65	3.17	4.13	2.30	3.42	1.78
		Ecart-type	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08	0.09	0.04
Arp 2	15	Moyenne	3.32	2.63	3.19	4.17	2.20	3.56	1.77
		Ecart-type	0.11	0.15	0.10	0.09	0.10	0.12	0.06
Arp 3	3	Moyenne	3.62	2.67	3.12	3.80	2.58	3.19	1.86
		Ecart-type	0.06	0.10	0.06	0.10	0.12	0.16	0.16
Arp 4	2	Moyenne	3.09	2.36	3.04	4.07	2.27	3.38	1.68
		Ecart-type	0.08	0.02	0.05	0.10	0.01	0.09	0.04
Dot 1	7	Moyenne	3.04	2.43	3.09	4.48	1.89	3.52	1.76
		Ecart-type	0.17	0.13	0.25	0.14	0.08	0.16	0.12
Dot 2	18	Moyenne	3.45	2.49	3.30	4.14	2.03	3.14	1.76
		Ecart-type	0.11	0.07	0.08	0.08	0.09	0.14	0.07
Dot 3	6	Moyenne	3.55	2.53	3.34	4.05	2.11	2.96	1.85
		Ecart-type	0.10	0.08	0.15	0.09	0.06	0.04	0.07
Dot 4	9	Moyenne	3.66	2.51	3.48	4.03	2.07	2.75	1.71
		Ecart-type	0.07	0.09	0.09	0.09	0.09	0.17	0.08
Arpalle		Moyenne	3.41	2.63	3.17	4.12	2.28	3.45	1.78
Dotse		Moyenne	3.44	2.49	3.31	4.16	2.02	3.09	1.76
		Significativité	ns	***	***	ns	***	***	ns

ANNEXE 3 – Nombres moyens totaux de rosettes (fleuries + stériles) sur les placettes en 2008 et 2009, pour l'Arpalle et la Dotse. Nos 1 à 20: exclus, 21 à 40: témoins.

Arpalle	Total 2008	Total 2009	Dotse	Total 2008	Total 2009
1	8	7	1	11	8
2	63	80	2	34	35
3	0	0	3	53	42
4	0	0	4	4	6
5	0	0	5	42	64
6	13	15	6	20	21
7	7	10	7	11	15
8	36	26	8	3	5
9	7	4	9	0	4
10	29	31	10	10	17
11	0	0	11	25	33
12	0	0	12	0	0
13	0	0	13	42	45
14	0	0	14	19	24
15	139	110	15	27	29
16	0	0	16	0	3
17	0	0	17	11	10
18	8	10	18	0	0
19	3	3	19	0	0
20	0	0	20	0	0
21	0	0	21	55	57
22	78	87	22	13	12
23	150	137	23	93	117
24	0	0	24	47	62
25	21	26	25	36	58
26	0	0	26	9	15
27	2	2	27	38	50
28	0	0	28	15	24
29	0	0	29	28	41
30	0	0	30	0	0
31	0	0	31	0	0
32	0	0	32	0	0
33	50	50	33	0	0
34	107	138	34	0	0
35	136	163	35	0	0
36	0	0	36	0	0
37	0	0	37	0	0
38	6	9	38	0	0
39	24	23	39	0	0