

**RICHTLINIEN  
HOCHLAGEN-  
BEGRÜNUNG**

**DIRECTIVES POUR  
LA VÉGÉTALISATION  
EN ALTITUDE**

**LINEE GUIDA PER  
L'INVERDIMENTO  
IN ALTA QUOTA**



**INGENIEURBIOLOGIE  
GÉNIE BIOLOGIQUE  
INGEGNERIA NATURALISTICA  
INSCHENIERA BIOLOGICA**

**Proposition de citation :**

Peters, M., K. Edelkraut, M. Schneider & C. Rixen [2019]: Richtlinien Hochlagenbegrünung. Ingenieurbiologie 3:1-64. ISSN 1422-008

# Sommaire

## Auteurs



Monique Peters



Kirsten Edelkraut



Manuel Schneider



Christian Rixen

### Photo de couverture:

*Soden werden sorgfältig abgeschält für die Wiederverwendung (Foto: K. Edelkraut)*

*Les mottes sont soigneusement rabotées afin d'être réutilisées (photo : K. Edelkraut).*

*Le zolle vengono accuratamente preparate per il riutilizzo (Foto: K. Edelkraut)*

<b>Résumé</b>	<b>8</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>11</b>
1.1 Auteur	11
1.2 Objectif	11
1.3 Domaine de validité	11
1.4 Application des directives (contenu, structure et articulation)	12
<b>2 Définitions</b>	<b>13</b>
2.1 Glossaire	13
2.2 Liste des abréviations	16
<b>3 Conditions locales et cadre juridique</b>	<b>17</b>
3.1 Facteurs de localisation liés aux sites en altitude	17
3.2 Bases légales	22
<b>4 Mise en projet</b>	<b>23</b>
4.1 Acteurs	23
4.2 Contrôle de qualité	24
4.3 Approche du site	24
4.4 Objectif de la végétalisation	27
4.5 Choisir une méthode de végétalisation	29
4.6 Soumission	30
4.7 Documentation	30
4.8 Liste de contrôle	31
<b>5 Travaux préliminaires</b>	<b>32</b>
5.1 Préparation du chantier	33
5.2 Protection du sol / humidité du sol	33
5.3 Sécurisation / Conservation du matériel végétal et du sol	33
<b>6 Exécution des travaux</b>	<b>35</b>
6.1 Préparation du sol pour la végétalisation	35
6.2 Matériel végétal	36
6.3 Procédure de végétalisation	39
6.4 Adjuvants	41
6.5 Déroulement temporel des travaux de végétalisation	44
6.6 Travaux de finition	45
<b>7 Réception et contrôle des résultats</b>	<b>46</b>
7.1 Réception	46
7.2 Contrôle des résultats	47
<b>8 Soins de croissance / Travaux de clôture</b>	<b>48</b>
8.1 Soins de croissance	48
8.2 Réensemencement et complément de plantation	49
<b>9 Réutilisation du site, entretien</b>	<b>50</b>
9.1 Critères pour (re)mise en utilisation	50
9.2 Fauchage	50
9.3 Pâturage	51
9.4 Compensation des pertes de production	51
<b>10 Perspectives</b>	<b>52</b>
<b>11 Bibliographie</b>	<b>53</b>

## Remerciements



INGENIEURBIOLOGIE  
GÉNIE BIOLOGIQUE  
INGEGNERIA NATURALISTICA  
INSCHENIERA BIOLOGICA



Zürcher Hochschule  
für Angewandte Wissenschaften



Life Sciences and  
Facility Management

IUNR Institut für Umwelt und  
Natürliche Ressourcen



temperatio

Stiftung für Umwelt | Soziales | Kultur



Paul Schiller Stiftung

La présente nouvelle édition des Directives pour la végétalisation en altitude a été rendue possible grâce au généreux soutien financier de la Fondation Paul Schiller, Zurich, et de la Fondation Temperatio, Maur. Nous tenons également à remercier les membres du Groupe de travail pour la végétalisation en altitude pour leurs échanges réguliers d'expériences et leurs précieuses contributions techniques: Urs Müller (Begrünungen Hunn AG, Muri), Tobias Schmid (Otto Hauenstein Samen, Rafz), Markus Schutz (Schutz Filisur Samen und Pflanzen AG, Filisur), et Marc Lehmann (Eric Schweizer AG, Thun). Nous remercions également tout particulièrement les personnes suivantes pour leur soutien: Bertil Krüsi (ZHAW, Wädenswil), Igor Canepa (Swiss Helicopter SA, Gordola), Lukas Geser (Stiftung Wirtschaft und Ökologie SWO, Schwerzenbach), Sybil Rometsch (Info Flora, Berne), Union Suisse des Paysans, Brugg, Nina von Albertini (Nina von Albertini Umwelt Boden Bau, Paspels), Stefan Birrer (Hintermann & Weber AG, Reinach), les auteurs de la première édition des directives, ainsi que Rolf Studer et Michel Jaeger pour les traductions en français et en italien.

### Dank

Die vorliegende Neuauflage der Richtlinien für Hochlagenbegrünung wurde ermöglicht durch die grosszügige finanzielle Unterstützung durch die Paul Schiller Stiftung, Zürich, und die Stiftung Temperatio, Maur. Wir danken weiter den Kollegen der Arbeitsgruppe Hochlagenbegrünung für den regelmässigen Erfahrungsaustausch und die wertvollen Anmerkungen: Urs Müller (Begrünungen Hunn AG, Muri), Tobias Schmid (Otto Hauenstein Samen, Rafz), Markus Schutz (Schutz Filisur Samen und Pflanzen AG, Filisur), und Marc Lehmann (Eric Schweizer AG, Thun). Weiter wird im Besonderen folgenden Personen für inhaltliche Unterstützung gedankt: Bertil Krüsi, Igor Canepa (Swiss Helicopter SA, Gordola), Lukas Geser (Stiftung Wirtschaft und Ökologie SWO, Schwerzenbach), Sybil Rometsch (Info Flora, Bern), Schweizerischer Bauernverband, Brugg, Nina von Albertini (Nina von Albertini Umwelt Boden Bau, Paspels), Stefan Birrer (Hintermann & Weber AG, Reinach), den Autorinnen und Autoren der Erstauflage der Richtlinien sowie Rolf Studer und Michel Jaeger für die Übersetzungen ins Französische und Italienische.

### Ringraziamenti

La presente nuova edizione della linea guida per l'inverdimento in alta quota è stata resa possibile grazie al generoso sostegno finanziario della Fondazione Paul Schiller, Zurigo, e della Fondazione Temperatio, Maur. Desideriamo inoltre ringraziare i membri del Gruppo di lavoro per l'inverdimento in alta quota per il loro regolare scambio di

esperiienze e per i preziosi contributi tecnici: Urs Müller (Begrünungen Hunn AG, Muri), Tobias Schmid (Otto Hauenstein Samen, Rafz), Markus Schutz (Schutz Filisur Samen und Pflanzen AG, Filisur) e Marc Lehmann (Eric Schweizer AG,

Thun). Un ringraziamento speciale va anche alle seguenti persone per il loro sostegno: Bertil Krüsi, Igor Canepa (Swiss Helicopter SA, Gordola), Lukas Geser (Stiftung Wirtschaft und Ökologie SWO, Schwerzenbach), Sybil Rometsch (Info Flora, Berna), L'Unione Svizzera dei Contadini, Brugg, Nina von Albertini (Nina von Albertini Umwelt Boden Bau, Paspels), Stefan Birrer (Hintermann & Weber AG, Reinach), gli autori della prima edizione delle linee guida, nonché Rolf Studer e Michel Jaeger per le traduzioni in francese e italiano.

# HOWOLIS



## Erosionsschutzvlies Der ökologische Schutz aus Schweizer Holz.

Mögliche Einsatzgebiete:

- Hangsicherung, Böschungssicherung

Nutzen:

- Natürlicher Schutz gegen Wind- und Wassererosion
- Sorgt für einen sofortigen und anhaltenden Erosionsschutz
- Sorgt für ein optimales Klima (Temperatur, Licht, Wasser) und für einen mikroklimatischen Ausgleich
- Beeinflusst die Keimung des Saatguts positiv
- Einfach zu verlegen
- Biologisch abbaubar, verrottet zu Humus
- Unbeschränkt haltbar

Howolis Erosionsschutzvliese werden aus 100% Schweizer Holz hergestellt - mit einer nachhaltigen und umweltschonenden Ökobilanz (FSC®, PEFC, HSH-zertifiziert).



Lindner Suisse GmbH  
Bleikenstrasse 98  
CH-9630 Wattwil  
Phone +41 (0) 71 987 61 51  
Fax +41 (0) 71 987 61 59  
holzvolle@lindner.ch | www.lindner.ch



[www.facebook.com/Howolis](https://www.facebook.com/Howolis)



## Avant-propos

---

La première version des présentes directives, publiée il y a douze ans dans le numéro 2/2008 de notre bulletin Génie biologique, a apporté une contribution importante à la diffusion des connaissances actuelles avec des recommandations pour la planification et la réalisation de projets de végétalisation en altitude dans l'arc alpin. De cette manière, il a été démontré aux ingénieurs en charge des planifications, aux maîtres d'ouvrage et aux autorités que les plantes peuvent apporter une contribution précieuse à la stabilisation durable des ouvrages ou à d'autres interventions humaines également en région alpine. Des projets ont été réalisés, les plantes ont entre-temps poussé et les connaissances nécessaires à leur engagement cohérent et adapté à la station ont également été acquises.

Les nouvelles connaissances issues de la recherche et les expériences acquises depuis la publication des premières directives il y a douze ans ont été complétées dans la présente version par des aides à la décision pour la sélection des méthodes, des matériaux végétaux et des additifs appropriés. Ainsi, les directives sont encore mieux adaptées aux besoins de la mise en œuvre.

L'avant-propos de la première édition de ces directives par le président de l'époque, Rolf Studer, est toujours valable. Les conditions extrêmes en région alpine entraînent un ralentissement massif des processus tels que la formation des sols et la croissance des plantes. La formation d'une pelouse alpine nécessite donc de très longues périodes de temps. Afin de pouvoir remédier plus rapidement aux effets des interventions structurelles, une bonne connaissance des écosystèmes alpins est nécessaire. Ces connaissances, ainsi que des instructions pratiques de mise en œuvre, sont transmises dans cet ouvrage.

Pour débiter, on veille à utiliser un langage uniforme afin que les participants puissent communiquer en conséquence. Le cadre juridique et les conditions du site sont les pierres angulaires de chaque projet. Une bonne planification des projets est essentielle pour une exécution sans heurts. Les acteurs et les éléments de la planification du projet sont expliqués en détails et servent ensuite à planifier les travaux préparatoires et l'exécution ciblée et respectueuse de l'environnement, tenant compte de tous les aspects pertinents pour la végétalisation. L'acceptation d'un projet de végétalisation repose sur l'hypothèse que le développement de la végétation va dans la bonne direction (planifiée), en tenant compte des éventuelles mesures d'entretien. Cette évolution est suivie par des contrôles d'efficacité réguliers, également après l'acceptation des travaux, jusqu'à ce que l'objectif de végétalisation soit atteint. Des retouches peuvent éventuellement être nécessaires.

Les auteurs ainsi que les membres du Groupe de travail pour une végétalisation en altitude (Arbeitsgruppe

Hochlagenbegrünung AGHB] de l'Association ont accompli un travail remarquable. Ce travail de référence trouvera certainement sa place méritée dans les projets de végétalisation et de revitalisation en altitude, où il existe, grâce aux efforts inlassables de tous les acteurs concernés, un large consensus interne.

Giovanni De Cesare, président de l'Association suisse pour le génie biologique

## Vorwort

Die erste Version der vorliegenden Richtlinien, herausgegeben vor zwölf Jahren im Heft Ingenieurbiologie 2/2008, leistete mit Empfehlungen für die Projektierung und Realisierung von erfolgreichen Hochlagenbegrünungen im alpinen Raum einen wichtigen Beitrag zur Verbreitung von aktuellem Wissen. Es wurde auf diese Weise den planenden Ingenieuren, den Auftraggebern sowie den Behörden veranschaulicht, dass Pflanzen auch im alpinen Raum einen wertvollen Beitrag zur nachhaltigen Stabilisierung von Bauwerken oder anderweitigen menschlichen Eingriffen leisten können. Projekte wurden ausgeführt, die Pflanzen sind in der Zwischenzeit gewachsen, und die Kenntnisse zu deren folgerichtigen und standortangepassten Einsatz ebenfalls. Neue Erkenntnisse aus der Forschung sowie die Erfahrungen, welche seit dem Erscheinen der ersten Richtlinie vor zwölf Jahren gemacht wurden, sind in der vorliegenden Version ergänzt durch Entscheidungshilfen für die Wahl der geeigneten Methoden, Pflanzenmaterialien und Zusatzstoffen. Dadurch werden die Richtlinien noch besser an die Bedürfnisse bei der Umsetzung angepasst.

Das Vorwort der ersten Ausgabe dieser Richtlinien vom damaligen Präsidenten Rolf Studer hat immer noch seine Gültigkeit. Die extremen Bedingungen im alpinen Raum führen zu einer massiven Verlangsamung von Prozessen wie Bodenbildung und Pflanzenwachstum. Die Bildung eines alpinen Rasens benötigt daher sehr lange Zeiträume. Um die Auswirkungen von baulichen Eingriffen schneller beheben zu können, braucht es fundierte Kenntnisse der alpinen Ökosysteme. Zusammen mit praktischen Handlungsanweisungen werden diese im vorliegenden Werk vermittelt.

Eingangs wird auf eine einheitliche Sprachregelung geachtet, damit die Beteiligten sich entsprechend verständigen können. Der rechtliche Rahmen sowie die Standortbedingungen sind die Grundpfeiler eines jeden Projektes. Eine gute Projektierung ist für einen reibungslosen Ablauf bei der Ausführung unerlässlich. Die Akteure und Elemente der Projektierung werden infolge eingehend dargelegt und dienen alsdann der Planung der Vorbereitungsarbeiten und der umweltschonenden, zielgerechten Ausführung, welche

alle begrünungsrelevanten Aspekte berücksichtigt. Mit der Abnahme einer Begrünung geht man davon aus, dass die Entwicklung der Vegetation unter Berücksichtigung allfälliger Unterhaltsmassnahmen in die richtige (geplante) Richtung geht. Mit regelmässigen Erfolgskontrollen wird diese Entwicklung auch nach der Werkabnahme bis zum Erreichen des Begrünungsziels überwacht. Allenfalls sind Nachbesserungen erforderlich.

Die Autoren sowie die Mitglieder der Arbeitsgruppe Hochlagenbegrünung (AGHB) des Vereins haben eine bemerkenswerte Arbeit geleistet. Dieses Standardwerk findet sicherlich seinen verdienten Platz bei Begrünungs- und Revitalisierungsprojekten in Hochlagen, wo dank dem unermüdlischen Einsatz aller Beteiligten ein breiter fachinterner Konsens besteht.

Giovanni De Cesare, Präsident des Schweizerischen Vereins für Ingenieurbiologie

## Premessa

La prima versione delle linee guida, pubblicata dodici anni fa nell'edizione 2/2008 della presente rivista di Ingegneria naturalistica, ha dato un importante contributo alla diffusione delle conoscenze attuali. Includeva raccomandazioni per la pianificazione e la realizzazione di progetti d'inverdimento in alta quota di successo nella regione alpina. In questo modo è stato mostrato ai progettisti, ai committenti e alle autorità che anche le piante possono dare un valido contributo alla stabilizzazione durevole delle opere o di altri interventi antropici nella regione alpina. Nel frattempo i progetti sono stati realizzati e le piante sono cresciute allo stesso tempo delle conoscenze per il loro utilizzo corretto e adattato al sito.

I nuovi risultati della ricerca nonché l'esperienza acquisita dalla pubblicazione della prima linea guida dodici anni fa sono stati integrati nella presente versione con ausili decisionali per la scelta di metodi, materiali vegetali e additivi adatti. In questo modo le linee guida si adattano ancora meglio alle esigenze per metterle in pratica le raccomandazioni.

La prefazione della prima edizione di queste linee guida dell'allora presidente Rolf Studer è ancora valida. Le condizioni estreme della regione alpina portano ad un massiccio rallentamento di processi come la formazione del suolo e la crescita delle piante. La formazione di un prato alpino richiede quindi periodi di tempo molto lunghi. Per poter rimediare più rapidamente agli effetti degli interventi costruttivi è necessaria una solida conoscenza degli ecosistemi alpini. Insieme alle istruzioni pratiche per intervenire, queste conoscenze vengono divulgate nel presente lavoro. All'inizio si pone l'attenzione sull'utilizzo di un linguaggio

uniforme in modo che gli attori coinvolti possano comunicare di conseguenza. Il quadro giuridico e le condizioni del luogo sono le fondamenta di ogni progetto. Una solida progettazione è infatti essenziale per una buona esecuzione. Gli attori e gli elementi del progetto vengono spiegati in dettaglio e servono poi a pianificare il lavoro preparatorio nonché un'esecuzione mirata e rispettosa dell'ambiente, che tiene conto di tutti gli aspetti rilevanti per l'inverdimento. Il collaudo di un progetto di rinverdimento si basa sul presupposto che la vegetazione si sviluppi nella giusta direzione, quella pianificata, tenendo comunque conto di possibili misure di manutenzione. Questo sviluppo è monitorato da regolari controlli dei risultati, anche dopo la presa a carico del lavoro da parte della committenza (o futura

responsabile), fino al raggiungimento dell'obiettivo di rinverdimento. Se necessario, dovranno essere implementati dei miglioramenti.

Gli autori e i membri del gruppo di lavoro per l'inverdimento in alta quota («Arbeitsgruppe für Hochlagenbegrünung» AGHB) dell'associazione per l'ingegneria naturalistica hanno svolto un lavoro notevole. Quest'opera troverà certamente il suo meritato posto nei progetti di rinverdimento e rivitalizzazione in alta quota, settore nel quale, grazie all'instancabile impegno di tutte le persone coinvolte, c'è un ampio consenso.

Giovanni De Cesare, Presidente dell'Associazione svizzera di ingegneria naturalistica.



**Unser Beratungs- und Ausführungsteam begleitet Ihre Projekte mit 55 Jahren Know-how.**

- 

**Ansaat**  
Wir begrünen alle Flächen und Böschungen in jedem Gelände und an jedem Standort.
- 

**EcoTex®-Geotextilien als Erosionsschutz**  
Wir liefern und verlegen Geotextilien aus Kokosfasern oder Jute; natürlich und biologisch abbaubar.
- 

**Sedummatten**  
Sie suchen vorkultivierte, sofort verlegbare Sedummatten für die extensive Begrünung von Böschungen, Verkehrsinseln, Garten- und Rasenabschlüssen oder Garagen und Carports? Wir liefern sie.
- 

**Ingenieurbiologie**  
Wir sind Ihr Ansprechpartner für verschiedene Stützkonstruktionen für Uferzonen und Böschungen.

Mehr Informationen und interessante Referenzobjekte finden Sie auf unserer Internetseite [www.hydrosaat.ch](http://www.hydrosaat.ch).

Senden Sie uns eine Mail an [hydrosaat@hydrosaat.ch](mailto:hydrosaat@hydrosaat.ch) oder rufen Sie uns an unter 026 322 45 25. Wir freuen uns auf Ihre Kontaktaufnahme!




## Résumé

---

Les écosystèmes en altitude sont des habitats sensibles et dignes de protection. Les mesures de construction, l'exploitation agricole inappropriée et les sports d'hiver peuvent laisser des cicatrices qui peuvent être résorbés par des mesures de végétalisation appropriées. En plus de protéger le sol de l'érosion, la végétalisation doit non seulement préserver l'attrait du paysage, mais aussi la riche biodiversité parfaitement adaptée aux conditions alpines. Lorsque des habitats dignes de protection abritant des espèces rares ou menacées sont endommagés, la loi exige également leur restauration.

Les conditions des sites en stations alpines et subalpines permettent uniquement un développement plus lent des processus biologiques et chimiques. Les basses températures, le vent ou l'érosion des sols entraînent une formation très lente des sols. La faible capacité de stockage de l'eau et la disponibilité des éléments nutritifs qui en résulte entravent la croissance des plantes. Le développement et l'établissement de la couverture végétale actuelle sont le résultat de processus très durables.

Après un dérangement causé par des interventions structurelles ou des événements naturels, la végétation en haute altitude tarde à se rétablir. De plus, la plupart des espèces végétales à cette altitude se propagent principalement par voie végétative et moins par les semences. Il est extrêmement important de protéger la végétation existante et de la réintroduire de la meilleure façon possible. Un autre aspect important est la protection des sols : seul un sol végétalisé est protégé de manière optimale contre des influences telles que l'érosion et l'affouillement.

Ces dernières années, les procédures de restauration de la végétation adaptée aux stations alpines ont gagné en importance. Les meilleurs résultats possibles sont obtenus en réutilisant directement la couverture végétale intacte sous forme de mottes, si nécessaire avec un stockage intermédiaire. Les semis sont inévitables si l'on ne peut pas, ou en quantité insuffisante, préparer les mottes de gazon. Les semences peuvent être appliquées de façon humide ou sèche. Le mélange de semences doit être régional, adapté à la station et ne pas contenir d'espèces non indigènes. Des additifs tels que la colle ou du mulch aident la graine à germer et à s'établir. Les semis sont souvent effectués à la fin de l'automne comme semis dormants afin que la germination se fasse au printemps dans des conditions optimales.

Afin d'éviter des dommages écologiques et économiques à long terme, il est intéressant de mettre en place une végétalisation de haute qualité offrant une bonne protection contre l'érosion et tenant compte autant que possible des préoccupations de la protection de la nature et du paysage. Celles-ci doivent déjà être prévues lors de la planification du projet.

**Mots-clés**

Végétalisation en altitude, adapté à la station, renaturation, génie biologique, stations d'altitude, habitat, alpin, érosion, valeur du paysage, valeur naturelle.

**Zusammenfassung**

Ökosysteme in Hochlagen sind empfindliche und schützenswerte Lebensräume. Baumassnahmen, unsachgemässe landwirtschaftliche Nutzung und der Wintersport können Narben hinterlassen, welche durch angepasste Begrünungsmassnahmen zu beheben sind. Neben dem Schutz des Bodens vor Erosion sollen Begrünungen nicht nur die landschaftliche Attraktivität, sondern auch die reiche, perfekt an die alpinen Verhältnisse angepasste Artenvielfalt erhalten. Bei Beeinträchtigungen von schutzwürdigen Lebensräumen mit seltenen oder gefährdeten Arten wird die Wiederherstellung auch vom Gesetzgeber vorgeschrieben.

Die Standortbedingungen der alpinen und subalpinen Höhenstufen lassen biologische und chemische Prozesse nur langsam ablaufen. Tiefe Temperaturen, Wind oder Bodenerosion führen zu sehr langsamer Bodenbildung. Die dadurch geringe Wasserspeicherkapazität und Nährstoffverfügbarkeit erschweren das Pflanzenwachstum. Die Entwicklung und Etablierung der heutigen Vegetationsdecke ist das Resultat von sehr lang andauernden Prozessen. Nach einer Störung durch bauliche Eingriffe oder durch natürliche Ereignisse erholt sich die Vegetation in Hochlagen nur sehr zögerlich. Zudem breiten sich die meisten Pflanzenarten in dieser Höhenlage vorwiegend vegetativ und weniger über Samen aus. Es ist daher äusserst wichtig, die bestehende Vegetation zu schützen und bestmöglich wiederanzulegen. Ein weiterer bedeutsamer Punkt ist der Aspekt des Bodenschutzes: Nur bewachsener Boden ist gegen Einflüsse wie Erosion und Auswaschung optimal geschützt.

In den letzten Jahren haben Verfahren zur Wiederherstellung einer standortgerechten Vegetation im Alpenraum weiter an Bedeutung gewonnen. Bestmögliche Resultate erzielt man mit der direkten Wiederverwendung der intakten Pflanzendecke in Form von Soden, wenn nötig mit Zwischenlagerung. Aussaaten sind unumgänglich, wenn keine oder zu wenig Soden abgeschält werden können. Das Saatgut kann nass oder trocken aufgebracht werden. Die Samenmischung sollte regional sein, dem Standort angepasst und keine gebietsfremden Arten enthalten. Zusatzstoffe wie Kleber oder Mulch helfen bei der Keimung und Etablierung der Saat. Häufig werden Aussaaten im Spätherbst als Schlafsaat ausgebracht, damit sie im Frühjahr bei optimalen Bedingungen keimen.

Um langfristig ökologischen und auch wirtschaftlichen

Schaden zu vermeiden, lohnt es sich, qualitativ hochstehende Begrünungen zu realisieren, welche einen guten Erosionsschutz bieten und die Anliegen von Natur- und Landschaftsschutz grösstmöglich berücksichtigen. Diese müssen bei der Projektplanung bereits vorgesehen werden.

**Keywords**

Hochlagenbegrünung, standortgerecht, Renaturierung, Ingenieurbiologie, Hochlagen, Lebensraum, alpin, Erosion, Landschaftswert, Naturwert

High elevation restoration, high altitude restoration site-specific, restoration, bioengineering, high elevation, high altitude, habitat, alpine, erosion, landscape value, natural value

**Riassunto**

Gli ecosistemi in alta quota sono habitat sensibili che meritano di essere protetti. Le costruzioni, l'uso agricolo inappropriato e gli sport invernali possono lasciare cicatrici, risanabili però con adeguate misure d'inverdimento. Oltre a proteggere il suolo dall'erosione, l'impianto di vegetazione non deve solo preservare l'attrattività del paesaggio, bensì anche la ricca biodiversità che si adatta perfettamente alle condizioni alpine. Inoltre, la legge prevede il risanamento nel caso che gli habitat degni di protezione con specie rare o minacciate vengano compromessi.

Le condizioni del luogo ad altitudini alpine e subalpine permettono ai processi biologici e chimici di procedere solo lentamente. Le basse temperature, il vento o l'erosione del suolo portano ad una formazione del suolo molto lenta. La conseguente bassa capacità di stoccaggio dell'acqua e la limitata disponibilità di nutrienti ostacolano ulteriormente la crescita delle piante. Lo sviluppo e la formazione dell'attuale copertura vegetale è dunque il risultato di processi molto lunghi.

Dopo un disturbo causato da interventi costruttivi o da eventi naturali, la vegetazione ad alta quota si riprende solo molto lentamente. Inoltre, la maggior parte delle specie vegetali a questa altitudine si diffonde principalmente per via vegetativa e meno per seme. È pertanto estremamente importante proteggere la vegetazione esistente e reintrodurla nel miglior modo possibile. Un altro punto importante è l'aspetto della protezione del suolo: solo un terreno invadito è protetto in modo ottimale da influssi come l'erosione e il dilavamento.

Negli ultimi anni, le procedure per il ripristino di una vegetazione adeguata al luogo nella regione alpina sono diventate sempre più importanti. I migliori risultati possibili si ottengono riutilizzando direttamente la copertura vegetale

del luogo sotto forma di zolle, se necessario con stoccaggio intermedio. La semina è inevitabile se non si riesce a rimuovere nessuna o troppe poche zolle. Il seme può essere applicato bagnato o asciutto. La miscela di semi deve essere regionale, adattata alla zona e non deve contenere specie non autoctone. Additivi come colla o pacciamatura aiutano il seme a germogliare e ad affermarsi. I semi sono spesso seminati in tardo autunno come semi dormienti in modo che possano germinare in primavera in condizioni ottimali.

Per evitare danni ecologici ed economici a lungo termi-

ne, vale la pena realizzare inverdimenti in alta qualità che offrano una buona protezione contro l'erosione e che tengano il più possibile conto delle esigenze di tutela della natura e del paesaggio. Questi devono infatti essere già previsti nella pianificazione del progetto.

#### Parole chiave

rinverdimento in alta quota, adeguato al luogo, rinaturazione, ingegneria naturalistica, regioni ad alta quota, habitat, alpino, erosione, valore paesaggistico, valore naturalistico

**Begrünungen Hunn**  
Mit der Natur als Partner

Begrünungen  
Samenmatten  
Sedummatten

Erosionsschutz  
und  
Böschungsbegrünung

Begrünungen Hunn AG  
Pilatusstrasse 14, 5630 Muri  
[www.begrueenungen-hunn.ch](http://www.begrueenungen-hunn.ch)

# 1 Introduction

---

## 1.1 Auteur

Le groupe de travail pour la végétalisation en altitude [AGHB Arbeitsgruppe für Hochlagenbegrünung] existe depuis 1996 en tant que groupe spécialisé de l'Association suisse pour le génie biologique. Il s'engage pour la promotion d'une végétalisation écologique et adaptée aux conditions en altitude. La première version des directives a été élaborée en collaboration avec le groupe de recherche Planification environnementale de la Haute école zurichoise des sciences appliquées [ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften] à Wädenswil, dans le cadre d'un travail de diplôme et d'un travail de semestre, avec le soutien financier et organisationnel de la division Prévention des dangers de l'Office fédéral de l'environnement. Cette deuxième version, entièrement révisée et élargie, a été élaborée par le groupe de recherche Écosystèmes de montagne au WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches [SLF] de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage à Davos, en tenant compte des résultats de recherche de la ZHAW à Wädenswil et du groupe de recherche Production fourragère et systèmes herbagers d'Agroscope, avec le soutien et les conseils techniques des membres de l'AGHB.

## 1.2 Objectif

Ces directives ont pour objectif d'améliorer la qualité de la végétalisation en altitude grâce à la définition de standards. Les autorités chargées de délivrer des autorisations et des concessions disposent ainsi d'un instrument de référence permettant d'évaluer les projets en altitude et d'uniformiser leur mise en œuvre au niveau national. Ces directives doivent en outre aider tous les intervenants dans la planification et l'exécution des végétalisations en altitude, de façon à obtenir efficacement des résultats durables, satisfaisant du point de vue écologique, et à éviter d'éventuels frais d'assainissement ultérieurs dus à des dommages causés par l'érosion.

## 1.3 Domaine de validité

Les présentes directives s'appliquent d'abord aux stations d'altitudes localisées dans les Alpes suisses. Les stations d'altitude désignent les zones des étages subalpin, alpin et nival des Alpes suisses situées au-dessus de 1500 m. Ces directives tiennent compte des conditions légales et géographiques de la Suisse, mais peuvent aussi, en grande partie, être appliquées à des stations d'altitude en dehors de la Suisse.

## 1.4 Application des directives [contenu, structure et articulation]

Afin de répondre aux différents besoins, deux versions ont été rédigées. La version longue, complète, sert d'ouvrage de référence, tandis que la version courte est utilisée comme liste de contrôle sur le chantier.

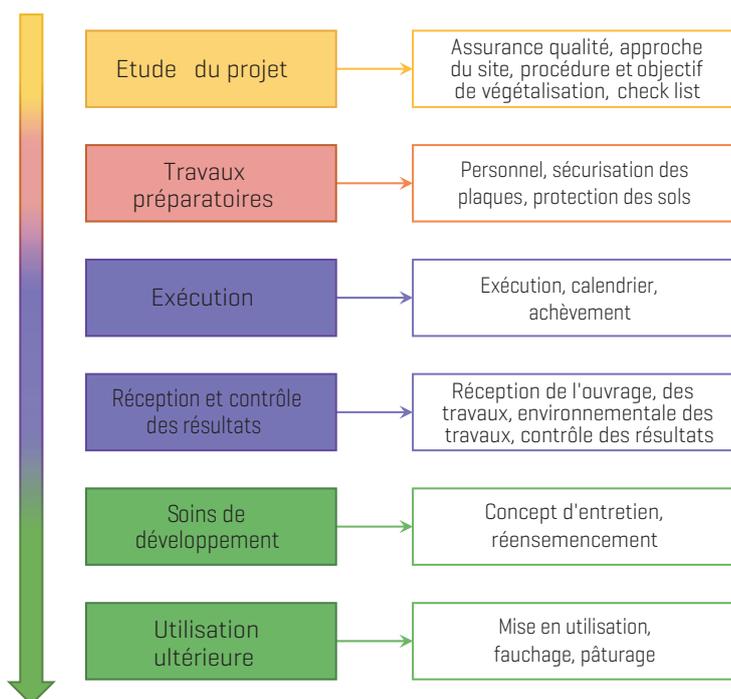


Figure 1 : Procédure schématique d'une végétalisation. La séquence correspond à la structure des directives.

La présente version complète contient des recommandations détaillées pour toutes les phases de travail, de l'étude de projet à la réalisation, puis au contrôle des résultats, avec des graphiques et des illustrations. L'organisation en couleurs des différents domaines de travail facilite la vue d'ensemble [Figure 1]. Compte tenu de la littérature et des expériences des membres de l'AGHB, différentes possibilités sont présentées pour les différents domaines thématiques. Lorsque des cas particuliers ne nécessitent pas une évaluation individuelle, les utilisateurs trouveront des recommandations adaptées à la plupart des situations.

## 2 Définitions

La littérature contient un grand nombre de termes techniques qui ne sont pas toujours utilisés de manière uniforme. Le présent glossaire définit les principaux termes tels qu'ils sont utilisés dans les présentes directives.

### 2.1 Glossaire

#### Adapté à la station

Les espèces adaptées à la station sont celles qui sont présentes sur un site donné dans les conditions qui y règnent [Krautzer et Graiss 2015]. Leur présence indique les facteurs biotiques et abiotiques prédominants dans la station.

**Facteur de localisation**  
Les facteurs de localisation sont des conditions fixes dans une zone sur une certaine période, comme le climat, le relief, la disponibilité en éléments nutritifs et en eau ou le type de sol, mais aussi des influences biotiques exercées par d'autres organismes telles que l'ombrage, la concurrence, les prédateurs ou les symbioses [Wagenitz 2003, Körner 2014].

#### Agrégat

Un agrégat de sol se forme à partir d'une cimentation de composants minéraux avec de la matière organique vivante et morte [Nievergelt et al. 2002]. Des structures d'agrégats stables sont des éléments constitutifs essentiels pour la matrice du sol et la structure des pores. Ils constituent la condition préalable à une bonne capacité de rétention d'eau et de nutriments du sol [Graf et al. 2017].

#### Association climacique

État final d'un cycle évolutif [cf. page 16]. État permanent plus stable, mais généralement doté d'une dynamique plus oscillante et fluctuante d'un système biologique se conservant soi-même sous des conditions de milieu constantes [Schaefer 2012].

#### Biodiversité

La biodiversité comprend la richesse des espèces animales, végétales, fongiques et microbiennes, la diversité génétique au sein des différentes espèces, la diversité des habitats ainsi que les interactions au sein et entre ces niveaux [OFEV 2017].

#### Champignons mycorhizes

Les champignons mycorhizes sont une symbiose entre une plante et un champignon, le champignon vivant sur ou dans les racines de la plante et formant un mycélium dans le sol [Mertz 2008]. Les champignons mycorhizes arbusculaires peuvent être utilisées lors de végétalisations avec des plantes herbacées [Schmid et al. 2005]. Les plantes profitent d'une meilleure absorption des nutriments et disposent, grâce aux champignons, d'une meilleure protection contre les parasites des racines [Townsend et al. 2009]. La croissance des racines est stimulée. Les filaments mycéliens finement ramifiés stabilisent le sol avec les racines et contribuent largement à la formation d'agrégats [Graf et al. 2017]. La diversité des espèces de plantes vasculaires

dépend également de la diversité des espèces de champignons adaptées au site dans le sol [van der Heijden et al. 1998, van der Heijden et al. 2016].

### **Climat**

Le climat (également appelé macroclimat pour le distinguer du microclimat) désigne les conditions météorologiques moyennes et l'état de l'atmosphère sur une longue période. Par opposition, on parle de météo pour les phénomènes actuels [Körner et al. 1989].

### **Couche supérieure du sol (horizon A)**

La couche supérieure du sol est la couche de terre supérieure, d'une épaisseur de quelques cm à 30 cm environ [Umweltfachstellen-Zentralschweiz 2007]. Elle est généralement de couleur sombre, riche en éléments organiques décomposés et en organismes vivants, densément enracinée, non étanche et structurée par des agrégats. On utilise généralement le terme de « humus » [Bellini 2015].

### **Degré de recouvrement**

Le degré de recouvrement est la projection verticale de toutes les parties en surface d'une plante sur la surface d'échantillon, en rapport avec la surface totale étudiée. Dans le cas d'une végétation fermée à plusieurs strates, la somme des taux de recouvrement peut dépasser 100% [Wagenitz 2003].

### **Écotype**

Les écotypes sont des variantes génétiques d'une espèce végétale, issues de la sélection naturelle, qui sont adaptées de manière optimale aux conditions environnementales de leur emplacement dans leur zone de répartition géographique [Dierssen 1990]. On les appelle aussi variétés sauvages, par opposition aux variétés cultivées. Les semences d'écotypes sont multipliées sans sélection génétique [Bosshard et al. 2013].

### **Étranger à la station**

Les espèces étrangères à la station sont celles qui ne sont pas présentes de manière spontanée et durable sur un site donné [LUBW 2009].

### **Fleurs de foin**

Les fleurs de foin sont des semences qui tombent du foin stocké et qui sont ramassées dans le grenier à foin. Le matériel plus ancien, à partir d'une durée de stockage de deux à trois ans, ne convient pas, car la capacité de germination des graines diminue rapidement [Sengl et al. 2014]. Les fleurs de foin des prairies naturelles extensives jusqu'à environ 2000 m. d'altitude conviennent à l'ensemencement en altitude.

### **Herbes et plantes nourricières**

Les espèces nourricières font partie des semences possibles et éphémères, dont le but est de favoriser le développement du type de végétation visé, adapté à la station, mais qui ne feront plus partie de ce type de végétation par la suite [Krautzer et al. 2006]. Si l'on ne peut pas renoncer aux espèces nourricières, il est recommandé d'utiliser autant que possible des semences régionales [cf. chapitre 6.1].

### **Horizon**

Un horizon de sol est une zone du sol dont la structure et la composition peuvent être distinguées des zones situées au-dessus et en dessous et qui s'est formée par pédogenèse [Kretzschmar 2017].

### **Horizon de sol**

Les horizons de sol désignent une succession de couches au-dessus de la roche mère, qui se distinguent par leurs propriétés et se sont formées par pédogenèse [Kretzschmar 2017].

### **Local**

Les plantes ou les semences proviennent de la même vallée, avec une distance maximale de 30 km et une différence d'altitude maximale de 300 m [Agridea 2015].

### **Macrorelief**

Le macrorelief décrit des formes de terrain à grande échelle telles que des plaines, des vallées, des montagnes ou des collines [Blume et al. 2010].

### **Matrice du sol**

La matrice du sol se compose du substrat solide, sans le volume des pores [Hintermaier-Erhard und Zech 1997].

### **Microclimat**

Le microclimat est influencé entre autres par la situation de la pente, la topographie, l'ombrage et la nature du sol [Wagenitz 2003], mais aussi par la plante elle-même [Körner 2014]. Il peut différer sensiblement du macroclimat sur un site défini.

### **Microrelief**

Le microrelief désigne des formes de terrain à petite échelle. Il peut s'agir par exemple de gorges, de bosses, d'étages ou de talus, mais aussi de petites irrégularités de la surface [Blume et al. 2010].

### **Néophyte**

Les néophytes sont des plantes étrangères au site qui ont été introduites volontairement ou involontairement depuis d'autres régions et qui ont pu s'établir sur leurs nouveaux

sites. Les néophytes envahissantes se multiplient très fortement et nuisent à la biodiversité indigène, peuvent détruire des infrastructures et menacer la santé humaine [Nentwig 2011].

Pour certaines des néophytes envahissantes présentes en Suisse, il existe des bases légales afin d'empêcher leur propagation. Les néophytes envahissantes qui figurent sur la Liste Noire ou sur la Watch-List en Suisse ne peuvent pas être tolérées dans le cadre d'une végétalisation proche de la nature en altitude.

### **Pente**

La pente désigne l'inclinaison ou l'angle d'inclinaison du versant. Elle peut être exprimée en degrés, en pourcent ou en rapport. Une vue d'ensemble de la conversion est présentée au chapitre 3.1 sous le point « Facteurs liés au site et au sol » [cf. également la Figure 3]. Dans les lignes directrices, les pentes sont exprimées en pourcentage.

### **Plaque**

La plaque est un synonyme de motte de gazon et désigne un morceau dégagé de la couverture végétale d'origine, y compris les racines et l'humus.

### **Pores du sol**

Les pores du sol peuvent être remplis d'eau ou d'air et représentent environ la moitié du volume du sol. On distingue les pores grossiers, qui servent à l'aération et absorbent les fortes précipitations, les pores moyens, qui stockent l'eau disponible pour les plantes, et les pores fins [Kretzschmar 2017]. Les pores fins stockent également de l'eau, mais celle-ci n'est pas accessible aux racines des plantes, contrairement aux filaments des champignons, car l'eau est trop fortement liée dans les minuscules pores [force capillaire]. [Schmid et al. 2005, Graf et al. 2017].

### **Régional**

Régional se réfère à l'origine. Pour la Suisse, des régions biogéographiques ont été définies, qui sont ensuite subdivisées en grandes et sous-régions. Celles-ci tiennent compte de la présence d'espèces floristiques et faunistiques [Gonseth et al. 2001]. Les semences régionales sont produites et distribuées dans les limites d'une région d'origine définie.

### **Semences commerciales**

Les semences commerciales sont produites dans des établissements multiplicateurs et sont généralement vendues sous forme de mélange standardisé. Selon la désignation ultérieure, elles peuvent contenir des écotypes ou des formes de culture de différentes origines. On distingue l'aptitude écologique [adaptée au site/non adaptée au site] et l'origine géographique [locale/régionale/CH/étrangère].

Chaque producteur de semences a ses propres noms de marque.

### **Site (station)**

Le site [ou la station] est déterminé par la somme des facteurs de localisation qui agissent sur un organisme. Contrairement à la localisation géographique, le site désigne la situation écologique, c'est-à-dire les conditions environnementales abiotiques et biotiques [Wagenitz 2003].

### **Stations d'altitude**

Les stations d'altitude désignent les zones des étages subalpin, alpin et nival. Dans les Alpes suisses, les stations d'altitude commencent au-dessus de 1500 m environ.

### **Succession**

La succession décrit la séquence d'étapes dans le développement d'une biocénose en un lieu donné, qui peut conduire au stade final [climax]. La composition des espèces du stade résulte des conditions du site et des antécédents [Kreeb 1994, Willmanns 1998].

Treie [chemin de pâturage]

Les « treies » sont des chemins de traverse rendus praticables par le bétail. Les chemins de pâturage sont souvent parallèles à la pente ou en légère pente [Idiotikon suisse].  
Couche inférieure du sol [horizon B]

La couche inférieure du sol, dans laquelle la formation du sol a lieu, est la couche la moins enracinée et la moins animée du sol. Sa zone d'influence dans les sols profonds se trouve à 60–80 cm, dans les sols peu profonds elle est inférieure à 30 cm, voire inexistante. La couche inférieure du sol sert de réservoir/filtre pour l'eau et pour les éléments nutritifs [Umweltfachstellen-Zentralschweiz 2007].

### **Sols bruts**

Dans les sols bruts, l'altération chimique et l'enrichissement en matière organique n'ont pas encore eu lieu ou presque. Ils ne possèdent donc pas d'horizon B et tout au plus un horizon A très peu développé [Kretzschmar 2017]. Un sol brut est riche en pores grossiers et possède donc une faible capacité de rétention d'eau [Blume et al. 2010]. Il n'y a pas ou peu d'éléments nutritifs disponibles pour les plantes [Kretzschmar 2017].

### **Transplantation de plaques**

Lors de la transplantation de plaques, la couverture végétale existante est soigneusement dégagée en plaques, comme pour la transplantation directe. Celles-ci sont stockées temporairement et replacées ultérieurement.

**Transposition directe**

Lors d'une transposition directe, la végétation existante est soigneusement enlevée avec la couche supérieure de terre enracinée. Les plaques ainsi obtenues sont immédiatement implantées à un autre endroit, sans stockage intermédiaire [Marti et al. 2016].

**Valeur paysagère**

La valeur paysagère prend en compte aussi bien les valeurs esthétiques-visuelles et physiques-sensorielles que les valeurs écologiques et culturelles d'un paysage [ANU 2018].

**Valeur naturelle**

La valeur naturelle décrit la valeur d'un paysage en termes de présence d'habitats, d'animaux et d'espèces végétales dignes de protection ainsi que de proximité avec la nature [Bühler et al. 2015].

**Variété cultivée**

Les variétés cultivées sont des plantes cultivées par l'homme de manière ciblée pour obtenir certaines propriétés, qui aboutissent ensuite à une variété portant la dénomination correspondante. Dans la culture fourragère par exemple, on cherche à obtenir une masse foliaire élevée et peu de pousses florales. En altitude, les variétés cultivées ne sont utilisées que pour la restauration des terres agricoles [prairies intensives], tandis que les variétés sauvages sont employées pour les végétalisations proches de la nature.

**Végétation cible**

La végétation cible est la végétation qui a été définie comme objectif de végétalisation. En règle générale, on vise à rétablir la végétation d'origine avant l'intervention de construction. Lorsque cela n'est pas possible (par ex. défrichement de forêts) ou souhaitable (par ex. végétalisation antérieure incorrecte ou stades de végétation liés à l'utilisation), la végétation cible doit être définie à l'avance. Les espèces étrangères ou nourricières ne sont pas autorisées dans la végétation cible, conformément aux Directives sur la végétalisation en altitude.

**Végétalisation en altitude**

Par « végétalisation en altitude », on désigne la restauration et l'établissement d'une végétation adaptée aux stations d'altitude aboutissant à un groupement climatique durable. Celle-ci se conserve en général d'elle-même de façon stable et durable, qu'elle soit exploitée extensivement ou non-exploitée.

A l'exception des soins de croissance et de développement, elle ne nécessite pas de mesures d'entretien supplémentaires par rapport à l'utilisation précédente [Krautzer et al. 2000].

**Végétalisation directe**

Dans le cas d'une végétalisation directe, les semences d'une surface semencière sont récoltées de manière appropriée et répandues sur la surface réceptrice sans multiplication intermédiaire. Il est possible de transférer de l'herbe fraîchement coupée, du foin ou des semences récoltées [Agridea 2015].

**2.2 Liste des abréviations**

K <sub>2</sub> O	Oxyde de potassium, appelé potasse pour les engrais N Azote
LPN	Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage
OFEV	Office fédéral de l'environnement [en allemand: BAFU]
OPD	Ordonnance sur les paiements directs versés dans l'agriculture [Ordonnance sur les paiements directs]
OPN	Ordonnance sur la protection de la nature et du paysage
OSol	Ordonnance sur les atteintes portées aux sols
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Phosphate
RS	Recueil systématique du droit fédéral
SER	Suivi environnemental de la phase de réalisation
SIA	Société suisse des ingénieurs et des architectes
SPT	Suivi pédologique des travaux
WSL	Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage

## 3 Conditions locales et cadre juridique

### 3.1 Facteurs de localisation liés aux sites en altitude

Les stations d'altitude désignent les zones des étages subalpin, alpin et nival. La classification selon Hess, Landolt & Hirzel, Flora der Schweiz, 1967–72 (Figure 2) donne une vue d'ensemble des étages d'altitude en Suisse. La température annuelle moyenne est  $> 0$  °C à l'étage subalpin, de  $-3$  °C à  $-1$  °C à l'étage alpin et  $< -3$  °C à l'étage nival (Eberhardt 1999). La transition entre l'étage subalpin et l'étage alpin correspond à la limite des arbres. L'étage alpin est caractérisé par des pelouses alpines largement fermées qui, à la limite de l'étage [sub]nival, se transforment en pelouses pionnières lacunaires avec des plantes tapisantes (Ellenberg et Leuschner 2010). Les zones d'altitude se décalent en fonction de la situation géographique. Dans les vallées intra-alpines, les limites sont plus élevées qu'en bordure des Alpes.

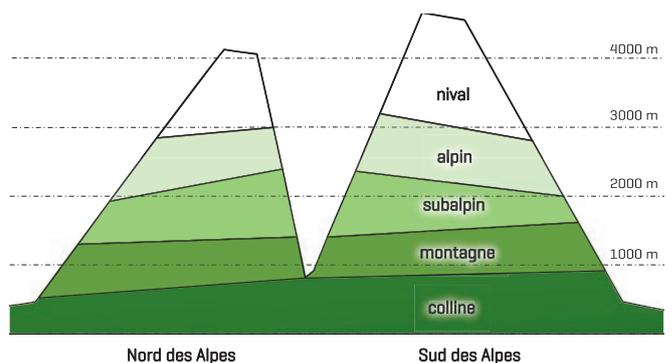


Figure 2 : Zones d'altitude en Suisse selon HESS, LANDOLT & HIRZEL, Flore de Suisse (Hess et al. 1977)

La période de végétation diminue d'environ une semaine par 100 mètres d'altitude [Krautzer et al. 2012c]. A 2000 m d'altitude, la période de végétation est d'environ 100 jours, et à 2400 m, elle est encore de 70 jours [OFEV et OFT 2013].

#### Facteurs climatiques

##### Température

En général, la température diminue de  $0,54$  °C à  $0,65$  °C par 100 m d'altitude [Laiolo et Obeso 2017], mais elle est fortement influencée par le microclimat respectif (Ellenberg et Leuschner 2010). Les températures journalières minimales et maximales présentent une amplitude beaucoup plus élevée que sur le Plateau. Les nuits claires peuvent être très froides, mais les substrats sombres peuvent atteindre  $80$  °C les jours ensoleillés [Körner 2003]. Le gel et les chutes de neige peuvent survenir toute l'année en station d'altitude (Ellenberg et Leuschner 2010). Une couche de neige en hiver réduit l'apparition du gel au sol. Sous une couche de neige de 50 cm de profondeur, la température descend rarement en dessous de  $0$  °C (Ellenberg et Leuschner 2010). En revanche, lors de la

période pré-hivernale peu enneigée, le sol gèle rapidement et peut alors rester gelé pendant tout l'hiver. Des études montrent qu'en raison du réchauffement climatique, les températures augmentent plus rapidement dans les Alpes que la moyenne [Meusburger et Alewell 2014], ce qui peut entraîner un déplacement des zones d'altitude.

### Rayonnement solaire

L'opacité moindre de l'atmosphère en altitude réduit la part de rayonnement diffus, de sorte que l'intensité du rayonnement direct augmente et que les contrastes entre les zones ensoleillées et les zones ombragées s'accroissent avec l'altitude [Körner 2003].

### Précipitations

Les précipitations dans les Alpes sont relativement élevées sur les versants nord et sud et peuvent atteindre 2500 mm/an. Les vallées intra-alpines sont beaucoup moins pluvieuses, avec 450 à 700 mm/an [Ellenberg et Leuschner 2010].

### Vent

Le vent exerce une grande influence sur la répartition de la neige, la fonte des neiges et l'évaporation. Les endroits exposés et les surfaces planes sont beaucoup plus exposés au vent que les endroits protégés dans les vallées ou les cuvettes [Körner 2003]. En hiver, les endroits balayés par le vent sont exposés au gel, tandis qu'en été, il y a un risque d'assèchement.

## Facteurs liés au terrain et au sol

### Relief et exposition

Le relief des Alpes, qui varie à petite échelle, crée des

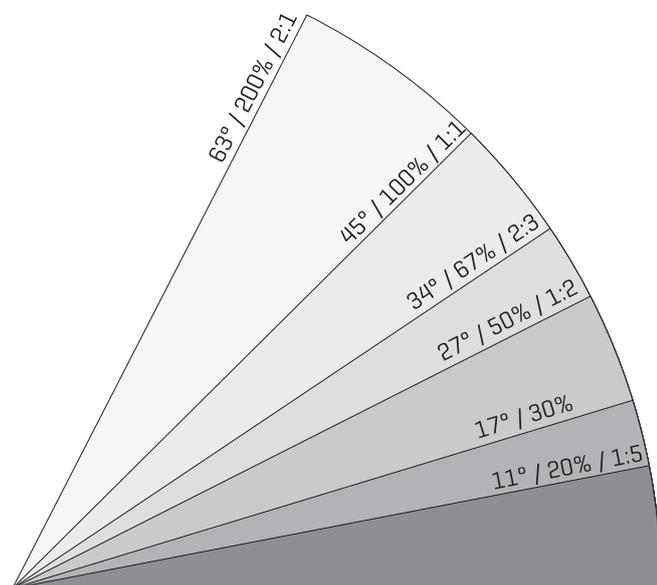


Figure 3 : Angles de versants sélectionnés en degré, pourcentage et sous forme de rapport.

conditions locales variées [Figure 4]. Les différents angles d'ensoleillement créent des endroits plus ou moins chauds [Krautzer et Klug 2009]. Les cuvettes bénéficient d'un meilleur apport en éléments nutritifs, mais sont généralement recouvertes de neige plus longtemps [Lichtenegger 1994]. Les arêtes, les crêtes et les crêtes exposées au vent sont pauvres en neige, ce qui les expose davantage au gel [Ellenberg et Leuschner 2010]. L'influence du relief peut influencer le microclimat bien plus que l'altitude [Ellenberg et Leuschner 2010], des écarts de la période de végétation allant jusqu'à un mois sont possibles [Scherrer et Körner 2011]. Le microclimat n'est toutefois pas seulement influencé par le relief, mais aussi par la végétation elle-même [Latzin 2004].



Figure 4 : Les différences de relief signifient que différents sols et associations végétales alternent sur une petite surface [photo : K. Edelkraut].

### Erosion

Lors de l'érosion, des éléments du sol sont transportés par le vent ou l'eau et sédimentés de nouveau à un autre endroit [Kretzschmar 2017]. L'érosion est élevée en station d'altitude et pourrait encore augmenter en raison du changement climatique, dans le cas où la neige reste moins longtemps et si l'augmentation des fortes précipitations en été entraîne un écoulement accru en surface [Meusburger et Alewell 2014]. L'érosion favorise l'altération physique et augmente le ravinement de la terre fine. Cela influence la formation du sol.

### Formation des sols

Les sols en station d'altitude sont relativement jeunes et généralement peu profonds. L'altération physique, c'est-à-dire la fragmentation mécanique de la roche de départ sans modification chimique des minéraux, est prononcée

en station d'altitude. La forte érosion y contribue d'une part, et les fréquentes alternances de gel d'autre part. L'altération chimique et surtout l'activité biologique des micro-organismes qui décomposent la matière organique sont en revanche fortement entravées en raison des basses températures. Par conséquent, la formation des sols en station d'altitude se déroule très lentement [Ellenberg et Leuschner 2010, Kretzschmar 2017].

Alors que la formation d'une terre brune dans les pâturages subalpins nécessite par exemple environ 190 ans, 250 à 300 ans sont nécessaires au-dessus de la limite de la forêt. La formation d'un podzol peut prendre de 500 à 3000 ans [D'Amico 2015].

### **Disponibilité des éléments nutritifs et de l'eau**

En raison de la décomposition ralentie de la matière organique, une grande partie des éléments nutritifs est liée au paillage et aux matières humiques, où ils ne sont pas disponibles pour les plantes [Ellenberg et Leuschner 2010]. Même si l'offre totale en azote au-dessus de la limite des arbres est à peu près égale ou plus importante qu'à basse altitude, les basses températures réduisent la minéralisation et donc la disponibilité de l'azote pour les plantes. La capacité de rétention d'eau des sols alpins est faible en raison de leur faible épaisseur [Körner 2003].

### **Facteurs anthropogéniques**

Les prairies et les pâturages situés en-dessous de la limite des arbres nécessitent une exploitation [agricole] pour les garder ouverts. Au-dessus de la limite des forêts, une exploitation régulière empêche l'apparition d'une végétation d'arbustes nains. L'élevage sur prairie favorise les struc-

tures typiques des pâturages avec des zones dénudées ou des fétuques. La composition des espèces est différente de celle des prairies de fauche et dépend de l'espèce animale qui pâture et de son comportement alimentaire. Une charge trop élevée, surtout avec des animaux lourds, favorise le piétinement, l'abandon de l'exploitation conduit à l'embuissonnement et à la reforestation [Bollmann et al. 2014].

Dans les stations de sports d'hiver, lorsque la couverture neigeuse est insuffisante, les dameuses et les skieurs peuvent endommager la couche herbeuse [Figure 5] [Schmid et Frei 2005]. Sur les pistes de neige naturelle préparées, la neige compacte isole moins que la neige meuble, de sorte que des gelées au sol se produisent sous les pistes. L'enneigement artificiel réduit le gel et les blessures mécaniques de la végétation par les dameuses, car la couche de neige est plus épaisse.

D'autre part, de l'eau et des minéraux supplémentaires sont apportés et la fonte des neiges au printemps est retardée d'environ 2 à 3 semaines, ce qui retarde le développement de la végétation [Stöckli et al. 2002]. La densité plus élevée de la neige artificielle réduit en outre les échanges gazeux avec l'environnement, ce qui peut entraîner l'asphyxie des plantes en raison de la diminution de l'apport en oxygène [Newesely et al. 1994].

En été, les vététistes ou les véhicules agricoles peuvent nuire à la végétation [Raper 2005, Marion et Wimpey 2007]. Mais un pâturage inadapté [charge trop élevée, animaux trop lourds, temps trop humide] peut également endommager la couverture végétale [Schneider et al. 2017].



Figure 5 : Dommages visibles sur un pâturage alpin. Lorsque la couverture neigeuse était trop faible, les crêtes, qui se produisent généralement sur les pâturages, étaient éliminées par les dameuses [photo : K. Edelkraut].



Figure 6 : La renouée des glaciers est parfaitement adaptée aux températures de son habitat [photo : C. Rixen].



Figure 7 : La mousse du silène acaule retient le paillis et donc les éléments nutritifs avec la plante et provoque une humidité plus élevée à l'intérieur de la mousse. Celle-ci ainsi que le tapis de saule protègent tous deux contre les vents forts, tandis que le réchauffement du sol est utilisé de manière optimale (photos : M. Peters).

## Adaptation des plantes au site

### Adaptation morphologique

Les plantes d'altitude sont parfaitement adaptées aux conditions de leur site. Des formes de croissance particulières leur permettent d'influencer considérablement le microclimat [Latzin 2004].

La principale adaptation est la petite taille [mousse, croissance en treillis, rosettes]. Les plantes d'altitude investissent moins dans la croissance des tiges que les espèces des étages collinéen et montagnard, et leurs feuilles sont plus petites et plus épaisses. En revanche, la masse racinaire relative de ces plantes est plus importante. Les plantes stockent plus de réserves que les plantes de plaine comparables. La petite taille et la croissance lente protègent du froid, du vent et du pâturage et aident à s'accommoder de l'offre réduite en éléments nutritifs [Ellenberg et Leuschner 2010].

Les plantes se protègent en outre contre l'assèchement grâce à une composition spéciale de leurs feuilles. Une pilosité dense réduit la vitesse du vent à la surface des feuilles et les protège ainsi de l'assèchement, une surface coriace ou des feuilles enroulées les protègent de l'évaporation [Hess et al. 2015]. Grâce à ces adaptations, l'équilibre hydrique des plantes est généralement intact malgré le vent et la faible disponibilité en eau [Krautzer et al. 2012c].

Les plantes alpines ont un large spectre de températures pour la photosynthèse. Pour la plupart des espèces, la croissance commence déjà à quelques degrés au-dessus de zéro. La renoncule des glaciers [*Ranunculus glacialis*]

obtient même un gain de matière dès  $-5\text{ °C}$  [Figure 6]. Chez la plupart des plantes, les organes hivernants se trouvent à proximité du sol ou dans le sol, afin de profiter de l'isolation du manteau neigeux en hiver.

En été, la croissance de la mousse ou en espalier provoque une augmentation de l'humidité et de la température directement au niveau de la plante. La pilosité dense de certaines espèces ou les feuilles mortes des graminées à tiges isolées ont des effets similaires sur le microclimat [Figure 7].

En automne, les plantes acquièrent une tolérance au gel, notamment grâce au drainage des tissus. En revanche, les gelées précoces en automne ou les gelées tardives au début de l'été, lorsque les plantes sont physiologiquement actives, peuvent être néfastes [Ellenberg et Leuschner 2010]. Cela peut empêcher la formation des fleurs ou la maturation des graines [Heuerding 2005, Stöcklin 2009].

### Adaptations lors de la reproduction

Les plantes d'altitude ont une croissance lente, mais atteignent souvent un âge avancé. Steinger et al. [1996] ont estimé que les populations clonales de la laïche courbée [*Carex curvula*] atteignaient l'âge de 2'000 ans. En général, ces plantes investissent plus d'énergie dans leur propre conservation que dans la reproduction générative. La reproduction clonale, surtout chez les espèces dominantes des pelouses alpines, joue donc un rôle important [Ellenberg et Leuschner 2010]. Chez les graminées à touffe, l'auto-fragmentation spontanée soutient la multiplication végétative [Wilhelm, 1996 in Ellenberg et Leuschner 2010].



Figure 8 : Bulbilles ramifiés du pâturin des Alpes et de la renouée vivipare [photos : M. Peters].

Les plantes alpines produisent certes beaucoup de semences [Ellenberg et Leuschner, 2010], mais celles-ci donnent proportionnellement moins de jeunes plants que les espèces de basse altitude. Cependant, les plantes atteignent généralement un âge plus élevé, ce qui compense ce désavantage [Forbis et Doak 2004].

De nombreuses plantes alpines connaissent la dormance. Les semences ont besoin d'un ou de plusieurs déclencheurs spécifiques pour germer. Le déclencheur le plus fréquent, qui déclenche ou lève une dormance, est probablement la température [Fernández-Pascual et al. 2017]. Il n'est pas rare qu'une température de plus de 5 °C pendant plusieurs jours soit nécessaire pour la germination [Ellenberg et Leuschner 2010]. Certaines espèces ont besoin d'une certaine longueur de jour ou possèdent des germes sous-développés dans les semences, qui ne se développent complètement que lorsque les conditions environnementales sont optimales. Les semences dont l'enveloppe est imperméable (souvent des légumineuses) ont besoin de facteurs qui rendent l'enveloppe rugueuse. La plupart des espèces alpines germent à la lumière, ce qui est probablement une adaptation à l'absence d'arbres dans leur habitat [Schwienbacher et al. 2011].

Le cycle de développement saisonnier des plantes alpines doit être achevé en 10 à 12 semaines environ. Le développement après la fonte des neiges jusqu'à la formation des fleurs est rapide. Les fleurs sont donc souvent mises en place dès l'année précédente. La pollinisation se fait différemment, outre la pollinisation croisée, certaines espèces misent sur l'autopollinisation ou la formation de pousses végétatives en plus des semences [*Poa alpina*, pâturin des Alpes – renouée vivipare – *Polygonum viviparum*] (Figure 8).

### Effets sur la végétalisation

Une végétalisation réussie devrait tenir compte au mieux des particularités des sites alpins et des différences à petite échelle.

La croissance lente, la petite taille et l'âge avancé des plantes montrent clairement qu'une pelouse alpine fermée nécessite un long temps de développement et ne peut pas être restaurée en quelques années par un ensemencement. C'est pourquoi il est très important d'éviter les interventions et de choisir un tracé approprié, mais aussi de ménager et de réutiliser les plantes et le sol. La réutilisation de plaques entières permet non seulement de conserver les plantes matures, mais favorise également la croissance clonale dans les zones ouvertes adjacentes. Si l'on doit tout de même semer, il faut tenir compte de la lente formation du sol. La terre végétale existante doit être protégée de l'érosion par un recouvrement (paillage, géotextile). En cas d'absence ou d'insuffisance de terre végétale, la couche de germination doit être complétée par des produits pour l'amélioration du sol organiques appropriés. Seules les plantes locales adaptées au site sont parfaitement adaptées aux conditions difficiles des stations d'altitude.

Le choix d'une date de semis appropriée permet d'exploiter au mieux la courte période de végétation (par ex. semis dormants). Des adjuvants adaptés améliorent le microclimat et réduisent l'érosion (par ex. semis avec paillage). Les microreliefs forment des niches intéressantes pour la végétalisation et devraient donc être conservés ou encouragés. Les cuvettes ensoleillées favorisent la germination et la croissance grâce à un meilleur apport en éléments nutritifs. En revanche, dans les cuvettes ombragées, le dé-

veloppement est ralenti en raison de la disparition tardive de la neige [Lichtenegger 1994], mais l'approvisionnement en eau peut être meilleur dans certaines circonstances.

### 3.2 Bases légales

La Confédération fixe un cadre légal pour des travaux d'aménagement en-dehors d'une zone à bâtir. Certaines conditions concernent les mesures de végétalisation. Si un habitat digne de protection [par ex. marais ou pelouses sèches, mais aussi sites abritant des espèces protégées ou rares] est affecté, la maxime « éviter → protéger → rétablir → remplacer » s'applique [art. 18 al. 1ter LPN]. Si, après une soigneuse pesée des intérêts, une atteinte ne peut être évitée, elle doit être réduite au maximum. Si cela n'est pas possible, alors l'habitat doit être restauré ou, le cas échéant, remplacé. Les présentes directives s'appliquent à la restauration. L'introduction d'espèces animales et végétales étrangères au site ou à la région est soumise à autorisation [art. 23 LPN], sauf dans les exploitations agricoles et forestières ainsi que dans les parcs et jardins, etc. Pour la fertilisation, la fauche et le pâturage, il faut en outre respecter les directives de l'Ordonnance sur les paiements directs [OPD]. Outre la législation suisse, la Convention sur la diversité biologique [Convention sur la biodiversité] contient également des dispositions relatives aux végétalisations.

#### Exécution

Les cantons veillent à une mise en œuvre appropriée et efficace du mandat constitutionnel et législatif [art. 26, al. 1, OPN]. Outre les bases légales, la plupart des cantons disposent d'autres directives qui doivent être prises en compte [par ex. directives sur les SER]. La pratique varie d'un canton à l'autre et doit être prise en compte au cas par cas [cf. exemple des Grisons en encadré]. Le guide « Reconstitution et remplacement en protection de la nature et du paysage », publié par l'OFEV, contient des indications supplémentaires [Kägi et al. 2002].

#### Arrêtés législatifs et directives pertinents

Les articles les plus importants sont cités ci-dessous. L'état actuel se trouve sur Internet dans le recueil systématique du droit fédéral.

- Loi fédérale du 1er juillet 1966 sur la protection de la nature et du paysage [LPN ; RS 451] ; art. 18, al. 1, art. 18, al. 1ter, art. 23.
- Ordonnance du 16 janvier 1991 sur la protection de la nature et du paysage [OPN ; RS 451.1] ; art. 14, al. 3, art. 20, art. 26, al. 1, annexe 1.
- Ordonnance du 1er juillet 1998 sur les atteintes portées au sol [OSol ; RS 814.12] ; art. 6, art. 7

- Ordonnance sur les paiements directs versés dans l'agriculture [OPD ; RS 910.13] ; art. 29 à 34 [région d'estivage], ainsi que divers articles pour les autres prairies et pâturages.
- Listes rouges [LR] édictées ou reconnues par l'OFEV.
- Convention du 5 juin 1992 sur la diversité biologique [Convention sur la biodiversité ; RS 0.451.43] ; art. 2, art. 8.

### Exemple de système d'évaluation dans les Grisons (ANU 2018)

#### Évaluation des atteintes aux habitats dignes de protection (système de points)

L'évaluation sert au canton des Grisons à calculer les impacts résiduels qui doivent être compensés après une intervention. Il est donc dans l'intérêt du maître d'ouvrage de planifier les interventions avec le plus de précaution possible dès la phase de planification. Cela peut se faire en adaptant le projet [surface d'intervention, tracé] ou en évitant les atteintes par des procédés alternatifs.

La directive sur le calcul de l'obligation de remplacement contient des tables d'évaluation des différents biotopes. Les points de valeur tiennent compte des valeurs paysagères et des différentes valeurs naturelles [notamment les biotopes ouverts, associations forestières, sources, ruisseaux et berges, etc.]. Ensuite, les points de l'atteinte ainsi que les mesures de remplacement sont calculés. Les mesures de remplacement doivent obtenir à peu près le même nombre de points que l'atteinte. Dans des cas exceptionnels, la différence peut être compensée en termes monétaires.

#### Exemple de calcul :

Une nouvelle conduite d'enneigement doit être construite sur 0,8 ha à travers un marais à petites laïches acide [14 pts] [F = 1 pour perte]. En remplacement, une piste de 1 ha traversant un marais à petites laïches basique [19 points] doit être supprimée [F = 0,5 pour la suppression de la piste].

$$\begin{aligned} 8\,000 \times 14 \times 1 &= 112\,000 \\ 10\,000 \times 19 \times 0,5 &= 95\,000 \end{aligned}$$

La mesure de remplacement ne suffit pas, la différence de points est de 17 000. L'obligation de compensation est de CHF 3.00 / point, soit un total de CHF 51 000.

Avec un autre tracé, la conduite pourrait être posée à travers un pâturage maigre acide [4 points], mais elle affecterait le double de la surface.

$$\begin{aligned} 16\,000 \times 4 \times 1 &= 64\,000 \\ 10\,000 \times 19 \times 0,5 &= 95\,000 \end{aligned}$$

Avec ce tracé, le remplacement serait évalué à un niveau plus élevé que l'atteinte, le maître d'ouvrage ne doit pas prendre de mesures de remplacement et dispose même d'un crédit de points pour une utilisation ultérieure.

## 4 Mise en projet

Une bonne mise en projet est indispensable au bon déroulement de l'exécution des travaux (Figure 9). Elle comprend notamment des études préliminaires de la végétation, du sol, etc., une formulation réaliste des objectifs ainsi que la soumission et la documentation. Au début de la phase de planification, il convient de définir l'implication des acteurs et le contrôle de qualité.

### 4.1 Acteurs

Une implication précoce de tous les acteurs permet d'éviter des malentendus inutiles et contribue ainsi à économiser du temps et des coûts. Les groupes d'intérêts et acteurs suivants peuvent être impliqués :

- Maître d'ouvrage, propriétaires, agriculteurs
- Suivi environnemental des travaux, suivi pédologique des travaux
- Planificateurs, bureaux d'ingénieurs et d'environnement
- Fournisseurs de semences et de plantes
- Entrepreneurs, conducteurs d'engins
- Administration (protection de la nature, protection des sols, dangers naturels, agriculture)
- Tourisme, remontées mécaniques
- Organisations de protection de la nature et de l'environnement
- Instituts de recherche

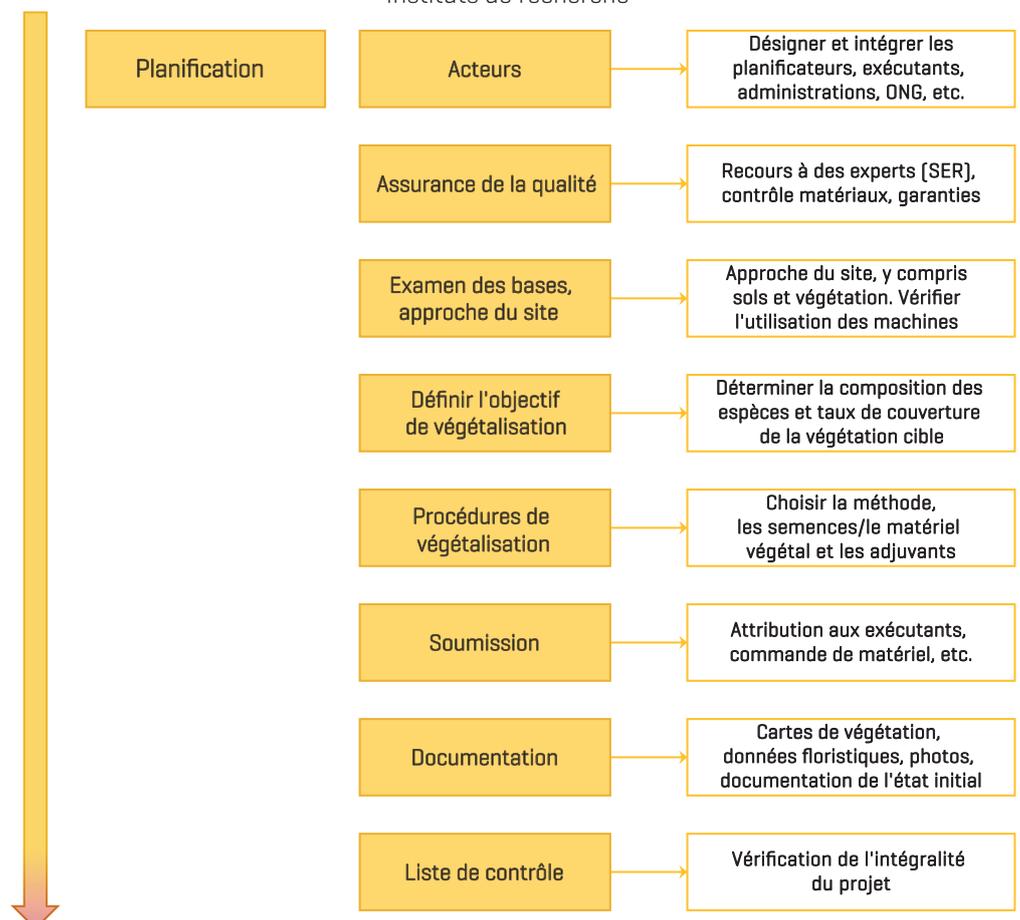


Figure 9 : Contenu du déroulement de la planification du projet.

## 4.2 Contrôle de qualité

### Recours à des experts externes

Lors des phases de planification et de réalisation des travaux, les grands projets sont suivis de près dès le début par des spécialistes (cartographie de la végétation et du sol) ainsi que par un suivi environnemental/un suivi pédologique de la phase de réalisation (appelé SER ci-après) [BAFU et BAFU 2013, Bellini 2015]. Les conseils et l'intervention précoce du SER permettent de réduire les coûts. Le SER contribue à minimiser l'atteinte à la nature et au paysage, veille au respect de la législation sur la protection de l'environnement, vérifie l'efficacité des mesures engagées et planifie la remise en état et la végétalisation. Le contact permanent du SER avec la direction des travaux, ainsi que les conducteurs de travaux et d'engins lors de l'exécution contribue à maintenir la bonne qualité des travaux effectués. L'OFEV recommande que le SER soit présent plusieurs fois par semaine sur le chantier [Brunner et Schmidweber 2007]. La collaboration interdisciplinaire entre les planificateurs, les autorités, les exécutants des travaux, les instituts de recherche et les institutions est importante et doit être encouragée.

### Matériel végétal et semences, adjuvants

En plus d'un certificat d'origine, une livraison de semences doit être accompagnée d'une liste de toutes les espèces contenues avec leurs pourcentages de mélange. Un échantillon de référence est prélevé avant l'ensemencement [Rieger 2006]. Des contrôles aléatoires ainsi que le contrôle des justificatifs et des bulletins de livraison permettent de s'assurer que les semences et les additifs commandés ont été utilisés.

### Exécution des travaux

Les exécutants doivent être sensibilisés à la manipulation correcte du sol et des plaques de gazon. Lors d'une introduction par le SER ou le SPT, la transposition directe ou le stockage correct des plaques est montré et les particularités (espèces végétales spéciales, etc.) sont signalées.

### Après l'achèvement des travaux

Une fois les travaux terminés, il faut procéder à un contrôle de réception et à un contrôle des résultats (cf. chapitre 7).

### Garanties

#### Conditions

Les normes SIA 118 « Conditions générales pour les travaux de construction » et 318 « Aménagement des jardins et des espaces verts » s'appliquent aux garanties si cela a été convenu par contrat. Si rien n'est réglé, le droit suisse des obligations s'applique [Hürlimann 2007]. Les conditions sont décrites ci-après sur la base des normes SIA

mentionnées [SIA 2009, 2013].

Outre l'objectif de végétalisation proprement dit, l'état exigé des surfaces de végétalisation lors de la remise de la construction/ végétalisation doit être fixé dans l'appel d'offres (par exemple en ce qui concerne l'ameublissement du sol, l'humus, l'installation de rigoles transversales), de même que la responsabilité pour la protection contre les effets nuisibles après la réception. Cela sert de base pour d'éventuelles demandes de garantie.

#### Début du délai de réclamation

Le délai de réclamation commence avec la réception de la végétalisation, que l'entrepreneur et le maître d'ouvrage effectuent dans un délai d'un mois à compter de l'achèvement de l'ouvrage sous forme d'un contrôle de réception [Hürlimann 2007].

#### Étendue

Les sortes et l'ampleur des dommages à réparer doivent être réglementés dès l'appel d'offres afin d'éviter toute ambiguïté ultérieure.

#### Extinction du droit à la garantie

Les dommages suivants entraînent l'extinction du droit à la garantie :

- Dommages causés par des tiers (par ex. pâturage, piétinement, conduite ou incendie) ;
- Dommages causés par les aléas naturels ;
- Dommages causés par une attaque inhabituellement forte de parasites et de maladies ;
- Les dommages causés par des sols contaminés ou empoisonnés.

Dans le cas où l'entretien des semis et des plantations n'est pas effectué par le même entrepreneur, la garantie de l'entreprise de végétalisation s'éteint avec la croissance des plantes. Si le moment de la plantation et de l'ensemencement n'est pas approprié, l'extinction de la garantie est subordonnée à un refus écrit de la part du responsable de l'entretien vis-à-vis de l'entreprise de végétalisation. Si la cause du dommage est due à une violation du devoir de diligence de l'entrepreneur, le droit à la garantie ne s'éteint pas [SIA 2009].

## 4.3 Approche du site

Dans de nombreux cas, les exigences en matière de végétalisation sont déjà formulées dans le permis de construire. Comme base pour la mise en œuvre, y compris le choix des semences ou de la méthode de végétalisation, des relevés sont effectués sur le site avant le début des travaux de construction. Il s'agit notamment d'informations sur la végétation existante, les facteurs de localisation (sol, expo-

sition, pente, forme du terrain, altitude), des informations sur les espèces caractéristiques de l'habitat cible concerné ainsi que sur la répartition des espèces. Il convient également de préciser l'utilisation prévue, l'infrastructure (accès, machines), etc.

### Examiner/compléter les bases

Pour la demande de permis de construire, les données importantes servant de base à la végétalisation devraient avoir été enregistrées. Les informations peuvent en partie être tirées de ces documents ou être consultées dans des ouvrages pertinents (Delarze et Gonseth 2008), des bases de données sur internet (InfoFlora) ou des géoportails (Swisstopo). Les études géologiques et hydrogéologiques, les facteurs de localisation, y compris les relevés de végétation et les analyses de sol, les espèces et les zones à protéger, etc. ainsi que les bases juridiques doivent être examinés et complétés si nécessaire.

### Examens préliminaires de la végétation

Le relevé de la végétation a pour but de déterminer la végétation actuelle de la surface concernée ou de sites de référence. Cela permet d'obtenir des indications sur les associations cibles possibles et d'identifier d'éventuels problèmes lors de leur établissement. En outre, il permet de recenser les biotopes sources potentiels pour les semences à proximité (Tischew 2006). En présence de sols de prairie, la clarification de l'utilisation antérieure avant l'intervention donne des indications sur la banque de semences présente dans la couche supérieure (Molder 2006).

Le relevé devrait être effectué de telle sorte que les données puissent être utilisées pour la définition des objec-

tifs et comme comparaison lors du contrôle ultérieur des résultats. La diversité des habitats sur une petite surface doit être prise en compte (Bellini 2015). Il est recommandé de combiner les méthodes mentionnées ci-dessous.

La cartographie des habitats selon Delarze est exigée pour la procédure d'autorisation selon la LPN. Pour cela, les unités de végétation sont attribuées à un type d'habitat (Delarze et Gonseth 2008). Pour la liste complète des espèces, les espèces présentes dans la zone de végétalisation et ses environs sont enregistrées sans évaluation de la fréquence et du degré de recouvrement (Trempe 2005). L'objectif est d'établir une liste complète. Un relevé de la végétation selon Braun-Blanquet permet d'estimer le degré de recouvrement des espèces présentes sur des surfaces d'échantillonnage (Braun-Blanquet 1964). Pour déterminer la taille appropriée des surfaces, on s'en tient à des valeurs empiriques (10 m<sup>2</sup> pour les pelouses pionnières pauvres en espèces, les marais à petites laïches et les pâturages intensifs, 10-25 m<sup>2</sup> pour les prairies, les pelouses maigres, les pelouses de montagne ou les landes sur sol acide) (Trempe 2005). La taille et le nombre des surfaces d'échantillonnage dépendent de l'hétérogénéité du périmètre et devraient être adaptés aux circonstances.

### Études préliminaires du sol

Une étude du sol aide à choisir la végétation cible appropriée pour les types de sol existants. De même, le risque d'érosion est clarifié dans le cadre de l'étude du sol. L'hétérogénéité nécessite souvent une cartographie à petite échelle (Figure 10) (Bellini 2015). Pour un choix aussi représentatif que possible des endroits à échantillonner, il faut tenir compte de la topographie ainsi que des facteurs pédologiques passés et actuels. Les cartes géologiques



Figure 10 : Les sols en stations d'altitude sont peu profonds et varient beaucoup selon l'emplacement (photos : K. Edelkraut).

fournissent des informations approximatives sur la roche mère. Celle-ci peut toutefois être recouverte par des dépôts hétérogènes provenant de chutes de pierres, etc. [Figure 10, à gauche] [Baruck et al. 2016].

Après des transpositions et des mélanges de sols sur de grandes surfaces, il est judicieux de procéder à une nouvelle analyse du sol afin d'adapter de manière optimale la végétalisation au site, même si les conditions ont changé [Schneider et al. 2017].

### Paramètres de recherche

Les paramètres suivants devraient être relevés pour l'approche du site [Krautzer et al. 2000, Nestroy et al. 2011]:

- Épaisseur de la couche supérieure du sol et, le cas échéant, du sous-sol ;
- Caractéristiques et épaisseur de l'horizon de couverture organique ;
- Caractéristiques spéciales du sol (par ex. sol organique) ;
- Régime hydrique (y compris l'engorgement, l'eau de ruissellement ou l'eau de retenue) ;
- Phénomènes d'érosion et sensibilité à l'érosion ;
- Proportion de composants du sol non-végétalisables (surtout les pierres).

Si les possibilités permettent d'autres analyses, les paramètres suivants offrent des informations supplémentaires utiles [Brunner et al. 1997, Nestroy et al. 2011]:

- Valeur du pH ;
- Squelette ;
- Granulométrie.

### Valorisation du sol

Si les travaux engendrent des terres qui ne sont pas retraitées sur place, leur valorisation doit être planifiée dès l'élaboration du projet en tenant compte de la protection du paysage. Les métaux géogènes tels que le cadmium ou le sélénium limitent la possibilité de recyclage. Si de tels gisements ou d'autres pollutions du sol sont suspectés, des analyses chimiques supplémentaires sont nécessaires [Bellini 2015].

### Risque d'érosion

A partir d'une pente de 30%, il faut choisir une méthode de végétalisation offrant une protection suffisante contre l'érosion [Krautzer et al. 2006]. Cette valeur peut varier en fonction de la nature du sol.

### Clarifier les accès, l'utilisation des machines et la protection du sol

Les possibilités de transport peuvent influencer le choix de la méthode de végétalisation. C'est pourquoi il faut toujours vérifier si et comment un chantier est accessible.

Pour les travaux au sol, on utilise des pelleteuses. Du point de vue de la protection des sols, les pelleteuses sur chenilles sont préférables aux pelleteuses sur roues, car elles exercent une pression de surface plus faible en raison de leur plus grande surface d'appui. Les pelles araignées sont globalement plus légères et plus agiles. Elles sont surtout utilisées sur des terrains en pente [Schiechtel et Stern 1992, Bellini 2015]. Grâce à leur construction spéciale, elles peuvent se tenir au-dessus d'une excavation et occupent ainsi nettement moins de place que les pelleteuses conventionnelles.

Même si les sols en altitude sont souvent moins profonds, les couches de sol développées doivent être protégées contre les atteintes. Outre le choix des machines appropriées, l'humidité du sol est un facteur important. Les sols humides ne doivent pas être conduits ou travaillés, car ils sont plus compacts. Le paramètre pertinent à cet égard est la force de succion, une mesure de la teneur en eau des pores du sol. Celle-ci peut être mesurée à l'aide de tensiomètres. Dans la pratique, l'humidité du sol est toutefois souvent déterminée par un test au toucher ou sur la base des conditions météorologiques actuelles. La force de succion, qui exprime la capacité de charge du sol, est comparée à la pression de surface et au poids de l'engin. Les limites d'utilisation des machines de chantier peuvent être calculées ou lues dans le nomogramme (Figure 11). En outre, les stations de mesure des réseaux de mesures au sol dans les différents cantons fournissent des informations sur l'état actuel du sol.

Force de succion [cbar] = poids de l'engin [t] x pression de surface [kg/cm<sup>2</sup>] x 1.25

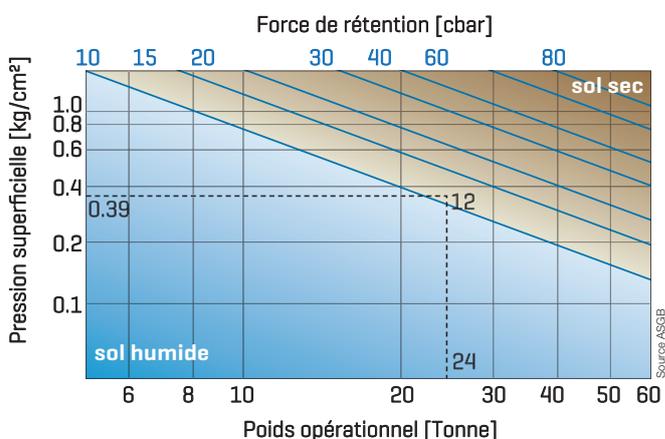


Figure 11 : Lecture de la limite d'application à partir du nomogramme : l'intersection entre le poids de l'application (lignes verticales) et de la pression de surface (lignes horizontales) donne la force de rétention (lignes obliques). Elle correspond au niveau d'humidité du sol à partir duquel la machine peut être utilisée directement sur le sol (par exemple une excavatrice de 24 tonnes) [source : FSKB].

Sur le chantier, les indications suivantes permettent d'évaluer l'humidité du sol (Umweltfachstellen-Zentralschweiz 2007) :

Force de succion de :	
<b>&lt; 6 cbar</b>	(la terre est mouillée et colle au godet de la pelleuse) : pas de circulation ni de travaux de terrassement.
<b>6-10 cbar</b>	(la terre est malléable, mais ne colle pas au godet de la pelleuse) : pas de circulation, travaux de terrassement uniquement à partir d'un support ménageant le sol (matelas d'excavation ou autre) et si le sol est apte au remblayage.
<b>&gt; 10 cbar</b>	(les morceaux de terre se brisent facilement et peuvent s'écouler dans le godet de la pelleuse) : circulation et travaux de terrassement selon la liste des machines ou en accord avec le SER.

#### 4.4 Objectif de la végétalisation

L'objectif général de la végétalisation est une végétation adaptée aux conditions du site et résistante à l'érosion (Marti et al. 2016). Elle doit être proche de la nature et adaptée aux conditions climatiques et à l'altitude. La végétation étrangère doit être évitée.

Dans le cadre d'un projet concret de végétalisation, des objectifs réalistes et vérifiables doivent être formulés lors de la phase de planification. L'utilisation et les options d'entretien futures ainsi que l'étage d'altitude doivent être

Table 1: Zielformulierung für die Hochlagenbegrünung. | Tableau 1 : Formulation d'objectifs pour la végétalisation en altitude.

Critère	Objectifs
Esthétique	Présence de petites structures Surfaces intégrées dans le paysage L'aspect de la végétation (couleur de floraison, coloration) correspond à celui des surfaces environnantes.
Erosion	Le degré de recouvrement de la végétation est d'au moins 75% Il n'y a pas de traces d'érosion dans la zone de la surface d'intervention Il n'y a pas de zones sans végétation > 400 cm <sup>2</sup>
Proximité de la nature	Il n'y a pas d'espèces étrangères à la région La composition des espèces correspond au moins aux 3/4 à la végétation cible. Les espèces typiques de l'habitat cible prédominent.

Table 2: Etappierung der Erfolgskontrolle bis zur Erreichung des Begrünungsziels. Die obere Zeile (Intensiv) gilt für Ansaaten intensiver und wenig intensiver Wiesen und Weiden sowie für Sodenverpflanzungen, die untere Zeile (Extensiv) gilt für Ansaaten extensiver Wiesen und Weiden sowie alpiner Rasen. | Tableau 2 : Étapes du contrôle d'efficacité jusqu'à ce que l'objectif de végétalisation soit atteint. La ligne supérieure (Intensive) s'applique aux semis des prairies et pâturages intensifs et de faible intensité ainsi qu'au repiquage des plaques de gazon, la ligne inférieure (extensive) s'applique aux semis des prairies et pâturages extensifs ainsi qu'aux prairies alpines.

	Intensif	1 an	2-3 ans	4-5 ans
	Extensif	1 an	3-5 ans	8-10 ans
Germination	Germination majoritairement effectuée, presque pas de plaques mortes	Plantations établies, plaques en croissance	Semis et plaques tablies	
Esthétique		Esthétique atteint > 50%	Objectif atteint	
Erosion	Objectif atteint	Objectif atteint	Objectif atteint	
Proximité de la nature		Objectif atteint > 50%	Objectif atteint	

pris en compte dans la décision, tout comme le temps nécessaire au contrôle final des résultats. Selon le lieu, la végétation cible et la technique de végétalisation, la composition des espèces souhaitée et le taux de couverture visé ne peuvent être atteints qu'après plusieurs décennies (Rydgren et al. 2011). La base la plus importante pour la définition de l'objectif de végétalisation est l'approche du site. Les contacts avec des experts régionaux fournissent des indications supplémentaires. En l'absence d'études avant le début des travaux, il est possible de relever la composition des espèces dans des habitats comparables



Figure 12 : Si des anciens nivellements doivent être à nouveau végétalisés, l'objectif de végétalisation doit être adapté à la situation. La couche supérieure du sol n'est généralement que très peu développée. Dans le cas d'une végétation non indigène, il est recommandé d'utiliser des semences adaptées au site (photo : K. Edelkraut).

des environs immédiats. Dans un cadre temporel selon le Tableau 2, les critères suivants devraient être atteints par une végétalisation (Tableau 1).

### Cadre temporel

Le cadre temporel varie en fonction de la végétation et de l'étage d'altitude. Pour les transplantations des plaques pures, les ensemencements de prairies et pâturages intensifs et peu intensifs, ainsi qu'à des altitudes inférieures à 2 000 m, l'objectif devrait être atteint en 5 ans. Les ensemencements de prairies et pâturages extensifs et de pelouses alpines à des altitudes plus élevées nécessitent plus de temps. Il est judicieux de procéder à un contrôle échelonné des résultats afin de détecter à temps les évolutions défavorables. Il est recommandé de procéder par étapes, conformément au Tableau 2.

### Composition des espèces

En principe, l'éventail des espèces de la végétalisation devrait correspondre à celui de la végétation cible. Les espèces étrangères à la station et à la région ne sont autorisées que dans les mélanges de cultures pour l'agriculture. Les espèces appartenant à des stades de succession antérieurs peuvent être justifiées si leurs habitats sont naturellement présents dans les environs.

### Cas particuliers de la végétation cible

Lors de nouvelles interventions sur d'anciennes plaines ou sur des chemins forestiers, l'état juste avant l'intervention ne correspondra pas à la végétation cible souhaitée (Figure 12). La décision de savoir quel objectif de végétalisation est visé et quel matériel végétal peut être réutilisé doit être prise en fonction de la situation. Si d'anciennes plaines ont été végétalisées avec des semences étrangères à la station, la nouvelle intervention offre la possibilité de planter un mélange adapté à la station et si possible local. En revanche, si la piste a été laissée à la succession, on peut essayer de conserver autant que possible les plaques et de les compléter par un ensemencement. Sur les surfaces de pâturage, aucune matière fauchée n'est disponible en fonction de l'utilisation. S'il faut ensemençer et qu'une surface semencière est disponible, il est éventuellement possible d'ensemencer avec des semences locales de prairie de fauche. L'utilisation du pâturage fera à nouveau évoluer l'éventail des espèces vers le pâturage.

### Degré de recouvrement

Le degré de recouvrement doit être adapté à la végétation environnante ou à la végétation cible. Dans les zones situées en-dessous de la limite des arbres et dans les zones de pelouses alpines fermées, on vise un taux de recouvrement de 100% (Marti et al. 2016). Si la végétation

environnante existante présente naturellement un taux de recouvrement plus faible, il faut viser ce taux de recouvrement de manière analogue sur la surface cible. Krautzer et al (2006) recommandent d'éviter les zones ouvertes de plus de 400 cm<sup>2</sup>, car elles présentent un risque d'érosion.

### Protection contre l'érosion

L'érosion ne doit pas être plus prononcée après l'intervention qu'avant (OFEV et OFT 2013). A partir d'un degré de recouvrement d'environ 70%, on peut considérer que la protection contre l'érosion est bonne (Krautzer et al. 2011). Celle-ci est d'autant meilleure que la diversité des espèces végétales est élevée (Martin et al. 2010). Le degré de recouvrement visé doit être atteint le plus rapidement possible. En cas d'ensemencement, l'expérience montre que la végétation n'est suffisamment stable pour offrir une protection suffisante contre l'érosion qu'à partir de la deuxième période de végétation. Même l'ensemencement d'espèces nourricières n'apporte pas forcément une protection plus rapide contre l'érosion (Graiss et Krautzer 2011). En attendant, il convient d'empêcher l'érosion à l'aide de moyens auxiliaires tels que du mulch associé à des produits liants ou des géotextiles (Krautzer et al. 2011). En cas de conditions difficiles, des traverses, armatures ou caissons en bois offrent une protection supplémentaire contre l'érosion pendant une période prolongée (Florineth 2014, Ammann 2017). Les pierres, les rhizomes ou les structures de surface sont également utiles. Les plaques sont fixées avec des clous en bois aux endroits présentant un risque de glissement (AGHB). Les parties de la végétation transplantées doivent s'enraciner solidement. Les bordures des plaques doivent être protégées au mieux de l'érosion ou du dessèchement en les installant le plus possible au niveau du sol (AGHB oral).

### Esthétique / Tourisme

Les scénarios climatiques indiquent des hivers nettement moins enneigés dans les Alpes (Gobiet et al. 2014), ce qui augmente l'importance du tourisme estival. Parmi les visiteurs estivaux, on constate une tendance aux vacances de randonnée liées à la nature. Ces hôtes recherchent une nature authentique (Fleischhacker et al. 2012, Schützinger 2015). C'est aussi pour cette raison qu'une surface d'intervention doit être rendue invisible le plus rapidement possible et s'intégrer de manière optimale à l'environnement (Heurding 2005). Le relief doit alors paraître le plus naturel possible, dans la mesure où le projet de construction le permet. Il ne doit pas y avoir de plaies ni de végétalisation inadaptée [étrangère au paysage] (Schmid et Frei 2005).

#### 4.5 Choisir une méthode de végétalisation

Pour la végétalisation, il existe différents types de semences et de matériel végétal, ainsi que différents procédés et adjuvants. La plupart peuvent être combinés entre eux. Ils sont en partie interdépendants [Figure 13]. L'aperçu suivant [Figure 13] énumère les procédés possibles et les combinaisons ou dépendances possibles entre le matériel végétal, les procédés et les adjuvants. Les numéros dans l'en-tête renvoient aux chapitres respectifs dans lesquels les procédés et les matériaux sont décrits

plus en détail. Une autre vue d'ensemble [Figure 14] sert de support pour le choix de la méthode de végétalisation appropriée, du matériel végétal et des semences ainsi que des adjuvants recommandés.

Sur la base des informations issues des études préliminaires et des ressources disponibles, la méthode de végétalisation optimale est choisie afin de répondre aux objectifs de végétalisation. Plus les ressources disponibles sont utilisées avec ménagement, plus l'objectif de végétalisation est atteint rapidement. La méthode la plus douce

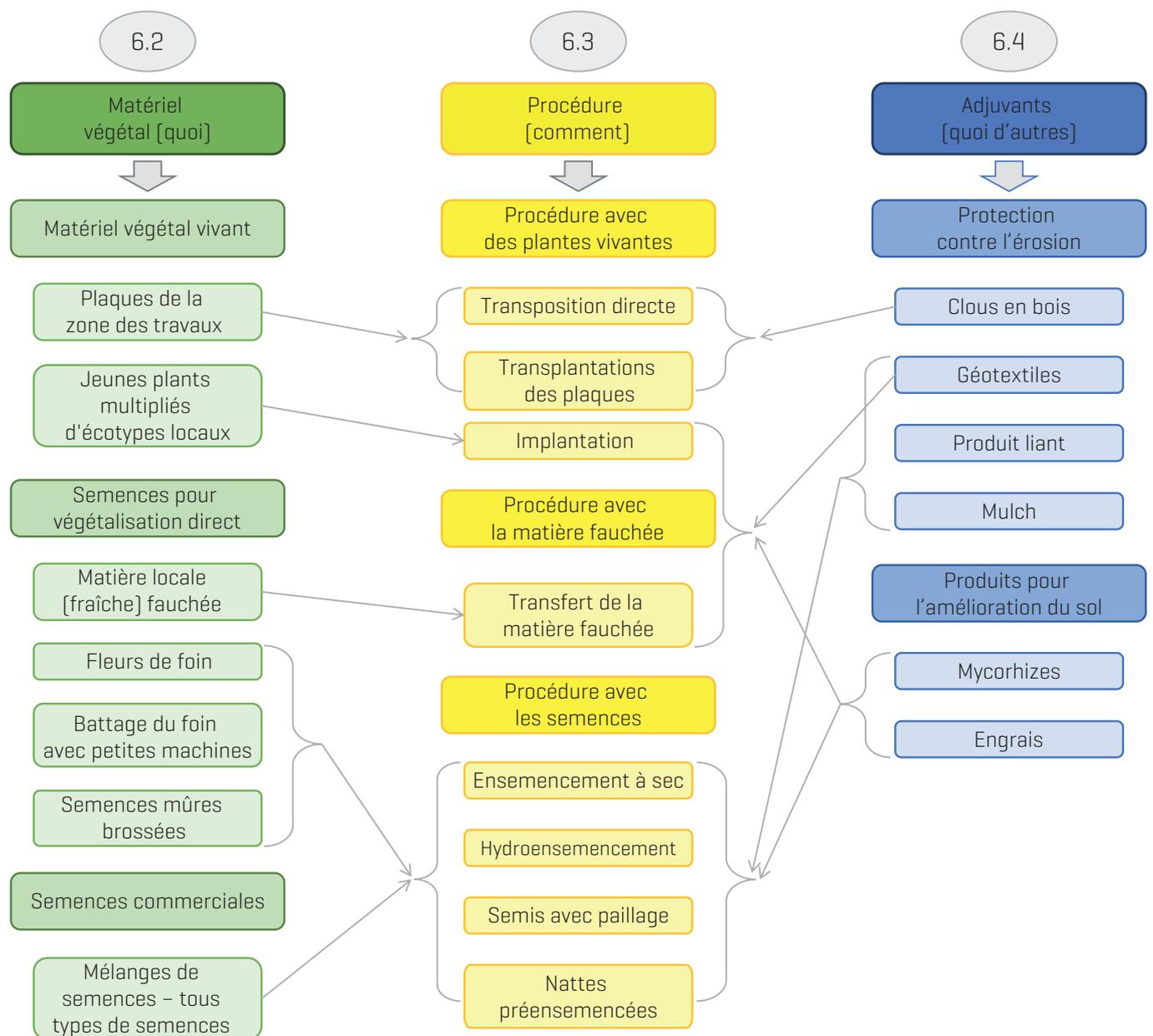


Figure 13 : Vue d'ensemble des méthodes, des plantes et semences possibles ainsi que des adjuvants et de leur combinaison. Les différentes méthodes ou matériaux sont expliqués aux chapitres 6.2, 6.3 et 6.4 en fonction des numéros figurant au-dessus des colonnes.

est la transposition directe. Si cela n'est pas possible, il est tout de même important de sécuriser tout le matériel végétal existant et de transplanter les plaques restantes, éventuellement en combinaison avec un ensemencement. Si des semences sont nécessaires, elles doivent être adaptées au site. L'idéal est de disposer de semences locales, mais il faut pour cela disposer de surfaces semencières ou du temps nécessaire à une multiplication ciblée. Si aucune semence locale n'est disponible, il est possible de recourir à des semences régionales ou à des semences d'écotypes suisses. Les adjuvants nécessaires dépendent surtout de la nature du sol, du risque d'érosion et de la méthode de végétalisation. En général, on peut dire que les plaques contiennent suffisamment de terre végétale, de sorte qu'aucune mesure d'amélioration du sol n'y est nécessaire. Lorsque la couche supérieure est fortement dégradée, voire absente, et qu'un ensemencement est prévu, des mesures d'amélioration du sol telles que l'apport de matière organique pour améliorer la structure peuvent être envisagées. Si des champignons mycorhiziens sont ajoutés aux semences, ils favorisent l'absorption des substances nutritives et de l'eau par les jeunes plantes. Ils doivent cependant être adaptés aux conditions locales de la surface d'intervention. En altitude, les semis devraient être protégés de l'érosion par le vent à l'aide de paillage/mulch et d'un produit liant organique. Le mulch apporte également une certaine protec-

tion contre l'érosion par ruissellement lors d'intempéries. L'aperçu suivant [Figure 14] fournit des points de repère lors du choix de la méthode. Les cas spéciaux ne sont pas pris en compte ici. Les explications concernant les questions dans les cases grises se trouvent dans le Tableau 3 correspondant.

### 4.6 Soumission

Si la soumission pour l'ensemble du projet de construction comprend un lot pour la végétalisation, il convient de définir, en plus des coûts, d'autres critères d'attribution qualitatifs [références spécifiques aux sites en altitude, formation du personnel mobilisé, matériel d'exploitation/machines, exigences en matière de semences et de matériaux végétaux utilisés]. La transmission de mandats à des sous-traitants doit être réglée dans la soumission. Les délais sont fixés dans les documents de soumission et dans le contrat entre l'entrepreneur et le donneur d'ordre. Il convient de tenir compte des conditions météorologiques particulières en altitude [enneigement, accès, gel, interruptions dues aux intempéries, etc.]

### 4.7 Documentation

#### Plan et carte

Pour l'appel d'offres, l'exécution et la documentation, il est recommandé de consigner le périmètre d'intervention cor-

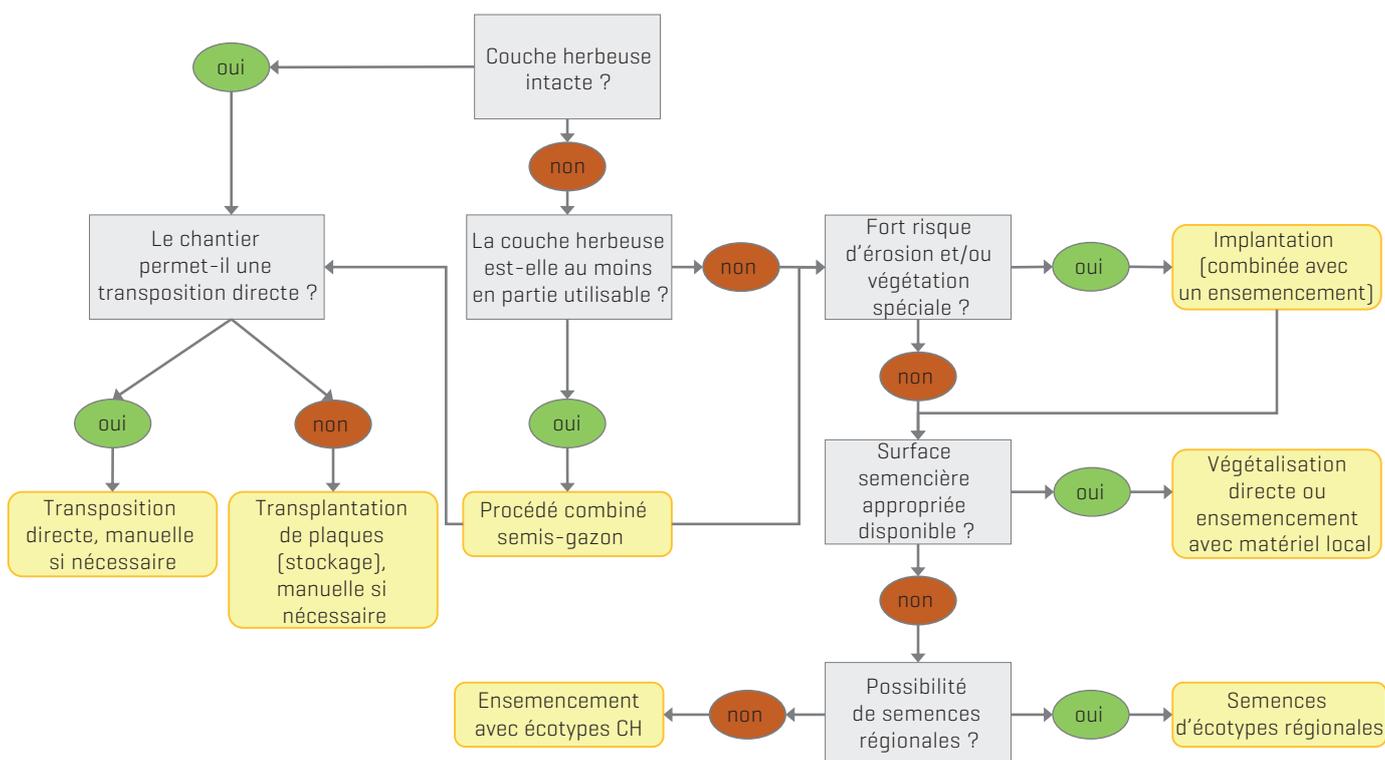


Figure 14 : Schéma de sélection des méthodes de végétalisation. Les explications des cases grises sont données dans le tableau 3 suivant.

Tabelle 3: Erläuterungen zu den Fragen (eckige Boxen) im Auswahlschema | Tableau 3 : Explications aux questions (boîtes carrées) dans le schéma de sélection.

Couche herbeuse intacte ?	Les plaques de gazon sont très importantes pour la restauration en termes de composition des espèces, d'origine et d'âge. Dans la mesure du possible, il convient de les séparer lors du prélèvement. Le cas échéant, une aide manuelle peut s'avérer utile.
Le chantier permet-il une transposition directe ?	Si l'organisation du chantier permet de réutiliser immédiatement les plaques à un autre endroit, le stockage intermédiaire n'est pas nécessaire. Le nombre de transposition est réduit.
La couche herbeuse est-elle au moins partiellement utilisable ?	S'il n'est pas possible de récupérer suffisamment de plaques pour une restauration, les plaques disponibles sont réparties en mosaïque et, le cas échéant, complétées par un ensemencement selon le procédé combiné semis-gazon.
Fort risque d'érosion et/ou végétation spéciale ?	S'il ne reste pratiquement plus de terre végétale sur une surface exposée à l'érosion, l'implantation peut être la meilleure méthode [Urbanska 1997, Rixen et Schmid 2016]. C'est également le cas lorsque des arbustes nains sont souhaités. La plupart du temps, l'implantation est complétée par un ensemencement. Si des plaques de gazon sont disponibles, ils peuvent être utilisés en complément, mais doivent être sécurisés le cas échéant (clous en bois).
Surface semencière appropriée disponible ?	Pour un ensemencement avec des semences locales, il faut disposer d'une surface semencière adaptée à la station la plus proche possible. Cela vaut pour la végétalisation directe, où la matière fauchée fraîchement coupée est utilisée directement, ainsi que pour les méthodes de collecte [brossage ou battage du foin]. Les fleurs de foin nécessitent également une prairie de fauche appropriée à proximité. Le foin doit être stocké séparément.
Possibilité de semences régionales ?	S'il n'est pas possible d'obtenir directement des semences locales, des semences commerciales sont nécessaires. Les semences régionales sont préférables aux autres origines. Si l'on dispose de suffisamment de temps, il est possible de produire sur commande des semences d'origine définie dans des établissements multiplicateurs. Les écotypes devraient être préférés aux formes cultivées.

respondant sur un plan. Cela permet également de déterminer la taille des surfaces (entre autres pour déterminer la quantité de semences nécessaire). De plus, des photos des différentes interventions servent de documentation pour le rapport.

### Documentation écrite

La documentation minimale requise est définie dans le permis de construire. Pour le contrôle des résultats, il est recommandé d'évaluer les aspects esthétique, érosion et nature/paysage selon les critères définis au chapitre 4.4 conformément aux lignes directrices pour la végétalisation en altitude. Des relevés détaillés supplémentaires de la végétation et l'estimation du recouvrement de la végétalisation aident à formuler les mesures éventuellement nécessaires (mesures d'amélioration). La documentation de terrain est complétée par des photos significatives (état initial, pendant la phase de construction, pendant et après la végétalisation). Un rapport final décrit le projet, les mesures prises et une évaluation (préliminaire) du succès de la végétalisation.

### Responsabilité

Le maître d'œuvre est responsable de la documentation. Il délègue en général la tâche au SER ou à un autre spécia-

liste approprié. Les rapports intermédiaires et le rapport final doivent normalement être soumis à l'autorité compétente en matière d'autorisation.

### 4.8 Liste de contrôle

La liste de contrôle permet de vérifier si la planification a été entièrement réalisée. En même temps, il contient des points pour les préparatifs sur le chantier.

- Une inspection sur place avec les acteurs impliqués a eu lieu.
- Les personnes concernées sont informées des objectifs de végétalisation.
- La formation des employés sur le chantier est prévue.
- Les conditions météorologiques ont été prises en compte lors de la planification des travaux.
- Les accès (voies d'accès, horaires, fréquence, moyens de transport autorisés) ont été contrôlés.
- La protection des sols lors de la planification des travaux au sol et du stockage intermédiaire (avec SER) a été prise en compte.
- Les machines et les outils appropriés ont été sélectionnés en tenant compte des propriétés physiques du sol et de son humidité.
- La liste des machines pour le SER a été créée [Bellini 2015].

## 5 Travaux préliminaires

Dans ce contexte, le terme « construction » est utilisé pour désigner l'ensemble des activités liées à un projet de construction, de l'installation du chantier à l'achèvement de l'objet et à la remise en état des surfaces occupées. Seuls les aspects d'un projet de construction ayant trait à la végétalisation sont traités ci-après [Figure 15].

Lors d'une première visite avec l'entrepreneur, les travaux relatifs au sol et à la végétation sont discutés et les surfaces concernées sont définies. Si des espèces protégées sont présentes, il faut clarifier la manière dont leurs populations peuvent être sauvegardées [transplantation, collecte de graines]. Pour une protection optimale du matériel végétal, il faut discuter de la possibilité d'extraire des plaques, de les stocker et de les remettre en place. Alternativement, un ensemencement ultérieur devrait être préparé de manière optimale en décrivant les surfaces existantes [listes d'espèces des principales espèces déterminantes pour l'habitat] et en s'assurant de l'acquisition des semences correspondantes [indépendamment du fait qu'il s'agisse de semences commerciales ou de semences récoltées dans les environs]. Si les travaux de construction ont déjà commencé et que l'on ne dispose pas d'informations sur l'état initial des surfaces concernées, il est possible d'examiner des surfaces voisines comme référence. La collecte autonome de semences doit être bien coordonnée dans le temps, car les semences de plantes d'altitude perdent rapidement leur pouvoir germinatif.

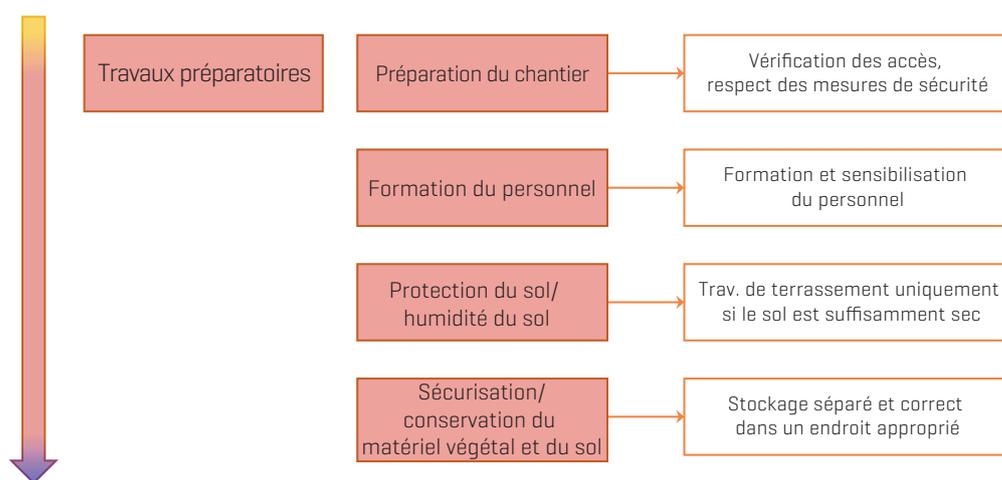


Figure 15 : Contenu du déroulement des travaux préparatoires.



Figure 16 : Des panneaux de coffrage sécurisent le chantier et empêchent le glissement des matériaux vers les surfaces en aval (photo : M. Peters).

### 5.1 Préparation du chantier

Lors de la préparation, on vérifie si les accès prévus sont libres, si les machines sont disponibles comme prévu et si les dispositions nécessaires pour la protection du sol ont été prises. Il s'agit notamment de délimiter la surface du chantier et de marquer les zones sensibles (flore particulière, etc.) qui ne doivent pas être affectées par les machines de chantier. Des remblais, panneaux de coffrage ou un recouvrement temporaire peuvent empêcher un glissement ou un ravinement des matériaux terreux ou des pierres (Figure 16) (Schiechtl et Stern 1992).

#### Formation du personnel par le SER

Les ouvriers qui interviennent sur le chantier doivent être formés par le SER ou par d'autres spécialistes expérimentés à la manipulation correcte des plaques et aux mesures de protection des sols. Afin de garantir le plus grand soin possible dans la manipulation de la couche supérieure et du matériel végétal, les personnes concernées doivent être rendues attentives à l'importance des plaques intactes pour un succès rapide et écologique de la végétalisation (Bellini 2015).

### 5.2 Protection du sol/humidité du sol

La couche supérieure et la couche inférieure du sol doivent être soigneusement séparées (Bellini 2015). Les travaux touchant au sol ne peuvent être effectués que si le sol est suffisamment sec. Le contrôle de l'humidité actuelle du sol influence la décision quant aux mesures de protection du sol nécessaires. Certains cantons exploitent des stations de mesure de l'humidité du sol et proposent les informations en ligne. Lors de l'utilisation de ces informations, il faut toutefois tenir compte de l'hétérogénéité des sols. Des indications sur l'évaluation de l'humidité du sol se trouvent

au chapitre 4.3. Lorsque le sol est gelé, il est possible de rouler dessus, mais pas de le creuser ou de le déplacer.

### 5.3 Sécurisation/Conservation du matériel végétal et du sol

Afin d'éviter tout retard dans les travaux de terrassement, la sécurisation des plaques de gazon ainsi que l'emplacement approprié des dépôts doivent être définis au préalable. Les dépôts sont placés de manière à être à portée de pelleuse, sans toutefois gêner les accès ou les voies de transport.

#### Sécurisation des semences et des plantes isolées

La collecte de semences locales commence le plus tôt possible. Dans la pratique, la collecte se poursuit durant les mesures de construction dans la zone du chantier. Des indications sur la collecte et les semences se trouvent au chapitre 6.2. Si des plantes isolées particulièrement dignes de protection se trouvent dans la zone du chantier, elles sont soit transplantées directement dans des sites appropriés, soit déterrées et plantées.

#### Sécurisation des plaques

Les plaques de gazon présentes sur le site doivent être protégées (Krautzer et al. 2000, Schmid et Frei 2005). Pour ce faire, des morceaux de la couverture végétale sont coupés avec leurs racines. Cela se fait à la main ou à l'aide d'une pelle niveleuse (Figure 17). Les plaques doivent être manipulées avec soin, l'idéal étant de les peler et de les déposer comme une « pizza ». En cas de conditions très sèches, il y a un risque de perdre beaucoup de terre fine du système racinaire lors du prélèvement. On peut alors essayer de prélever ces plaques tôt le matin, lorsque, le cas échéant, il y a encore un peu de rosée avec la terre végétale. Les meilleurs résultats avec les plaques de gazon sont



Figure 17 : Les mottes sont soigneusement rabotées à l'aide de la pelleuse (photo : T. Schmid).

obtenus lorsqu'elle peuvent être transplantées directement à leur destination sans stockage intermédiaire [transfert direct]. Si cela n'est pas possible, il faut définir un stockage intermédiaire approprié [Krautzer et al. 2007, Marti et al. 2016].

### Stockage des terres et des plaques

La couche supérieure, respectivement les plaques, et la couche inférieure du sol doivent en principe être conservées séparément.

Les plaques sont superposées différemment en fonction de la durée de stockage. Idéalement, les plaques doivent être placées côté sol sur côté sol et côté plante sur côté plante. Les plaques ne doivent ni se dessécher ni pourrir [Krautzer et al. 2007], c'est pourquoi les dépôts ne sont aménagés qu'avec de faibles hauteurs [max. 60 cm]. Sur les chantiers de longue durée, la superposition risque d'asphyxier les couches inférieures, en particulier sur les sites humides et riches en humus. Si l'espace le permet, il est préférable d'étaler ces plaques, mais aussi celles dont la végétation est particulièrement fragile. Pour économiser de l'espace, les dépôts de la couche inférieure peuvent être recouverts par les plaques (Figure 18). De cette manière,



Figure 18 : Dépôt de terre, recouvert de mottes [photo : K. Edelkraut].

les plaques restent intactes et les dépôts sont végétalisés. Il est interdit de circuler sur les dépôts. Les eaux de surface doivent pouvoir s'écouler librement. Une couche de séparation permet de séparer les matériaux du dépôt de ceux de la couche inférieure. Pour les dépôts de courte durée, on peut éventuellement utiliser la couverture végétale existante, coupée à ras, ou de la paille comme couche de séparation ; on utilise aussi souvent un revêtement perméable à l'eau (Figure 19). Les couches identiques sont déposées sans couche de séparation, par exemple la couche inférieure et la couche supérieure du sol.

Pour les dépôts de longue durée, il faut décider en fonction



Figure 19 : Stockage à court terme des plaques de gazon directement sur la végétation existante. Les dépôts de terre sont versés sur un revêtement de séparation [photo : K. Edelkraut].

de la situation si la couche supérieure doit être prélevée ou non. En présence d'une végétation à protéger sur le site du dépôt ou d'un sol riche en argile, il est recommandé de prélever la couche supérieure du sol [AGHB oral]. Sinon, le sol ne doit pas obligatoirement être prélevé si l'épaisseur du dépôt est réduite [Bellini 2015]. Un remblayage aéré en forme de trapèze et une limitation de l'épaisseur permettent d'éviter les zones centrales anaérobies dans les stockages intermédiaires [Bellini 2015]. On considère les hauteurs maximales suivantes pour les stockages intermédiaires (Figure 20) [Krautzer et al. 2007, Bellini 2015] :

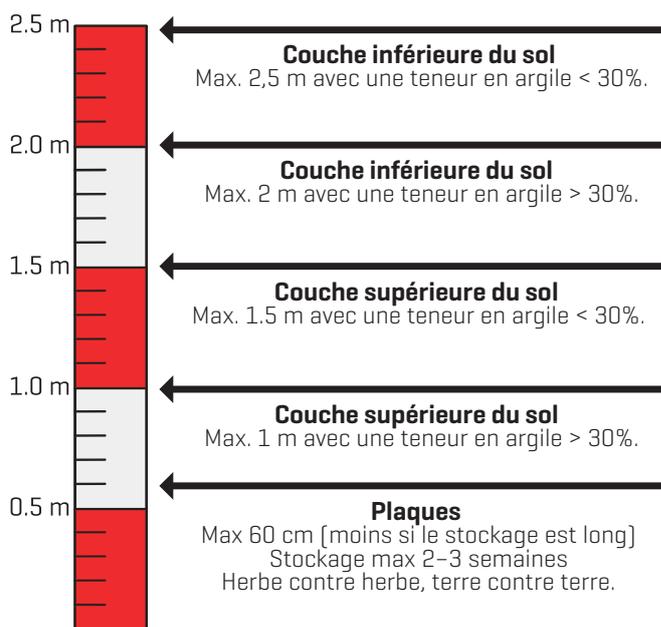


Figure 20 : Hauteurs maximales d'ensilage pour le stockage du sol. Les hauteurs indiquées se réfèrent à des matériaux en vrac [Bellini 2015].

## 6 Exécution des travaux

Lors de l'exécution des travaux de végétalisation (Figure 21), on procède en principe selon l'étude du projet. Des difficultés imprévues de calendrier ou autres peuvent nécessiter de s'écarter de la procédure prévue. La procédure doit alors être clarifiée en fonction de la situation entre les acteurs impliqués (maître d'ouvrage, entreprise de végétalisation, SER).

Les méthodes de végétalisation, y compris le matériel végétal et les adjuvants, la possibilité d'utilisation des machines et la saison à laquelle la végétalisation doit avoir lieu, s'influencent mutuellement et doivent donc être coordonnées entre elles.

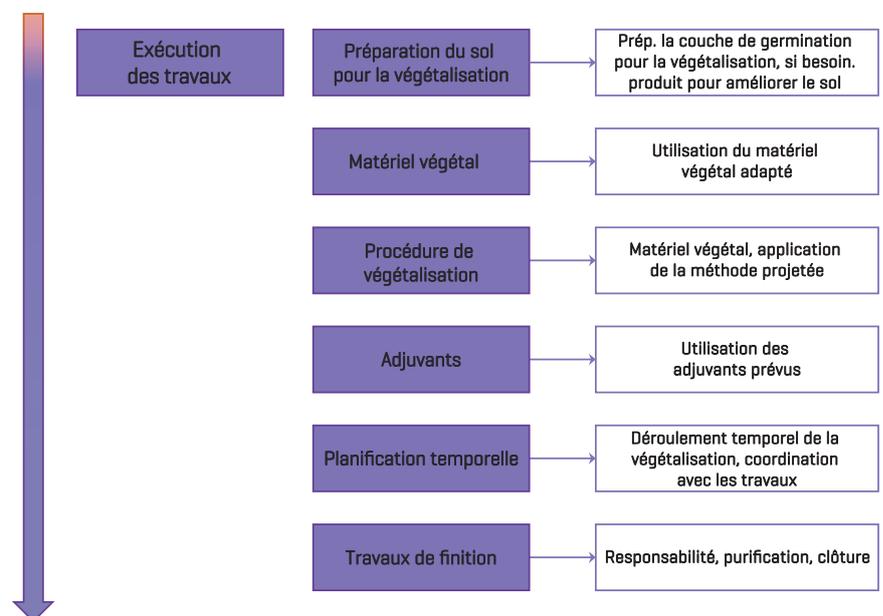


Figure 21 : Contenu du déroulement lors de la mise en œuvre.

### 6.1 Préparation du sol pour la végétalisation

Lors de la remise en état après les travaux, la stratification naturelle doit être rétablie [Schmid et Frei 2005]. Une remise en état correcte est importante pour préserver la fertilité du sol. Afin d'éviter la compression, il ne faut travailler que dans des conditions sèches. La couche inférieure est remblayée de manière aussi meuble que possible, sans presser ou tirer fermement avec la pelleuse. Des pierres plus grosses peuvent servir de drainage [si l'objectif de végétalisation est atteint]. La terre végétale est ensuite versée sur la couche inférieure meuble. Cela permet d'obtenir une liaison (pores) entre les deux couches. La surface peut ensuite être aménagée. Une surface rugueuse constitue des créneaux abritant les germes, réduit l'érosion et ralentit le dessèchement du sol [Schmid et Frei 2005, Krüsi 2014]. Elle donne une meilleure prise aux plaques et contribue à un aspect plus naturel [Marti et al. 2016].

Exigences relatives à la couche de germination

Les exigences suivantes existent [Graf 1998] :

- Stabilité de la matrice du sol et de la structure poreuse [stabilité des agrégats, structure]
- Proportion de sédiments fins d'au moins 30%
- Eau et éléments nutritifs en suffisance sous forme assimilable par les plantes
- Aération suffisante
- Conditions intactes pour la réinstallation des organismes du sol.

Si le lit de germination ne répond pas aux exigences, des conseils et des restrictions sur l'amélioration du sol sont donnés au chapitre 6.4.

## 6.2 Matériel végétal

### **Plaques de la zone de chantier**

La protection des plaques de la zone de chantier est décrite au chapitre 5.3.

### **Multiplication de jeunes plants d'écotypes locaux**

Des semences sont collectées à proximité immédiate du chantier. De jeunes plants sont cultivés et multipliés dans des pépinières. Si le climat de la pépinière et le substrat sont similaires au site de végétalisation, les jeunes plantes sont adaptées de manière optimale. L'utilisation de plantes à multiplication spéciale nécessite un délai suffisamment long, au moins une saison.

### **Méthodes de récolte pour la végétalisation directe**

Les méthodes suivantes permettent de récolter des semences locales si les surfaces semencières appropriées sont disponibles. Seule la récolte est décrite. D'autres informations sur les semences, par exemple sur leur origine, se trouvent dans un chapitre spécifique « Semences ». La description de l'utilisation du matériel récolté est faite en détail au chapitre 6.3.

Le rapport entre la surface de remblai et la surfaces de prélèvement s'élève à 1:1–1:2 [Krautzer et al. 2000, Bosshard et al. 2013]. Le transfert des produits de coupe des pâturages est très coûteux, car les pâturages sont inégaux en raison de la charge de piétinement et ne peuvent guère être fauchés.

### **Matière fraîche fauchée**

Une surface semencière est fauchée lorsque la plupart des graines des espèces souhaitées sont bien prêtes. Les graines ont déjà atteint leur taille maximale, mais sont encore molles et ne tombent pas au premier contact [RegioFlora]. Le matériel semencier est fauché tôt le matin, lorsqu'il est couvert de rosée. Pour une coupe en douceur, le fauchage s'effectue sans faucheuse-condi-

tionneuse et à faible vitesse [Agridea 2015]. Les graines et certains petits organismes se collent à la matière fauchée, généralement humide, et ne tombent qu'en séchant. En altitude, le moment idéal pour la récolte ne coïncide pas avec celui de l'ensemencement, c'est pourquoi cette méthode se limite plutôt aux régions de basse altitude.

### **Semences mûres brossées**

Une variante de la végétalisation directe consiste à ne pas transférer toute la matière fauchée, mais à ne récolter que les semences sur la surface semencière. Même sur des terrains pentus avec une inclinaison de plus de 100%, il est possible de récolter des semences avec des machines appropriées [Bosshard 2016]. En revanche, l'utilisation de machines est difficile sur les terrains accidentés. Le broyage à la main y est recommandé.

On ne récolte pas au stade « bien mûr », mais en « sur-maturité », lorsque les graines sont dures et tombent facilement. Une prairie peut être récoltée plusieurs fois par an avec cette méthode [Agridea 2015]. Les semences peuvent être séchées et conservées, ce qui permet une plus grande flexibilité temporelle lors de la végétalisation. Cette méthode est donc plus adaptée aux stations d'altitude que le fauchage de la matière fraîche. Les plantes à faible croissance sont toutefois mal répertoriées [Sengl et al. 2014].

### **Battage de foin [battage de prairie]**

La surface semencière est fauchée, le produit de la fauche est séché et battu [Kirmer et Tischew 2006, Agridea 2015]. Si le battage s'effectue en même temps, une petite moissonneuse-batteuse est utilisée pour la récolte en altitude.

### **Fleurs de foin**

Cette méthode consiste à utiliser du matériel sec qui se trouve dans un fenil. Des accords précoces ou des contrats avec l'agriculteur offrent la possibilité de stocker séparément le foin d'une surface spécifique sélectionnée. Il est recommandé de vérifier la faculté germinative avant l'ensemencement, en particulier pour les fleurs de foin d'âge inconnu. Les quantités semées varient fortement en fonction de la proportion de foin, la couche doit être fine pour que la lumière atteigne le sol et que la pression concurrentielle entre les semis ne soit pas trop forte [AGHB oral].

### **Mélanges de graines**

Les mélanges de graines ont l'avantage de pouvoir être répandus au moment idéal et leur composition peut être déterminée avec précision. Il est ainsi possible d'augmenter la proportion d'espèces difficiles à établir par rapport à celles qui germent facilement. Comme on sait exactement ce qui a été semé, le succès de l'établissement peut être

évalué et la recette du mélange peut être ajustée. Lors du choix des semences, il convient de tenir compte autant que possible de la végétation locale. Si des prairies semencières sont disponibles, la végétalisation avec des semences collectées localement est le premier choix. Dans les régions alpines d'altitude, où le fauchage ou la collecte mécanique ne sont guère possibles, la collecte manuelle suivie de la multiplication dans des conditions aussi similaires que possible constitue une bonne alternative. Pour ce faire, les producteurs de semences ont besoin, dans le cas idéal, d'un délai pouvant aller jusqu'à trois périodes de végétation avant la végétalisation.

Lorsque ces possibilités ne sont pas disponibles, des semences commerciales sont utilisées. Il faut en principe renoncer aux semences contenant des composants non indigènes, des espèces provenant d'autres étages d'altitude et des formes de culture. Les semences ne peuvent être commandées que lorsque les surfaces à ensemercer sont connues. Dans le cas de procédés combinés semis-gazon, cela ne peut être évalué que lorsque l'on sait combien de plaques seront conservés. Il est alors judicieux de réserver la commande auprès du fournisseur.

#### **Densité de semis**

Les quantités indiquées par les producteurs pour des semences pures et sèches varient de 5 à 30 g/m<sup>2</sup>. Les mélanges à forte teneur en graminées nécessitent en général des quantités plus importantes, car les semences de graminées sont plus lourdes que la plupart des semences

d'herbes. Dans la pratique, on constate que 5 à 10 g/m<sup>2</sup> maximum suffisent si l'on travaille avec des mélanges équilibrés de semences d'écotypes de qualité. Il convient d'éviter les quantités de semences trop élevées, car les plantes peuvent se gêner mutuellement dans des peuplements initiaux trop denses et l'enracinement spontané souhaité des espèces locales est retardé [Schneider et al. 2017].

#### **Semences obtenues localement, séchées**

Ces semences sont récoltées et séchées de différentes manières sur des surfaces semencières appropriées (cf. le chapitre sur les méthodes de récolte de la végétalisation directe).

#### **Semences commerciales**

Les producteurs de semences utilisent différentes marques pour désigner leurs produits. Les descriptions de produits devraient contenir des informations sur les trois facteurs suivants afin de pouvoir comparer les produits : le degré de modification de la sélection, les exigences écologiques et l'origine. La mention de ces trois caractéristiques permet de décrire suffisamment bien un mélange de semences.

Les semences commerciales d'écotypes régionaux destinées aux stations d'altitude sont aujourd'hui généralement disponibles pour les régions principales, parfois aussi pour les sous-régions (Figure 22). Les plantes écotypes CH sont proposés par tous les grands producteurs de semences.

Tableau 4 : Désignation des semences en fonction de leur origine, de la modification de la sélection et des exigences écologiques.

Facteur	Désignation	Description
Changement d'élevage	Ecotype	Collecté et multiplié à partir de plantes sauvages, sans sélection génétique. Pour éviter une sélection involontaire, il faut introduire dans la multiplication, après quatre générations au plus tard, du nouveau matériel génétique provenant de sites sauvages [Kirmer et al. 2012, Krautzer et al. 2012a].
	Forme cultivée	Modifié par l'élevage dans le but de favoriser certaines caractéristiques. Souvent accompagnée du nom de la variété. Utilisée dans les cultures fourragères.
Exigences écologiques	Adaptées à la station	Les exigences écologiques des espèces correspondent aux facteurs du site.
	Inadaptées à la station	Les exigences écologiques et les facteurs de localisation ne concordent pas (par ex. mauvaise station d'altitude).
Origine	Locale	Dans les environs immédiats → distance maximale de 30 km et même vallée et région biogéographique.
	Régionale	De la même région ou sous-région biogéographique principale (cf. Figure 22).
	CH	Venant de la Suisse.
	Étrangère	Venant de l'étranger, non défini plus précisément.

## Légendes

- Jura et Randen
- Plateau / région du Haut-Rhin et du Lac Léman
- Plateau / ouest du Plateau
- Plateau / est du Plateau
- Versant nord des Alpes / Préalpes
- Versant nord des Alpes / Alpes du nord
- Alpes centrales occidentales
- Alpes centrales orientales
- Versant sud des Alpes / Alpes du sud
- Versant sud des Alpes / Sud du Tessin

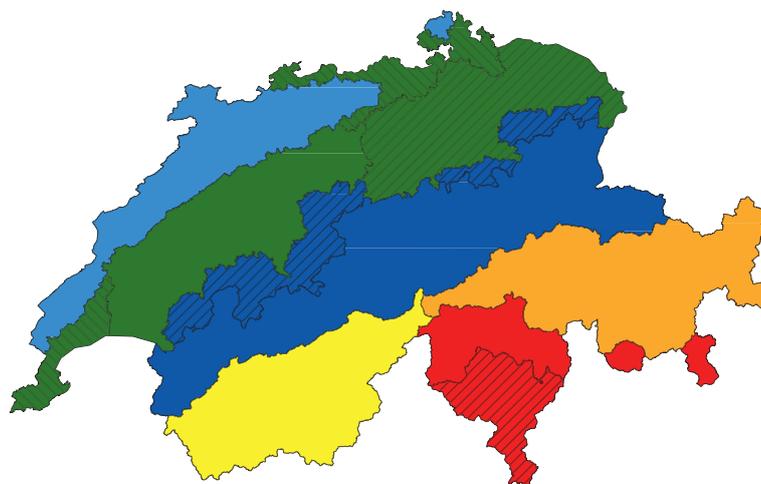


Figure 22 : Régions biogéographiques de la Suisse : régions principales [en couleur] / sous-régions [en hachuré]. Données : InfoFlora, OFEV.

### Remarque sur l'origine

Des études montrent que les différences génétiques au sein d'une espèce sont plus ou moins prononcées en fonction de la distance entre les sites. Il est donc difficile de déterminer de manière générale quelle distance géographique est encore appropriée [Durka et al. 2017]. Les régions biogéographiques [figure 22], telles qu'elles ont été définies pour la Suisse [Gonseth et al. 2001], peuvent être considérées comme un compromis entre la faisabilité d'une végétalisation et la conservation de la biodiversité [Malaval et al. 2010]. Afin de tenir compte des différences génétiques régionales, les semences venant du site approprié géographiquement le plus proche possible devraient être choisies.

### Espèces nourricières

Les espèces nourricières à germination rapide servent à fournir de l'ombre et une protection contre le vent et l'érosion aux espèces à germination tardive de la végétation cible réelle. Dans la littérature, une distinction est faite entre les espèces nourricières pérennes et les cultures de couverture annuelles, tandis qu'en pratique le terme « espèce nourricière » est souvent utilisé pour les deux. L'utilisation d'espèces nourricières peut être problématique, car rien ne garantit qu'elles ne réapparaîtront pas les années suivantes, compte tenu de leur fonction. Les espèces pérennes persistent parfois pendant des décennies et peuvent former des peuplements presque purs [Figure 23] [Isselin-Nondeeu et Bédécarrats 2009, Rydgren et al. 2016]. Il peut aussi arriver que des espèces nourricières concurrencent la végétation locale au lieu de la soutenir [Hagen et al. 2014]. Une densité trop élevée d'espèces nourricières empêche la germination d'espèces cibles plus lentes [Suter et al. 2013]. Les espèces de cultures de couverture annuelles telles que le brome de seigle [*Bromus secalinus*] ne doivent être semées que si



Figure 23 : Les espèces non-indigènes peuvent être encore dominantes plusieurs décennies après la végétalisation, entravant l'apparition de la végétation locale [photo : M. Peters].

elles sont fauchées avant la floraison ou s'il est clair que les semences ne mûriront pas à l'altitude correspondante. Le changement climatique doit être pris en compte, car le réchauffement augmente la pression concurrentielle des espèces thermophiles [Kulonen et al. 2018, Steinbauer et al. 2018].

Lors de tests réalisés à des altitudes comprises entre 2100 et 2400 m visant à améliorer et à accélérer la protection contre l'érosion, les ensemencements avec des espèces de culture annuelle de couverture ont donné de moins bons résultats que les surfaces comparables ensemencées avec du mulch. Les espèces de cultures de couverture assurent certes un bon recouvrement au début, mais après leur disparition, les surfaces présentaient un degré de recouvrement plus faible que les surfaces de comparaison avec paillage et des lacunes plus importantes [Florineth 2000, Graiss et Krautzer 2011]. Comme alternative, des plantes pionnières adaptées au site, qui poussent rapidement la première année, pourraient éventuellement prendre le relais des espèces nourricières [Kardol et al. 2006]. Mais là encore, le risque existe que les espèces cibles à germination lente soient étouffées.



Figure 24 : La fixation et la pose des plaques de gazon nécessitent une pelleteuse et du travail manuel (photo : B. Krüsi). Par la suite, l'intervention n'est pratiquement plus ou pas visible du tout (photo : K. Edelkraut).

## 6.3 Procédure de végétalisation

### Transposition directe

Avec cette méthode, la couverture végétale est dégagée par morceaux (plaques) avant le travail sur le terrain et immédiatement transposée sur la zone travaillée à un endroit proche (Figure 24). Cette méthode est applicable à condition qu'il existe au préalable une couverture végétale (fermée) et que l'organisation du site permet l'utilisation directe des plaques. Si possible, les plaques sont dégagées et mises en place avec la pelleteuse. Afin de sécuriser au mieux le précieux matériel végétal, il est conseillé de placer les plaques à la main si le terrain n'est pas adapté à la pelleteuse (par ex. entre de gros blocs).

La zone racinaire avec les organismes locaux du sol et les champignons mycorhiziens est largement préservée lors de la transposition directe. C'est le meilleur moyen de préserver des associations végétales hétérogènes. Les expériences sur la route du col du Julier montrent que même avec une installation en mosaïque des plaques, les grands espaces entre elles étaient végétalisés après 5 ans par des espèces qui correspondaient largement à la composition spécifique des plaques (Marti et al. 2016). Certains types de végétation, notamment des pelouses alpines pas ou peu influencées par l'activité humaine et exposées (pelouse à carex courbé, pelouse calcaire sèche à laïche ferme, etc.) et des gazons de crêtes ventées ne peuvent que difficilement être recultivés (Krautzer et al. 2006). Les pelouses calcaires sèches à laïche ferme poussent très lentement (Delarze et Gonseth 2008). Par conséquent, une prudence particulière est requise avec ces types de végétation. Des rochers entiers devront éventuellement être excavés et réimplantés dans les pelouses calcaires sèches. La transposition directe est généralement le seul moyen de préserver l'habitat à ces endroits.

### Repiquage des plaques

Cette méthode correspond en grande partie à la transposi-

tion directe, mais les plaques doivent être stockées temporairement. Le succès de la méthode dépend fortement de la manipulation soigneuse des plaques de gazon. Le stockage intermédiaire a lieu conformément au chapitre 5.3. Le meilleur moment pour la mise en place des plaques de gazon se situe au printemps juste après la fonte des neiges ou juste avant les premières chutes de neige (Krautzer et al. 2006). Dans des régions sèches, les plaques de gazon sont entreposées en groupes sur les surfaces à végétaliser et en trames dans des régions humides. Il est important de s'assurer que les racines ont un bon contact avec le sol. Si un temps sec est à prévoir après la mise en place des plaques, il est conseillé d'arroser la surface (Sengl et al. 2014).

### Implantation/Plantation de plants cultivés

La végétalisation est réalisée avec des plantes individuelles préalablement cultivées (Figure 25). Les semences des plantes sont issues de peuplements indigènes se trouvant dans une exposition comparable. Ce procédé est principalement utilisé dans des situations extrêmes, par exemple en haute altitude, en présence de forte pente, de sécheresse ou après la perte de la couche supérieure (Urbanska 1997, Rixen et Schmid 2016). Comme les racines pénètrent rapidement dans les couches plus profondes, l'érosion en profondeur est freinée de manière précoce. Selon l'espèce, la densité de plantation s'élève à environ 10 pièces/m<sup>2</sup> (Heuerding 2005). L'implantation nécessite une longue période de préparation et une grande quantité de travail, mais peut donner de bons résultats (Nüesch 2012, Bosshard et al. 2013).

### Procédé combiné semis-gazon

Cette combinaison consiste en la mise en place de plaques de gazon existantes (cf. ci-dessus) et d'un semis à sec ou hydraulique. Ce procédé est utilisé lorsqu'il n'y a pas assez de plaques pour obtenir une couverture végétale fermée



Figure 25 : Lorsque le recouvrement d'un sol non cultivé dans des endroits abrupts est nécessaire, la plantation coûteuse de semis avancés vaut la peine (photo : M. Schutz). Le résultat est une végétalisation réussie (photo : K. Edelkraut).

ou le degré de recouvrement visé et qu'une protection supplémentaire contre l'érosion par l'enracinement est nécessaire (Figure 26).

Sur les surfaces planes, on peut également renoncer à l'ensemencement des surfaces ouvertes (Krautzer et al. 2000), car le risque d'érosion est faible. Sur les terrains menacés par l'érosion et sur les surfaces présentant une pente de plus de 30% ou de grands espaces vides, il faut prévoir en plus l'utilisation de géotextiles, de clous en bois ou autres outils semblables afin de sécuriser les éléments de végétation et empêcher l'érosion de la couche supérieure (Krautzer et al. 2006).

### Transfert de matière fauchée (semis de foin/d'herbe sur paillage)

La matière coupée d'une surface semencière appropriée avec la végétation souhaitée adaptée au site est transférée directement sur la surface réceptrice. La matière coupée est appliquée de telle sorte que le sol soit encore bien visible (AGHB oral). Une application trop épaisse peut provoquer des processus de décomposition anaérobie ou une obstruction mutuelle des plantes en germination. A partir d'une pente de 30%, une protection contre l'érosion est à prévoir. Lorsque la végétalisation directe est effectuée avec soin, une partie de la faune d'insectes est transférée avec la matière coupée. En principe, le transfert de matière fauchée nécessite un ensemencement en été, lorsque la prairie semencière est « stade pâteux [ <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/fr/home/services/soutien/aliments-pour-animaux/conservation-des-fourrages/maturite-du-mais-d-ensilage/stade-recolte-optimal-mais-ensilage-plante-entiere.html> ] ». En station d'altitude, au-dessus de 2 300 m environ, cette méthode n'est pas adaptée en raison de la courte période de végétation.

### Ensemencement à sec

L'épandage des semences (et additifs) à l'état sec est facile à mettre en œuvre. La condition préalable d'un ensemencement à sec pur et sans paillage est une couche superficielle du sol apte à la culture (Graiss et Krautzer 2006). Dans les stations d'altitude élevées ou sur des surfaces menacées d'érosion, l'ensemencement à sec n'est recommandé qu'en combinaison avec un recouvrement de la couche superficielle du sol [mulch, filet, tapis] (Lichtenegger 1994, Krautzer et al. 2011).

Lors d'un ensemencement à sec, les additifs (produits liants) agissent immédiatement sur un sol humide, ce qui est donc une condition optimale pour la croissance (Andrey et Streit 2005). Cependant, l'assise au sol est moins bonne qu'avec les semis hydrauliques (Lichtenegger 1994). En terrain caillouteux, l'ensemencement à sec est avantageux par rapport au semi hydraulique, car les semences tombent au sol entre les pierres avant que le produit liant ne fasse effet (AGHB oral). En général, un ensemencement à sec est le premier choix là où il n'y a pas d'approvisionnement



Figure 26 : Si les mottes de gazon pour le recouvrement d'une surface ne sont pas disponibles en suffisance, on les dispose en mosaïque et on sème les espaces intermédiaires (photo : K. Edelkraut).

ment en eau pour un semi hydraulique. C'est une méthode très efficace sur de grandes surfaces facilement accessibles et pouvant être parcourues par des tracteurs et des semoirs. Une machine peut être utilisée jusqu'à une pente maximale de 45% [Schmid et Frei 2005]. Le dispositif de semis peut être réglé exactement sur la quantité souhaitée [g/m<sup>2</sup>] et l'épandage des semences est très régulier. Les semences sont pressées avec précaution dans les couches supérieures du sol avec un cylindre. Même avec un ensemencement à la volée, les semences doivent être pressées après le semis afin de resolidifier le sol et éviter son dessèchement. Pour les surfaces plus grandes et très difficiles d'accès, un ensemencement à sec avec un hélicoptère peut également être envisagé. Dans le cas d'un ensemencement à sec, le mélange de semences doit être conçu de manière à pouvoir être semé en un seul passage, à produire le moins de poussière possible et à éviter que les composants ne se séparent lors de l'épandage [Figure 28]. Il n'est pas possible de voler lorsque les conditions de vent et de visibilité sont insuffisantes. Le semoir doit pouvoir être contrôlé depuis l'hélicoptère [Andrey et Streit 2005].

### **Semis hydraulique/hydroensemencement/ensemencement par pulvérisation**

Avec cette méthode, des semences, des engrais, des additifs pour le sol et des liants sont mélangés dans un tonneau à pulvériser avec de l'eau et projetés sur les surfaces à végétaliser à l'aide d'une machine à semis hydraulique, appelée « hydroseeder » [Figure 27]. Les surfaces difficiles d'accès peuvent ainsi être ensemencées efficacement depuis un véhicule. En raison du rayon d'action, le chantier doit toutefois être accessible avec le véhicule.

Le rayon d'action est d'environ 30 m à partir du véhicule. Lorsque que le dénivelé est moindre, on peut atteindre une portée de 300 m au moyen d'un tuyau [Andrey et Streit 2005]. Sur des pentes raides, le mélange de semences et d'engrais peut aussi être déployé sur un filet antiérosion préalablement fixé et biodégradable [Krautzer et al. 2007], à condition que la taille des mailles du filet permette une bonne infiltration. Par le biais du pralinage, les semences, le sol et l'engrais s'amalgament [Lichtenegger 1994]. Le semis hydraulique est une méthode simple et efficace. Elle est fréquemment appliquée, en particulier lorsque le terrain est trop raide pour un ensemencement à sec ou qu'il y a trop peu d'humidité en raison de conditions de sol défavorables [par ex. sol vierge].

Les surfaces très escarpées et difficiles d'accès peuvent être végétalisées à partir d'un hélicoptère. La méthode nécessite de nombreux vols car la charge utile est limitée [Florineth 1995]. Pour les conditions de vol, les exigences sont les mêmes qu'avec un ensemencement à sec.



Figure 27 : Procédure de végétalisation avec semis hydraulique [photo : T. Schmid].

### **Semis de couverture**

Lors d'un semis de couverture, du matériel organique (foin ou paille) est étalé pour le recouvrement et la protection des semences apportées auparavant. Dans les situations ou des saisons extrêmes au niveau climatique, la couche de paillis offre une protection contre le froid, la chaleur et la sécheresse [Florineth 2004]. La protection mécanique de la surface du sol favorise une germination rapide et sûre [Krautzer et al. 2007]. Le paillage devrait toujours être fixé à l'aide de liants afin de les protéger de l'érosion. Le foin est plus comprimé par le produit liant et ne convient donc pas aussi bien que la paille [Krautzer et al. 2007]. De plus amples informations sur le paillage et les liants se trouvent au chapitre 6.4.

### **Nattes préensemencées**

Les nattes préensemencées se composent de fibres naturelles qui sont liées par un fin filet de fibres naturelles. Les semences sont intégrées dans les nattes. Les nattes préensemencées nécessitent un contact intégral avec le sol et leur usage se limite donc aux surfaces plates et régulières. Par conséquent, elles ne sont que partiellement adaptées à une utilisation en altitude [Krautzer et al. 2007]. Comme la décomposition est très lente en altitude, les nattes ne doivent être composées que de matériaux qui se décomposent dans le laps de temps nécessaire à la réalisation de l'objectif de végétalisation « érosion ».

## **6.4 Adjuvants**

Selon la situation, différents adjuvants sont utilisés. Comme une protection suffisante contre l'érosion par la couverture végétale est atteinte au plus tôt au cours de la deuxième période de végétation après la végétalisation, l'érosion doit être évitée d'ici là par des techniques de végétalisation adaptées et des adjuvants appropriés [Krautzer et al. 2007]. En cas de risque d'érosion par les

eaux de surface ou de pente, celles-ci sont évacuées par des rigoles transversales à faible pente (Lichtenegger 1994). Les rigoles transversales réduisent également la longueur de la pente susceptible d'être érodée (Lfl 2017). Les matières organiques pour l'amélioration du sol ont généralement plusieurs avantages, car ils améliorent la structure du sol et fournissent des éléments nutritifs. Il en va de même pour le mulch, qui sert à la fois à la protection contre l'érosion et à l'apport d'éléments nutritifs. Les produits pour l'amélioration du sol sont surtout utilisés en cas de manque de terre végétale et de remise en culture (Stalljann 2006). La liste des produits de l'Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL) indique les engrais, les produits pour l'amélioration du sol et les produits liants autorisés pour l'agriculture biologique. La liste fournit également des indications sur les produits pouvant être utilisés en altitude.

### Champignons mycorhizes

L'ajout de champignons mycorhizes arbusculaires vise à améliorer les conditions de croissance des plantes. Pour cela, des champignons du sol participant à des processus naturels sont ajoutés à la couche de semence. En général, cette technique est utilisée dans les stations élevées en combinaison avec un catalyseur organique de la germination et un engrais de départ. Par le biais de matériel porteur, les champignons peuvent être épanchés aussi bien dans des procédés hydrauliques qu'à sec (Streit 2006). Les plantes mycorhizes font état d'une tolérance marquée contre le stress et sont plus robustes en cas de sécheresse, de carences nutritives, de maladies et de valeurs pH extrêmes (Schmid et al. 2005). Le réseau de champignon finement ramifié améliore la stabilité du sol et la protection contre l'érosion, tandis que la surface d'absorption des racines des plantes s'accroît (Figure 29). Toutes les espèces de champignons ne sont pas adaptées de la même manière à la végétalisation (Graf et al. 2017).



Figure 28 : Mélange de semences pour ensemencement à sec avec adjuvants (photo : T. Schmid).

Lors de l'acquisition de champignons mycorhizes, il faut veiller à ce que les souches soient adaptées aux stations d'altitude.

### Fertilisation

#### Objectif

Une fertilisation sert à améliorer les conditions de croissance sur les sols pauvres en éléments nutritifs et peut favoriser l'établissement des jeunes plantes. Elle doit servir d'aide initiale, mais ne doit pas modifier la disponibilité générale des éléments nutritifs ni la situation de concurrence entre les plantes sur un site.

#### Limites

Les engrais entraînent un déplacement des rapports de concurrence, de sorte que les espèces à croissance rapide et haute sont favorisées. Cela favorise l'éviction des espèces à croissance lente et à petite taille. En cas de bonne alimentation en éléments nutritifs, les plantes produisent davantage de biomasse à la surface et investissent moins dans un bon système racinaire. La diminution de l'enracinement qui en résulte diminue la protection contre l'érosion. Dans les régions alpines, les conditions locales sont plutôt pauvres en nutriments. La fertilisation ne devrait donc être que ciblée et modérée, afin de ne pas modifier durablement les conditions locales, naturellement plutôt pauvres en éléments nutritifs. Des prescriptions spéciales s'appliquent à la fertilisation des alpages dans les régions d'estivage, conformément à l'art. 30 OPD. Les engrais étrangers à l'alpage ainsi que l'utilisation d'engrais minéraux, d'engrais liquides et d'engrais azotés purs nécessitent une autorisation cantonale (Schneider et al. 2017).

#### Nécessité

La nécessité d'une telle pratique dépend essentiellement de la teneur en éléments nutritifs de la couche supérieure existante, de la méthode de végétalisation et de la végéta-



Figure 29 : Racine (épais en haut) et hyphes (fins filaments fongiques du mycélium) avec les spores (rondes) du champignon mycorhizien (photo : K. Ineichen, Institut botanique de l'Université de Bâle).

tion cible. Les plaques de gazon ne doivent pas être fertilisées. Lors d'une végétalisation comprenant des fleurs de foin, des produits de la moisson, des semences issues de prairies ou des mélanges adaptés au site, une fertilisation favorise la formation de pelouse [Krautzer et al. 2013, Schneider et al. 2017], et ne devrait donc être utilisée qu'en connaissance de cause, en fonction de l'habitat cible.

### **Période**

La fertilisation a lieu au moment de l'ensemencement. Les semences commerciales sont parfois livrées avec une part d'engrais organique de départ, qui favorise suffisamment la germination et le premier établissement des jeunes plantes, mais ne modifie pas les conditions du site à moyen ou long terme. D'après le recouvrement, une fertilisation n'entre en ligne de compte qu'en relation avec une exploitation alpine [Krautzer et al. 2013]. Les pâturages pauvres en éléments nutritifs (nardaies et pelouses d'altitude à eslérie bleue) ne sont plus fertilisés après l'ensemencement [Schneider et al. 2017].

### **Produits**

Les produits organiques sont préférables aux engrais minéraux. Comme les sols bruts ont une faible capacité de stockage d'éléments nutritifs, les engrais minéraux sont rapidement lessivés. Dans les produits organiques faiblement dégradés, les éléments nutritifs sont liés et ne sont libérés que par l'activité de dégradation des micro-organismes. Comme ces derniers dépendent, comme les plantes, de la température et de l'humidité, cela se produit au bon moment. Outre le simple apport d'éléments nutritifs à la plante, ils améliorent également la structure du sol ainsi que sa capacité de rétention d'eau et favorisent la formation d'humus [Stalljann 2006]. La stabilité des agrégats ainsi améliorée réduit en outre le risque d'érosion [Kretzschmar 2017]. Dans la mesure du possible, il est préférable d'utiliser des engrais organiques tels que du fumier d'écurie bien décomposé, du fumier ou du compost (seulement du matériel inoffensif) d'origine régionale. Des engrais organiques sur la base de biomasses de bactérie et de champignon, ainsi que différentes préparations d'algues ont aussi fait leurs preuves [Stalljann 2006]. L'utilisation de lisier est à éviter [Krautzer et al. 2007].

### **Quantités**

La quantité d'engrais doit être déterminée sur la base d'une évaluation du site en fonction de la production fourragère. Sur les surfaces régulièrement exploitées par l'agriculture alpestre et avec un apport ultérieur, il est recommandé d'apporter un engrais sous forme organique (par ex. 15 t/ha de fumier décomposé) lors de l'ensemencement, ce qui correspond à une quantité d'éléments

nutritifs de 25 kg N, 60 kg P<sub>205</sub> et 90 kg K<sub>20</sub> par hectare. Les sites pâturés ou fauchés intensivement peuvent être fertilisés avec la même quantité environ 2 à 3 ans après l'ensemencement [Schneider et al. 2017].

### **Mulch / Paillage**

Le recouvrement de la couche supérieure ouverte par des matériaux de paillage permet d'éviter l'augmentation du ruissellement de surface, l'érosion du sol et l'érosion. Les matériaux utilisés sont la paille, le foin, la fibre de cellulose, la fibre de bois ou de l'herbe. Par l'application d'un mulch, l'écoulement en surface de l'eau se réduit d'environ 20 fois. Les valeurs pour l'érosion du sol peuvent être de 40 à plus de 100 fois plus faibles [Graiss et Krautzer 2006]. Le mulch améliore également le microclimat. L'humidité est conservée plus longtemps et la température lors de l'ensoleillement est réduite. Sur des pentes orientées au sud, un mulch peut abaisser la température en surface de 65 °C à moins de 40 °C [Stalljann 2006]. Le mulch doit laisser passer la lumière tout en offrant une protection. Des couches trop épaisses peuvent entraîner l'étouffement des semis. En revanche, des couches trop fines sont moins efficaces [Krautzer et al. 2007, Krautzer et Graiss 2008]. Le matériel nécessaire varie en fonction du matériau de paillage, de la combinaison avec d'autres adjuvants (géotextiles) et de la nature du sol. Les pentes raides, un fort ensoleillement, les sites exposés au vent ou aux précipitations nécessitent davantage de matériel. Les valeurs empiriques sont de 150 à 300 g/m<sup>2</sup> pour le foin, de 40 à 200 g/m<sup>2</sup> pour la paille courte, de 250 à 400 g/m<sup>2</sup> pour la paille longue et de 300 g/m<sup>2</sup> pour la fibre de bois [AGHB oral].

### **Géotextiles**

En plus d'une couche de mulch pour recouvrir la couche supérieure ouverte, des filets en fibres naturelles offrent une protection supplémentaire pour les endroits menacés par l'érosion ou les surfaces dont la pente dépasse 30% [Krautzer et al. 2007].

Les géotextiles [Heuerding 2005, Stalljann 2006]

- supportent les forces de traction ;
- freinent l'énergie d'impact de l'eau ;
- réduisent la vitesse d'écoulement de l'eau de pluie ;
- rendent la surface de sol rugueuse de manière artificielle ;
- empêchent le transport de sol par l'eau ;
- remplissent des fonctions de filtre ;
- régulent le bilan thermique et stimulent les effets de l'ombrage.

En principe, lors de l'utilisation de géotextiles, il faut tenir compte du fait qu'ils ne se dégradent que très lentement en station d'altitude. Des matières issues de fibres naturelles

entièrement biodégradables (laine de bois, paille, jute, coco, sisal, chanvre, coton etc.) doivent être utilisées, si possible sans filet de support synthétique. Leur durée de vie s'élève à au moins 4 ans selon le climat [Krautzer et al. 2007]. Des filets et des films en matière plastique ne sont pas dégradables et ne peuvent donc pas être appliqués en altitude. Au moment de la mise en place, il est primordial de vérifier que le tissu soit partout en contact avec le sol et qu'il existe suffisamment de points d'ancrage (au min. 4/m<sup>2</sup>). Afin d'empêcher un arrachement du filet, le matériel qui se détache doit pouvoir s'échapper au pied du remblai et les points d'ancrage au bord du remblai devraient être renforcés [Krautzer et al. 2007]. En combinaison avec un semis hydraulique, il s'agit de veiller à ce que les tissus soient suffisamment perméables pour que le mélange comprenant les semences atteigne la surface du sol [Stalljann 2006]. En cas de risque d'érosion accru, les nattes et les tissus plus étroits sont préférés. Toutefois, un filet trop dense peut empêcher la levée des graines et étouffer la végétation.

### Produits liants

Les produits liants améliorent la protection contre l'érosion à court terme [Stalljann 2006]. Ils sont toujours utilisés lorsqu'il existe un risque qu'un nouvel ensemencement ou que le mulch soit soufflé ou emporté par le vent ou la pluie. En station d'altitude, ils sont recommandés pour tous les ensemencements.

On utilise des produits contenant des produits liants organiques (par ex. alginates, psyllium, gomme de guar, amidon, pectine, cires). Ils sont bon marché et ne posent pas de



Figure 30 : Fixation des géotextiles avec des clous en bois. Il faut veiller à assurer un contact continu avec le sol, en particulier avec les toiles et les nattes à mailles serrées (photo : M. Schwager).

problème écologique, mais l'effet d'adhérence est moindre que celui des produits synthétiques. Ils peuvent être utilisés pour l'ensemencement à sec ou le semis hydraulique. Les produits synthétiques adhèrent mieux, mais la germination peut être compromise. Les émulsions de bitume sont problématiques pour les animaux en cas de contact, car le liant adhère au pelage [Polizzi 2017]. Il existe peu d'études

sur la toxicité du bitume, mais comme les composants sont similaires à ceux d'autres dérivés du pétrole brut, on peut supposer qu'il présente un certain risque pour l'environnement [National Academies of Sciences and Medicine 2016]. Les émulsions de bitume et autres colles synthétiques à base de matière plastique ne devraient donc pas être utilisées pour les végétalisations.

## 6.5 Déroulement temporel des travaux de végétalisation

Le déroulement temporel est soumis à des règles différentes selon la méthode de végétalisation choisie, l'altitude et le risque d'érosion. Le risque d'introduction d'espèces végétales indésirables doit également être pris en compte lors de la planification. Une décision doit être prise entre diverses considérations fondamentales : le sol ne doit pas s'éroder, ne doit pas se dessécher et ne doit offrir aucune possibilité de colonisation à des espèces végétales indésirables. D'autre part, les conditions météorologiques en station d'altitude sont généralement difficiles pour pouvoir planifier des ensemencements fiables [risque de gel et de gel des semis]. Pour les semis dormants, il ne doit pas faire trop chaud afin que la germination n'ait lieu qu'au printemps. Souvent, les moments optimaux se situent plutôt tard dans l'année. A la fin de l'été et en automne, il faut généralement toujours s'attendre à une arrivée précoce de l'hiver en station d'altitude. Lorsque le sol est gelé, les plaques ne doivent pas être déplacés [AGHB oral]. Souvent, il faut également tenir compte des périodes durant lesquelles, par exemple, les machines, les équipements et les ouvriers nécessaires sont encore sur place. Afin de réduire la perte de terre fine, il convient de végétaliser le plus rapidement possible, surtout sur les terrains en pente. Il faut toutefois tenir compte des saisons appropriées [Tableaux 5 et 6]. Dans le cas où il n'est pas possible de végétaliser immédiatement, il est recommandé de recouvrir provisoirement le sol non végétalisé d'une couche de mulch. La végétalisation devrait être entreprise le plus tôt ou le plus tard possible dans la période de végétation. En plein été, des températures élevées, des périodes de sécheresse prolongées ou de fortes pluies peuvent compromettre le développement de l'ensemencement ou la croissance des plaques. Les ensemencements pendant la période de végétation peuvent encore être effectués en juillet jusqu'à la zone montagnarde. En haute altitude, l'ensemencement devrait avoir lieu au plus tard en juin. Un ensemencement précoce permet de profiter de l'humidité hivernale et donne aux germes le temps de se développer [Krautzer et al. 2012b]. Si la végétalisation doit être réalisée en période de sécheresse, il est recommandé d'utiliser si disponible les conduites d'enneigement des pistes de ski ou d'autres sources d'eau proches pour l'irrigation [AGHB verbal]. Toutefois, l'irrigation comporte également des risques :

Tableau 5 : Moment optimal [vert foncé] et potentiel [vert clair] pour la transposition directe, la transplantation et l'implantation des mottes.

	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre
subalpin				1] 1]	1] 1]		2]	
alpin				1] 1]	1] 1]		2]	
subnival							2]	

1] Austracknungsgefahr: Bei trockener Witterung muss bewässert werden

2] Steht ein Kälteeinbruch bevor, muss schnell gehandelt und begrünt werden. Bei gefrorenem Boden dürfen Soden nicht mehr bewegt werden

Tableau 6 : Moment optimal [vert foncé] et potentiel [vert clair] pour toutes les méthodes d'ensemencement.

	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre
subalpin								
alpin								
subnival								

Une fois commencée, elle doit être poursuivie de manière conséquente durant la période de sécheresse. De plus, l'irrigation exige une gestion solide et un contrôle attentif afin d'éviter le charriage. D'une manière générale, il est préférable de procéder à un semis dormant en station d'altitude, le plus tard possible à la fin de la période de végétation, de préférence juste avant l'enneigement [Krautzer et al. 2012b]. A l'exception du transfert de la matière fauchée, toutes les méthodes peuvent être réalisées sous forme de semis dormant. Aux endroits menacés par l'érosion ou afin d'améliorer la couche de germination, on utilise les mêmes adjuvants que pour un semis normal [Krautzer et al. 2007]. La germination a lieu au printemps suivant, après la fonte des neiges. La semence qui lève profite ainsi de manière optimale de l'humidité hivernale [fonte des neiges] et peut profiter de toute la période de végétation. Le semis dormant est surtout recommandé en altitude, lorsque les semaines de végétation restantes ne permettent plus une croissance sûre des semences ou lorsqu'il existe un risque de dessèchement en été. Un recouvrement par le manteau neigeux en hiver augmente le succès de la végétalisation [Krautzer et al. 2012b]. La méthode donne de bons résultats, mais les semis effectués trop tôt ou en l'absence de manteau neigeux peuvent entraîner des pertes importantes dues aux dégâts causés par les oiseaux ou à une germination trop précoce lors des chaudes journées d'automne ou d'hiver [Krautzer et Graiss 2008, Bosshard et al. 2013]. Au printemps, il existe un certain risque de ruissellement avec l'eau de fonte [Tamegger 2017].

## 6.6 Travaux de finition

Les travaux de finition comprennent toutes les mesures de soins qui ont lieu jusqu'à la réception de l'ouvrage [Bosshard et al. 2013]. Plus tard, les soins de croissance [soins de développement] suivent à partir de la réception

de l'ouvrage jusqu'à ce que l'objectif de végétalisation soit atteint [cf. chapitre 8.1]. Si les surfaces ne sont pas utilisées à des fins agricoles à l'issue du contrôle des résultats, des soins d'entretien à plus long terme peuvent éventuellement être convenus [cf. chapitre 9].

### Responsabilité

Il est d'usage que l'entreprise mandatée pour la végétalisation se charge des travaux de finition [Bosshard et al. 2013]. Cela devrait être réglé lors de l'appel d'offres pour les travaux de végétalisation.

### Purification

Un fauchage – également appelée nettoyage ou coupe d'entretien – est recommandé, si la couverture du sol par la végétation étrangère dépasse 50% ou si une hauteur de pousse de 30 cm est atteinte [Krautzer et al. 2000].

### Clôture

Elle entoure la surface revégétalisée et la protège contre le pâturage et le piétinement [Figure 31]. Il est recommandé de la maintenir pendant au moins deux ans [cf. chapitre 9.3].



Figure 31 : Surface délimitée [photo : M. Schneider].

## 7 Réception et contrôle des résultats

Lorsqu'un ouvrage est terminé, les phases de réception et de contrôle des résultats a lieu [Figure 32]. Ils sont interdépendants dans le temps. L'achèvement de la végétalisation est contrôlé lors de la réception de l'ouvrage et, le cas échéant, des travaux. La réception environnementale des travaux a lieu lorsque l'effet peut être évalué de manière définitive. Elle peut avoir lieu en même temps que la réception de l'ouvrage ou après le contrôle des résultats [Brunner et Schmidweber 2007].

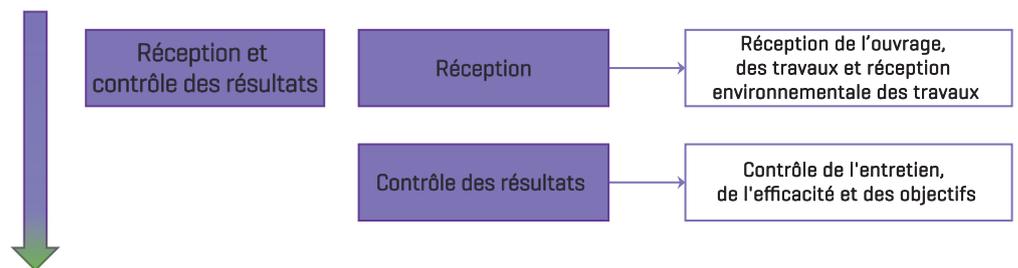


Figure 32 : Contenu de la procédure d'acceptation et du contrôle des résultats.

### 7.1 Réception

#### Réception de l'ouvrage

La réception de l'ouvrage selon la norme SIA 118 représente la remise de l'ouvrage achevé au maître d'ouvrage. La réception a lieu entre le maître d'ouvrage et l'entreprise de construction. Elle libère l'entrepreneur de sa responsabilité envers le maître d'ouvrage. Les résultats sont consignés dans le procès-verbal de réception. La réception marque le début du délai de dénonciation des défauts pour l'ouvrage [cf. chapitre 4.2] [Brunner et Schmidweber 2007].

#### Réception des travaux

Selon la norme VSS SN 640 610b, la réception des travaux a lieu entre les autorités et le maître d'ouvrage au terme de la phase de réalisation et libère le maître d'ouvrage de ses obligations envers les autorités [Brunner et Schmidweber 2007]. La réception des travaux n'a pas lieu pour tous les projets de construction, mais elle est nécessaire afin d'obtenir l'autorisation d'exploitation, par exemple pour la construction de téléphériques [Brunner et Schmidweber 2007].

#### Réception environnementale des travaux

Lorsque toutes les exigences sont remplies et que toutes les mesures sont mises en œuvre, l'autorité chargée de l'octroi de l'autorisation procède à la réception environnementale des travaux [OFEV et OFT 2013]. Celle-ci est généralement fixée par l'autorité d'autorisation 1 à 3 ans après l'achèvement des travaux. Lors de cette visite, le sui-

vi environnemental des travaux est généralement chargé d'expliquer les travaux de végétalisation et de constater le degré de réussite actuel.

Lors de cette réception, le maître d'ouvrage reçoit une évaluation officielle du succès de la végétalisation et, le cas échéant, une décharge de ses obligations envers les autorités [Brunner et Schmidweber 2007]. En fonction de l'évolution de la végétalisation, ou en cas de succès partiel ou d'échec de la végétalisation, des améliorations et une nouvelle date de réception peuvent toutefois être fixées. En haute altitude, l'évaluation des résultats après 1 à 3 ans est trop précoce en raison de la lenteur du développement de la végétation, de sorte qu'à ce moment-là, on ne peut que constater le succès de la protection contre l'érosion et établir une tendance du développement de la végétalisation. La réalisation des objectifs de végétalisation ne peut souvent être évaluée définitivement qu'après 5 à 10 ans [cf. chapitre 4.4].

La réception permet de confirmer que les exigences environnementales des travaux sont remplies de manière satisfaisante.

La végétation se développe alors dans la direction souhaitée et se trouve à un stade qui permet de conclure qu'aucune espèce indésirable n'est présente – le cas échéant en effectuant des interventions d'entretien ciblées – et que l'objectif de végétalisation est atteint [Krautzer et al. 2000].

## 7.2 Contrôle des résultats

Le contrôle des résultats est un terme générique pour le contrôle de la mise en œuvre, des effets et des objectifs. Elle examine si l'objectif formulé au préalable d'une mesure a été atteint et propose éventuellement des corrections. Lors du contrôle de la mise en œuvre, on vérifie si les mesures planifiées ont été correctement exécutées. Lors du contrôle des effets proprement dit, on constate si les mesures mises en œuvre produisent l'effet prévu ou si l'on constate éventuellement des évolutions négatives. Les mesures et les effets individuels [par ex. les rigoles transversales comme protection contre l'érosion] peuvent être considérés séparément, mais doivent en fin de compte contribuer à l'objectif général d'une végétalisation réussie. Un éventuel contrôle des objectifs sert à vérifier si les objectifs initialement définis étaient également appropriés dans les conditions actuelles. Il n'a pas lieu dans le cadre du SER [Maurer et Marti 1999, Brunner et Schmidweber 2007], mais fait l'objet d'un examen de la stratégie par les autorités et permet d'optimiser les conditions pour les procédures d'autorisation ultérieures.

La condition préalable au contrôle des résultats est la définition préalable d'objectifs quantifiés et contrôlables. C'est à cela que servent l'approche du site et la définition des objectifs de végétalisation.

### Responsabilité

Le contrôle de la mise en œuvre et des effets doit être conduit par le SER ou par un comité en charge de la végétalisation. Le contrôle des objectifs, c'est-à-dire de l'adéquation des objectifs, est effectué séparément par un spécialiste des autorités [Brunner et Schmidweber 2007].

### Moment du contrôle des résultats

L'évaluation des résultats s'achève provisoirement avec le contrôle de la mise en œuvre et des effets, ainsi que de la réception environnementale des travaux par les autorités. Le maître d'œuvre doit déjà avoir planifié le moment de l'évaluation des résultats dès l'autorisation du projet [Brunner et Schmidweber 2007].

Le contrôle de la mise en œuvre est effectué régulièrement pendant les différentes étapes de la mise en œuvre, et/ou dans le cadre de la réception des travaux. Le contrôle des effets a lieu parallèlement au contrôle de la mise en œuvre et/ou à la fin des travaux [Brunner und Schmidweber 2007].

Le contrôle des résultats peut seulement être achevé si la végétalisation fait preuve d'un niveau de développement pouvant garantir la réalisation de tous les objectifs de végétalisation. Le délai est fixé avec l'objectif de végétalisation et se situe en général entre 2 ans pour les premiers objectifs intermédiaires et 10 ans pour un contrôle final des résultats sur une pelouse extensive.

### Non-accomplissement des objectifs

Le contrôle des résultats permet également de constater si les objectifs formulés n'ont pas été atteints. En même temps, il offre la possibilité de formuler des mesures pour améliorer la situation et atteindre les objectifs de végétalisation [Brunner et Schmidweber 2007]. Les normes SIA 118 et 318 contiennent des indications supplémentaires [SIA 2009, 2013]. Le cas échéant, si les objectifs ne sont pas atteints, l'autorité prescrit des mesures de remplacement correspondantes.

## 8 Soins de croissance/ Travaux de clôture

Après la réception de l'ouvrage, les surfaces végétalisées doivent être accompagnées jusqu'à ce que l'objectif de végétalisation soit atteint [Figure 33]. Si des lacunes sont constatées lors du contrôle des effets, des réensemencements sont nécessaires en plus de l'entretien. L'utilisation doit être adaptée à la station et à l'objectif de végétalisation. Afin de garantir le financement de ces travaux et l'instauration de relations transparentes, les soins d'entretien, le contrôle des résultats et les réutilisations du site doivent déjà être planifiés et les responsabilités être définies durant la phase d'étude du projet.

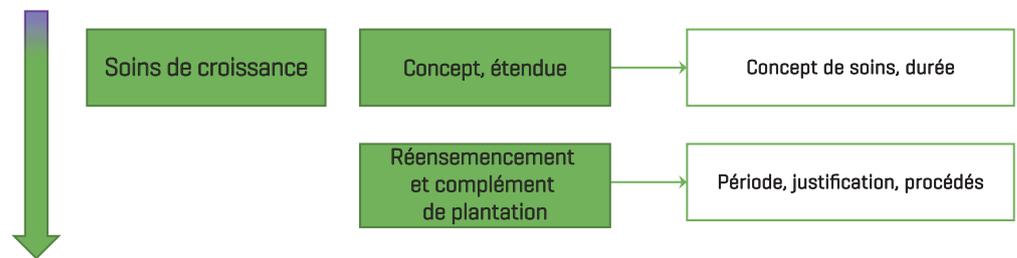


Figure 33 : Contenu de la procédure pour les soins de développement.

### 8.1 Soins de croissance

#### Concept

La responsabilité, le type et la période pour les soins de croissance et d'entretien doivent être fixés dès la phase de planification, par exemple dans un concept de soin ou d'entretien.

#### Etendue

Une végétalisation adaptée à la station exige en général peu d'entretien [Krautzer et al. 2012b]. L'ampleur des soins est déterminée en fonction de l'état du développement des plantes, de l'apparition de végétation étrangère ainsi des conditions du site. Au début, les surfaces devraient être contrôlées chaque année au printemps pour détecter les dégâts d'érosion et l'apparition d'espèces indésirables, jusqu'à ce que la végétation offre une protection suffisante contre l'érosion [AGHB oral]. Pour endiguer le développement excessif des graminées sur les surfaces intensives, il peut être utile de pratiquer une coupe de soin. Celle-ci est effectuée tôt dans la période de végétation, lorsque les herbes ont atteint une certaine hauteur [max 15–20 cm].

#### Durée

Les soins de croissance sont généralement échelonnés en différentes étapes de travail et dure jusqu'à ce que l'objectif soit atteint [Bosshard et al. 2013].

## 8.2 Réensemencement et complément de plantation

### Période

Un réensemencement a lieu au plus tôt après une période de végétation. En raison de la dormance, la levée des semences peut nécessiter une période de gel, une certaine longueur de jour ou de la chaleur [Schwienbacher et al. 2011]. Il faut en tenir compte lors de la décision. Les mêmes indications saisonnières que pour les semis normaux s'appliquent aux réensemencements (Tableaux 5 et 6).

### Justifications pour un réensemencement :

- Degré de recouvrement de 50% inférieur à l'objectif de végétalisation [Krautzer et Klug 2009] ;
- Enracinement insuffisant du sol ;
- Réalisation de l'objectif de végétalisation peu probable [Krautzer et al. 2000] ;
- Apparitions d'érosion, dommages causés par des piétinements, glissements, dommages causés par la sécheresse.

### Procédés

En présence d'un réensemencement couvrant une petite surface, le sol sera grené et ensuite ensemencé à la main [Krautzer et al. 2007]. En alternative, des plants supplémentaires seront mis en terre [Krautzer et al. 2000]. En présence d'une grande surface déficiente, un deuxième reverdissement doit éventuellement être mis en œuvre.

### Responsabilité

La responsabilité doit être définie lors de la planification.

### Autres mesures

Selon la cause, les mesures suivantes peuvent favoriser le succès d'un réensemencement :

- Choisir des semences mieux adaptées [Bosshard et al. 2013] ;
- Amélioration et ameublement locaux du sol ;
- Réparation des dommages par des mesures de construction.



**Saatgut** – individuelle Mischungen mit MykoFix  
Mit Sicherheit hoch hinaus

**OHS** Otto  
Hauenstein  
Samen

[www.hauenstein.ch](http://www.hauenstein.ch) | [info@hauenstein.ch](mailto:info@hauenstein.ch) | 044 879 17 19



## 9 Réutilisation du site, entretien

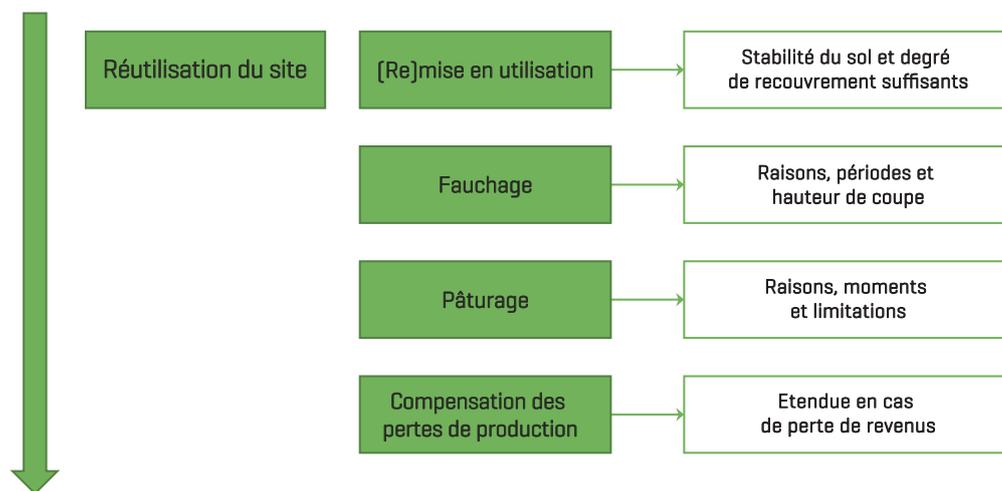


Figure 34 : Contenu de la procédure pour une utilisation ultérieure.

Les soins de croissance se terminent à la fin du contrôle des résultats. Viennent ensuite la réutilisation du site ou les soins d'entretien [Figure 34].

### 9.1 Critères pour [re]mise en utilisation

Lorsqu'une stabilité du sol suffisante et un degré de recouvrement répondent aux exigences de l'utilisation planifiée, l'exploitation du site peut être reprise pour une réutilisation à long terme [Krautzer et al. 2000]. Si la surface n'est pas utilisée par l'agriculture, des soins d'entretien sont éventuellement judicieux pour les zones de grande valeur écologique.

### 9.2 Fauchage

#### Raisons pour un fauchage

La coupe d'une prairie de fauche est utilisée à des fins agricoles. En dehors de cela, une fauche peut être souhaitable pour différentes raisons :

- Pour empêcher l'enrichissement, l'embroussaillage et le reboisement [Bosshard et al. 2013] ;
- Si une végétation trop dense entraîne un manque d'air et de lumière [Lichtenegger 1994] ;
- Si l'on veut favoriser des espèces de faible hauteur ainsi que des graminées [Lichtenegger 1994] ;
- Lors d'une utilisation ultérieure du pâturage, pour stimuler la croissance des racines [AGHB oral].

#### Période de fauchage

La fréquence et la période de fauchage sont à évaluer selon le type d'espèces existant et les conditions locales du site [Lichtenegger 1994]. Pour cela, il s'agit de tenir compte d'une période de coupe adaptée à l'emplacement en altitude et conforme aux recommandations de l'OPD

[3]. Si la fauche ne sert qu'à empêcher l'embroussaillage, une coupe tous les 1 à 3 ans suffit [Dux et al. 2009].

### Hauteur de coupe

La hauteur de coupe varie entre 6 et 10 [12] cm [Bosshard et al. 2013]. Une fauche basse ne favorise qu'un petit nombre d'espèces (le plus souvent des graminées), les herbacées de prairie en particulier sont plutôt sensibles à une coupe basse. La biomasse restante lors d'une coupe plus haute a un effet positif sur le microclimat.

#### Evacuation de la matière fauchée

Dans le cas d'une végétalisation récente avec encore relativement peu de matière coupée, celle-ci est généralement laissée sur place afin d'enrichir la matière organique du sol. Cela vaut en principe aussi pour les sols où la part organique est fortement réduite en raison d'activités de construction. Si un enrichissement en éléments nutritifs n'est pas souhaité (par ex. sur des prairies semi-sèches, des prairies sèches ou des sites humides), la matière coupée devrait être évacuée [Bosshard et al. 2013]. Cela vaut également lorsque la fauche est effectuée en raison du risque de manque d'air et de lumière [Lichtenegger 1994].

## 9.3 Pâturage

### Raisons pour un pâturage

Souvent, sur les surfaces en station d'altitude riches en structures, seul le pâturage entre en ligne de compte comme forme d'utilisation. En raison du piétinement du bétail, le pâturage crée encore d'autres petites structures, telles que des zones dénudées, des treillis ou des fétuques [Dux et al. 2009].

### Moment et type de pâturage

Le pâturage est recommandé au plus tôt après deux ans et si les plaies sont intégralement recouvertes [Lichtenegger 1994]. Comme les plantes et les jeunes semis ne présentent pas encore de couche herbeuse résistante au piétinement, les premiers passages au pâturage doivent être effectués avec ménagement, pour une durée limitée d'une à deux semaines et uniquement lorsque le sol est sec [Krautzer et al. 2000, Schneider et al. 2017]. Avec le temps, le pâturage consolide la couche herbeuse et la couche supérieure du sol [AGHB oral]. Pour éviter des dommages importants dus au piétinement, il convient de choisir des races d'animaux aussi légères que possible et d'adapter la charge en bétail aux conditions [Pauler et al. 2019]. Afin d'éviter un pâturage excessif de certains sites, par



Figure 35 : Le pâturage dans les endroits humides entraîne des dégâts dus au piétinement (photo : M. Peters).

exemple les surfaces proches des étables ou les surfaces humides (Figure 35), il est recommandé d'établir une planification de l'exploitation [Bollmann et al. 2014]. Dans les emplacements à pente raide, riches et humides, seul le bétail léger devrait paître, de préférence dans des conditions sèches [Lichtenegger 1994]. Il convient de privilégier le jeune bétail ou les moutons/chèvres [Krautzer et al. 2000]. Les directives de l'OPD s'appliquent aux surfaces agricoles utiles.

## 9.4 Compensation des pertes de production

Les taux de compensation pour les surfaces de culture fourragère dépendent de la station d'altitude [inférieure/supérieure à 1400 m] et de l'intensité d'utilisation [extensive, peu intensive, intensive]. Le calcul des indemnités en cas de perte de rendement à court terme s'effectue avec l'aide d'experts conformément au « Guide pour l'estimation de dommages causés aux cultures » de l'Union suisse des paysans [USP]. En cas de perte de rendement sur plusieurs années, la « Directives concernant l'évaluation de la perte de revenu pour les terres cultivables mises à contribution pendant plusieurs années » de l'USP est déterminante. Les directives sont publiées chaque année.

## 10 Perspectives

---

Douze ans après la parution de la première édition des Directives sur la végétalisation en altitude, les derniers résultats de la recherche, mais aussi les expériences des membres de l'AGHB, ont été intégrés dans cette deuxième édition.

Beaucoup de choses ont été réalisées depuis, mais il reste encore des possibilités d'améliorer la qualité des végétalisations.

Au niveau des semences, les efforts des producteurs ont permis de mettre à disposition des semences d'écotypes suisses et, dans de nombreux cas, des semences d'écotypes régionaux pour les grandes régions. Il est important pour les planificateurs et les entreprises de végétalisation d'obtenir à temps des semences de haute qualité dans les quantités souhaitées. Des efforts supplémentaires peuvent contribuer à faire en sorte que les semences puissent également être commandées à court terme pour les sous-régions à l'avenir. Au niveau de la composition des espèces dans les mélanges, d'autres espèces ont été ajoutées au bouturage sur la base de relevés de végétation, afin de pouvoir semer de manière aussi similaire que possible aux types de végétation existants. Cependant, toutes les espèces ne se reproduisent pas avec la même facilité, de sorte que des recherches sont encore nécessaires dans ce domaine.

Même lors d'un ensemencement avec des écotypes locaux ou lors d'une végétalisation directe, des différences entre une surface ensemencée et la végétation environnante restent visibles très longtemps en raison de la croissance lente des plantes alpines, en particulier au-dessus de la limite des arbres, et de la structure perturbée du sol. Cet inconvénient disparaît en partie avec le déplacement de plantes pré-cultivées et de terre végétale enracinée. Le repiquage des plaques respectivement la transposition directe est donc la mesure la plus prometteuse dans la végétalisation en altitude. Cependant, il n'est pas toujours possible de garantir une quantité suffisante de plaques sur un site. Actuellement, des efforts sont déployés pour produire des plaques avec la végétation cible souhaitée (herbes et graminées adaptées à la station dans la composition souhaitée). Outre les efforts actuels des chercheurs, des producteurs de semences et des praticiens, il existe également des idées qui n'en sont encore qu'à leurs débuts. Par exemple, l'utilisation de drones performants au lieu d'hélicoptères permettrait de réaliser des économies de coûts et d'énergie. De nouveaux défis se posent en raison du réchauffement climatique, qui se répercute sur les facteurs d'implantation en station d'altitudes et donc sur la végétation. En plus de l'augmentation des températures, des hivers plus pluvieux et des étés plus secs en Europe centrale posent de nouveaux défis aux végétalisations [Bloemer 2008]. Des adaptations aux nouvelles situations seront nécessaires et seront intégrées dans les futures éditions des directives.

# 11 Bibliographie

---

- Agridea. 2015. Direktbegrünung artenreicher Wiesen in der Landwirtschaft – Leitfaden für die Praxis zum Einsatz von regionalem Saatgut in Biodiversitätsförderflächen.
- Ammann, M. 2017. Ingenieurbiologische Verbaumethoden von Hängen – Praxisbeispiele. *Ingenieurbiologie* 3/2017: 25-30.
- Andrey, C., und M. Streit. 2005. Ansaat von schwer zugänglichen Flächen mittels Helikoptersaat – am Beispiel des Schutzdammes l’Arlé in Mottec [VS]. *Ingenieurbiologie* 1/2005: 9-11. Verein für Ingenieurbiologie.
- ANU. 2018. Richtlinie zur Bemessung der Ersatzpflicht und zur Bewertung von Ersatzmassnahmen bei Eingriffen in schutzwürdige Biotope oder in geschützte Landschaften. ANU-404-12d. Amt für Natur und Umwelt Graubünden ANU.
- BAFU. 2017. Aktionsplan Strategie Biodiversität Schweiz. Aktionsplan des Bundesrates. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.
- BAFU, und BAV. 2013. Umwelt und Raumplanung bei Seilbahnvorhaben. Vollzugshilfe für Entscheidungsbehörden und Fachstellen, Seilbahnunternehmungen und Umweltfachleute. Umwelt-Vollzug Nr. 1322. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bundesamt für Verkehr, BAV, Bern.
- Baruck, J., O. Nestroy, G. Sartori, D. Baize, R. Traidl, B. Vrščaj, E. Bräm, F. E. Gruber, K. Heinrich, und C. Geitner. 2016. Soil classification and mapping in the Alps: The current state and future challenges. *Geoderma* 264: 312-331.
- Bellini, E. 2015. Boden und Bauen. Stand der Technik und Praktiken. Umwelt-Wissen Nr. 1508. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.
- Bloemer, S. 2008. Ingenieurbiologie und Klimawandel – worauf sich Planer und Unternehmen einstellen müssen. *Neue Landschaft* 8: 46-53. Patzer Verlag, Berlin und Hannover.
- Blume, H.-P., G. W. Brümmer, R. Horn, E. Kandeler, I. Kögel-Knabner, R. Kretschmar, K. Stahr, und B.-M. Wilke. 2010. Scheffer / Schachtschnabel: Lehrbuch der Bodenkunde. Spektrum Akademischer Verlag, Berlin Heidelberg.
- Bollmann, R., M. Schneider, und C. Flury. 2014. Minimalnutzungsverfahren zur Offenhaltung der Kulturlandschaft. *Agroscope Science* Nr. 7. Agroscope, Zürich-Reckenholz.
- Bosshard, A. 2016. Autochthones Saatgut für Hochlagenbegrünungen: Herausforderungen und aktuelle technische Entwicklungen. *Ingenieurbiologie* 3/2016: 41-43.
- Bosshard, A., P. Mayer, und A. Mosimann. 2013. Leitfaden für naturgemässe Begrünungen in der Schweiz. Ö+L Ökologie und Landschaft GmbH, Oberwil-Lieli.

- Braun-Blanquet, J. 1964. Pflanzensoziologie; Grundzüge der Vegetationskunde. Springer Verlag, Wien.
- Brunner, J., F. Jäggi, J. Nievergelt, und K. Peyer. 1997. Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. Schriftenreihe der FAL. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz.
- Brunner, W., und A. Schmidweber. 2007. Umweltbaubegleitung mit integrierter Erfolgskontrolle. Einbindung in den Bau und Betrieb eines Vorhabens. Umweltwissen Nr. 0736. BAFU Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Bühler, C., K. Wunderle, S. Birrer, R. Meier, M. Achermann, H. Zeh, und L. von Fellenberg. 2015. Bewertung von Eingriffen in schützenswerte Biotope, Bilanzierung von Ersatzmassnahmen. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.
- D'Amico, M. 2015. Soil genesis in recently deglaciated areas. in Understanding mountain soils: A contribution from mountain areas to the International Year of Soils 2015. R. Rosalaura, V. Alessia, et al., Hrsg. FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rom.
- Delarze, R., und Y. Gonseth. 2008. Lebensräume der Schweiz. 2. Auflage. Ott Verlag, Bern.
- Dierssen, K. 1990. Einführung in die Pflanzensoziologie. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- Durka, W., S. G. Michalski, K. W. Berendzen, O. Bossdorf, A. Bucharova, J. M. Hermann, N. Hölzel, J. Kollmann, und S. Wan. 2017. Genetic differentiation within multiple common grassland plants supports seed transfer zones for ecological restoration. *Journal of Applied Ecology* 54: 116-126.
- Dux, D., K. Matz, C. Gazzarin, und M. Lips. 2009. Was kostet offenes Grünland im Berggebiet. *AGRAR Forschung* 16: 10-15.
- Eberhardt, H. 1999. Die alpinen Höhenstufen. URL: <http://www.geographie.uni-stuttgart.de/exkursionsseiten/graubuenden/vegetation.htm> Abgerufen am: 11.04.2018. Universität Stuttgart, Institut für Geographie, Stuttgart.
- Ellenberg, H., und C. Leuschner. 2010. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Fernández-Pascual, E., B. Jiménez-Alfaro, Á. Bueno, und R. Bekker. 2017. Comparative seed germination traits in alpine and subalpine grasslands: higher elevations are associated with warmer germination temperatures. *Plant Biology* 19: 32-40.
- FiBL. 2018. Betriebs- und Futtermittel für den biologischen Landbau in der Schweiz. URL: <http://www.betriebsmittelliste.ch/de/hifu.html> Abgerufen am: 18.04.2018.
- Fleischhacker, V., H. Formayer, T. Gerersdorfer, und A. Prutsch. 2012. Klimawandel und Tourismus in Österreich 2030. Auswirkungen, Chancen & Risiken, Optionen & Strategien. Studien-Kurzfassung. Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (BMWF), Sektion Tourismus und Historische Objekte, Tourismus-Service-stelle, Wien.
- Florineth, F. 1995. Erosion control above the timberline in South Tyrol, Italy. Seiten 85-94 in *Vegetation and slopes: stabilisation, protection and ecology. Proceedings of the international conference held at the University Museum, Oxford, 29-30 September 1994.* Institution of Civil Engineers
- Florineth, F. 2000. Neue Ansaatmethoden zur Begrünung von Erosionszonen über der Waldgrenze. Seiten 17-28 in *Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2000 - Villach.*
- Florineth, F. 2004. Pflanzen statt Beton – Handbuch zur Ingenieurbio-logie und Vegetationstechnik. Patzer Verlag, Berlin-Hannover.
- Florineth, F. 2014. Langjährige Hangsicherung durch bepflanzte Holzkrainerwände in Südtirol. *Ingenieurbio-logie* 3/2014: 4-9.
- Forbis, T. A., und D. F. Doak. 2004. Seedling establishment and life history trade-offs in alpine plants. *American Journal of Botany* 91: 1147-1153.
- Gobiet, A., S. Kotlarski, M. Beniston, G. Heinrich, J. Rajczak, und M. Stoffel. 2014. 21st century climate change in the European Alps—A review. *Science of The Total Environment* 493: 1138-1151.
- Gonseth, Y., T. Wohlgemuth, B. Sansonnens, und A. Buttler. 2001. Die biogeographischen Regionen der Schweiz – Erläuterungen und Einteilungsstandard. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Graf, F. 1998. Anforderungen an den Boden bei Renaturierungen oberhalb der Waldgrenze. *Ingenieurbio-logie* 4/1998: 12-17. Verein für Ingenieurbio-logie.
- Graf, F., P. Bebi, U. Braschler, G. De Cesare, M. Frei, P. Gre-minger, K. Grunder, N. Hählen, C. Rickli, C. Rixen, A. Sandri, S. M. Springman, J.-J. Thormann, N. von Albertini, und A. Yildiz. 2017. Pflanzenwirkungen zum Schutz vor flachgrün-digen Rutschungen. Seite 42 S. WSL Berichte WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF, Davos.
- Graiss, W., und B. Krautzer. 2006. Methoden zur Etablierung von Saaten bei der Hochlagenbegrünung. Seiten 75-80 in *Tagung 5-9. September HBFLA Raumberg-Gumpenstein, Ingenieurbio-logie: Begrünung mit artgerechtem Saat- und Pflanzgut, Irdning.*

- Graiss, W., und B. Krautzer. 2011. Soil Erosion and Surface Runoff on Slopes in Mountain Environment Depending on Application Technique and Seed Mixture - A Case Study. Seiten 193-212 in *Soil Erosion*. D. Godone, InTech, Rjeka.
- Hagen, D., T.-I. Hansen, B. J. Graae, und K. Rydgren. 2014. To seed or not to seed in alpine restoration: introduced grass species outcompete rather than facilitate native species. *Ecological Engineering* 64: 255-261.
- Hess, H. E., E. Landolt, und R. Hirzel. 1977. *Flora der Schweiz und angrenzender Gebiete*. Birkhäuser Verlag, Basel.
- Hess, H. E., E. Landolt, R. Müller-Hirzel, und M. Baltisberger. 2015. *Bestimmungsschlüssel zur Flora der Schweiz und angrenzender Gebiete*. 7. Auflage. Springer Verlag, Basel.
- Heuerding, E. 2005. Alpine Begrünungen bei der Grande Dixence. *Ingenieurbiologie* 1/2005: 12-16.
- Hintermaier-Erhard, G., und W. Zech. 1997. *Wörterbuch der Bodenkunde*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Hürlimann, R. 2007. Werkabnahme gemäss SIA-Norm 118 und die Mängelhaftung. in *Schweizerische Baurechtstagung 2007*, Freiburg.
- InfoFlora. Das nationale Daten- und Informationszentrum der Schweizer Flora. URL: [www.infoflora.ch](http://www.infoflora.ch) Abgerufen am: 10.05.2018.
- Isselin-Nondedeu, F., und A. Bédécarrats. 2009. Assessing the dominance of *Phleum pratense* cv. climax, a species commonly used for ski trail restoration. *Applied Vegetation Science* 12: 155-165.
- Kägi, B., A. Stalder, und M. Thommen. 2002. *Wiederherstellung und Ersatz im Natur- und Landschaftsschutz*. Leitfaden Umwelt Nr. 11. Bundesamt für Umwelt BAFU.
- Kardol, P., T. M. Bezemer, und W. H. v. d. Putten. 2006. Temporal variation in plant-soil feedback controls succession. *Ecology Letters* 9: 1080-1088.
- Kirmer, A., B. Krautzer, M. Scott, und S. Tischew. 2012. *Praxishandbuch zur Samengewinnung und Renaturierung von artenreichem Grünland*. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning.
- Kirmer, A., und S. Tischew. 2006. *Handbuch naturnahe Begrünung von Rohböden*. B. G. Teubner Verlag, Wiesbaden.
- Körner, C. 2003. *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. Springer Verlag, Berlin.
- Körner, C. 2014. Grundlagen der Pflanzenökologie. Seiten 742-757 in *Strasburger Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften*. Springer Spektrum.
- Körner, C., M. Neumayer, S. P. Menendez-Riedl, und A. Smeets-Scheel. 1989. Functional Morphology of Mountain Plants. *Flora* 182: 353-383.
- Krautzer, B., und W. Graiss. 2008. Die perfekte Schlagsaat. *Kärntner Saatbau Aktuell*: 14-15, Klagenfurt.
- Krautzer, B., und W. Graiss. 2015. Wissenschaftliche Grundlagen für die Entwicklung technischer Richtlinien. Seiten 37-47 in *Tagung - Begrünung mit Wildpflanzensaatgut*, 17. - 18. Juni 2015. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning.
- Krautzer, B., W. Graiss, und A. Blaschka. 2007. Standortgerechte Hochlagenbegrünung in Österreich. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning.
- Krautzer, B., W. Graiss, und A. Blaschka. 2012a. Prüfrichtlinie für die Zertifizierung und den Vertrieb von regionalen Wildgräsern und Wildkräutern nach «Gumpensteiner Herkunftszertifikat» [G-Zert]. Irdning.
- Krautzer, B., W. Graiss, und B. Klug. 2013. Ecological Restoration of Ski-Runs. Seiten 184-209 in *The Impacts of Skiing and Related Winter Recreational Activities on Mountain Environments*. C. Rixen and A. Rolando, Hrsg. Bentham Science.
- Krautzer, B., W. Graiss, G. Peratoner, C. Partl, S. Venerus, und B. Klug. 2011. The influence of recultivation technique and seed mixture on erosion stability after restoration in mountain environment. *Natural Hazards* 56: 547-557.
- Krautzer, B., und B. Klug. 2009. Renaturierung von subalpinen und alpinen Ökosystemen. Seiten 209-234 in *Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa*. S. Zerbe and G. Wiegand, Hrsg. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Krautzer, B., C. Partl, und W. Graiss. 2012b. Hochlagenbegrünung in Österreich: Stand des Wissens und aktuelle Herausforderungen. *Ingenieurbiologie* 3/2012: 34-39.
- Krautzer, B., C. Uhlig, und H. Wittmann. 2012c. Restoration of Arctic-Alpine Ecosystems. in *Restoration Ecology: The New Frontier*, Second Edition. J. van Andel and J. Aronson, Hrsg. Wiley-Blackwell.
- Krautzer, B., H. Wittmann, und F. Florineth. 2000. Richtlinie für standortgerechte Begrünungen. Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau (ÖAG), Irdning.
- Krautzer, B., H. Wittmann, G. Peratoner, W. Graiss, C. Partl, G. Parente, S. Venerus, C. Rixen, und M. Streit. 2006. Standortgerechte Hochlagenbegrünung im Alpenraum. Der aktuelle Stand der Technik. in *Site-specific high zone restoration in the alpine region. The current technological development*. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning.

- Kreeb, K.-H. 1994. Vegetationskunde, Methoden und Vegetationsformen unter Berücksichtigung ökosystematischer Aspekte. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Kretzschmar, R. 2017. Pedosphäre. ETH Eskript, Zürich.
- Krüsi, B. O. 2014. Hochlagenbegrünung. *Anthos* 2: 45-47.
- Kulonen, A., R. A. Imboden, C. Rixen, S. B. Maier, S. Wipf, und J. Diez. 2018. Enough space in a warmer world? Microhabitat diversity and small-scale distribution of alpine plants on mountain summits. *Diversity and Distributions* 24: 252-261.
- Laiolo, P., und J. R. Obeso. 2017. Life-History Responses to the Altitudinal Gradient. Seiten 253-283 in *High Mountain Conservation in a Changing World*. J. Catalan, J. M. Ninot, et al., Hrsg. Springer International Publishing, Cham.
- Latzin, S. 2004. Standortsfaktoren, Struktur und innere Dynamik kalkalpiner Rasen auf dem Dachsteinplateau [Steiermark, Österreich]. *Stapfia* 83. Biology Centre of the Upper Austrian Museums, Linz.
- LfL. 2017. Bodenerosion – Wie stark ist die Bodenerosion auf meinen Feldern? Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan.
- Lichtenegger, E. 1994. Hochlagenbegrünung: unter besonderer Berücksichtigung der Bepflanzung und Pflege von Schipisten. Pflanzensoziologisches Institut, Klagenfurt.
- LUBW. 2009. Arten, Biotope, Landschaft – Schlüssel zum Erfassen, Beschreiben, Bewerten. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.
- Malaval, S., B. Lauga, C. Regnault-Roger, und G. Largier. 2010. Combined definition of seed transfer guidelines for ecological restoration in the French Pyrenees. *Applied Vegetation Science* 13: 113-124.
- Marion, J. L., und J. Wimpey. 2007. Environmental impacts of mountain biking: science review and best practices. Seiten 94-111 in *Managing Mountain Biking, IMBA's Guide to Providing Great Riding*. International Mountain Biking Association, Boulder, Colorado.
- Marti, N., N. von Albertini, und B. O. Krüsi. 2016. Direkt umgelagerte Vegetationsziegel: Durchwurzelung und Vegetationslücken nach 5 Jahren. *Ingenieurbiologie* 3/2016: 4-12.
- Martin, C., M. Pohl, C. Alewell, C. Körner, und C. Rixen. 2010. Interrill erosion at disturbed alpine sites: Effects of plant functional diversity and vegetation cover. *Basic and Applied Ecology* 11: 619-626.
- Maurer, R., und F. Marti. 1999. Begriffsbildung zur Erfolgskontrolle im Natur- und Landschaftsschutz. Empfehlungen. Bundesamt für Umwelt BAFU.
- Mertz, P. 2008. Alpenpflanzen in ihren Lebensräumen. Haupt Verlag, Bern.
- Meusburger, K., und C. Alewell. 2014. Soil Erosion in the Alps. Experience gained from case studies [2006-2013]. *Umweltstudien* Nr. 1408. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.
- Molder, F. 2006. Verwendung von Grünlandböden. Seiten 81-84 in *Tagung 5-9. September HBFLA Raumberg-Gumpenstein, Ingenieurbiologie: Begrünung mit artgerechtem Saat- und Pflanzgut, Irdning*.
- National Academies of Sciences, E., und Medicine. 2016. Spills of Diluted Bitumen from Pipelines: A Comparative Study of Environmental Fate, Effects, and Response. The National Academies Press, Washington, DC.
- Nentwig, W. 2011. Unheimliche Eroberer: Invasive Pflanzen und Tiere in Europa. Haupt Verlag, Bern.
- Nestroy, O., G. Aust, W. E. H. Blum, M. Englisch, H. Hager, E. Herzberger, W. Kilian, P. Nelhiebel, G. Ortner, E. Pecina, A. Pehamberger, W. Schneider, und J. Wagner. 2011. Systematische Gliederung der Böden Österreichs Österreichische Bodensystematik 2000 in der revidierten Fassung von 2011. Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft, Wien.
- Newesely, C., A. Cernusca, und M. Bodner. 1994. Entstehung und Auswirkung von Sauerstoffmangel im Bereich unterschiedlich präparierter Schipisten. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 23: 277-282.
- Nievergelt, J., M. Petrasek, und P. Weisskopf. 2002. Bodengefüge – Ansprechen und Beurteilen mit visuellen Mitteln. Schriftenreihe FAL. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz.
- Nüesch, K. 2012. Am untrüglichen ist die Natur. *g'plus* 21: 26-28. Jardins Suisse.
- Pauler, C. M., J. Isselstein, T. Braunbeck, und M. K. Schneider. 2019. Influence of Highland and production-oriented cattle breeds on pasture vegetation: a pairwise assessment across broad environmental gradients. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 284: 106585, 1-11.
- Polizzi, M. A. 2017. Performance of Alternative Straw Mulch Binding Agents. Master Thesis. NC State University.
- Raper, R. L. 2005. Agricultural traffic impacts on soil. *Journal of Terramechanics* 42: 259-280.
- RegioFlora. Der richtige Erntezeitpunkt. URL: <https://www.regioflora.ch/de/richtige-erntezeitpunkt.html> Abgerufen am: 11.04.2018.

- Rieger, E. 2006. Die Ausschreibungspraxis für Wildsaatgut in Deutschland. in Tagung 5.-9. Sept. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Ingenieurbiologie: Begrünung mit standortgerechtem Saat- und Pflanzgut, Irdning.
- Rixen, C., und T. Schmid. 2016. Begrünung in hohen Lagen. *dergartenbau* 25: 2-3.
- Rydgren, K., I. Auestad, L. N. Hamre, D. Hagen, L. Rosef, und G. Skjerdal. 2016. Long-term persistence of seeded grass species: an unwanted side effect of ecological restoration. *Environmental Science and Pollution Research* 23: 13591-13597.
- Rydgren, K., R. Halvorsen, A. Odland, und G. Skjerdal. 2011. Restoration of alpine spoil heaps: Successional rates predict vegetation recovery in 50 years. *Ecological Engineering* 37: 294-301.
- SBV. Schweizer Bauernverband – Agriexpert. URL: <https://www.agriexpert.ch/de/dienstleistungen/entschaedigungen/kulturschaden/> Abgerufen am: 21.03.2018. Schweizer Bauernverband, Brugg.
- Schaefer, M. 2012. Wörterbuch der Ökologie. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Scherrer, D., und C. Körner. 2011. Topographically controlled thermal-habitat differentiation buffers alpine plant diversity against climate warming. *Journal of Biogeography* 38: 406-416.
- Schiechtl, H. M., und R. Stern. 1992. Handbuch für naturnahen Erdbau. Österreichischer Agrarverlag, Wien.
- Schmid, T., und M. Frei. 2005. Vorbeugen und heilen. *Ingenieurbiologie* 1/2005: 4-8. Verein für Ingenieurbiologie.
- Schmid, T., F. Oehl, und M. Streit. 2005. Verwendung von arbuskulären Mykorrhizapilzen bei der Begrünung von Rohböden. *Ingenieurbiologie* 3+4/2005: 44-45.
- Schneider, M., D. Suter, B. O. Krüsi, und C. Rixen. 2017. Begrünung in Hochlagen, Empfehlungen für die Wiederanlage landwirtschaftlich genutzter Flächen in hohen Lagen. AGFF Merkblatt. Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Futterbaues, Zürich-Reckenholz.
- Schützinger, C. 2015. Tourismus: Im Spannungsfeld zwischen Natur- und Kulturraum. *vorum - Zeitschrift für Raumplanung und Regionalentwicklung in Vorarlberg* 3: 8-9. Land Vorarlberg, Bregenz.
- Schweizerisches Idiotikon. URL: <https://digital.idiotikon.ch/idtkn/id14.htm#!page/140717/mode/1up> Abgerufen am: 25.8.2019, Zürich.
- Schwienbacher, E., J. A. Navarro-Cano, G. Neuner, und B. Erschbamer. 2011. Seed dormancy in alpine species. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 206: 845-856.
- Sengl, P., C. Hammer, und H. Kofler. 2014. Begrünung mit autochthonem/regionalem Saatgut – Handlungsleitfaden. Erstellt im Auftrag von Asfinag und ÖBB. ZT-Kanzlei für Ökologie, Pernegg a.d.Mur.
- SIA. 2009. SIA Norm 318. Garten- und Landschaftsbau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, Zürich.
- SIA. 2013. SIA Norm 118. Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, Zürich.
- Stalljann, E. 2006. Der Einsatz von Hilfsstoffen in der standortgerechten Begrünung. in Tagung 5.-9. September HBFLA Raumberg-Gumpenstein, Ingenieurbiologie: Begrünung mit standortgerechtem Saatgut, Irdning.
- Steinbauer, M. J., J.-A. Grytnes, G. Jurasinski, A. Kulonen, J. Lenoir, H. Pauli, C. Rixen, M. Winkler, M. Bardy-Durchhalter, E. Barni, A. D. Bjorkman, F. T. Breiner, S. Burg, P. Czortek, M. A. Dawes, A. Delimat, S. Dullinger, B. Erschbamer, V. A. Felde, O. Fernández-Arberas, K. F. Fossheim, D. Gómez-García, D. Georges, E. T. Grindrud, S. Haider, S. V. Haugum, H. Henriksen, M. J. Herreros, B. Jaroszewicz, F. Jaroszynska, R. Kanka, J. Kapfer, K. Klanderud, I. Kühn, A. Lamprecht, M. Matteodo, U. M. di Cella, S. Normand, A. Odland, S. L. Olsen, S. Palacio, M. Petey, V. Piscová, B. Sedlakova, K. Steinbauer, V. Stöckli, J.-C. Svenning, G. Teppa, J.-P. Theurillat, P. Vittoz, S. J. Woodin, N. E. Zimmermann, und S. Wipf. 2018. Accelerated increase in plant species richness on mountain summits is linked to warming. *Nature* 556: 231-234.
- Steinger, T., C. Körner, und B. Schmid. 1996. Long-Term Persistence in a Changing Climate: DNA Analysis Suggests Very Old Ages of Clones of Alpine *Carex curvula*. *Oecologia* 105: 94-99.
- Stöckli, V., C. Rixen, und S. Wipf. 2002. Kunstschnee und Schneezusätze: Eigenschaften und Wirkungen auf Vegetation und Boden in alpinen Skigebieten. *Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos*.
- Stöcklin, J. 2009. Anpassungen an das Leben in großer Höhe. Evolution bei Alpenpflanzen. *Biologie in unserer Zeit* 39: 186-194.
- Streit, M. 2006. Standortgerechtes Saatgut und angepasste Saattechnik - ein Blick in die Schweiz. Seiten 119-122 in Tagung 5.-9. September HBLFA Raumberg-Gumpenstein,

Ingenieurbiologie: Begrünung mit standortgerechtem Saat- und Pflanzgut, Irdning.

Swisstopo. Karten der Schweiz. URL: <https://map.geo.admin.ch> Abgerufen am: 10.05.2018. Bundesamt für Landestopografie swisstopo.

Tamegger, C. 2017. Schlafsaat als Alternative zur Frühjahrsaat. *Kärntner Saatbau Aktuell* 46: 8-9, Klagenfurt.

Tischew, S. 2006. Renaturierungsziele und Zielgesellschaften naturnaher Begrünungen von Rohböden in gemäßigten Klimaten Mitteleuropas. Seiten 53-61 in Tagung 5.-9. September HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Ingenieurbiologie: Begrünung mit standortgerechtem Saat- und Pflanzgut, Irdning.

Townsend, C. R., M. Begon, und J. L. Harper. 2009. *Ökologie*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Tremp, H. 2005. Aufnahme und Analyse vegetationsökologischer Daten. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.

Umweltfachstellen-Zentralschweiz. 2007. Umgang mit Boden. Umweltfachstellen Zentralschweiz.

Urbanska, K. M. 1997. Safe sites – Interface of plant population ecology and restoration ecology. Seiten 81-110 in *Restoration ecology and sustainable development*. U. K. M., W. N. R., et al., Hrsg. Cambridge University Press, Cambridge.

van der Heijden, M. G., S. de Bruin, L. Luckerhoff, R. S. van Logtestijn, und K. Schlaeppli. 2016. A widespread plant-fungal-bacterial symbiosis promotes plant biodiversity, plant nutrition and seedling recruitment. *ISME Journal* 10: 389-399.

van der Heijden, M. G. A., J. N. Klironomos, M. Ursic, P. Moutoglis, R. Streitwolf-Engel, T. Boller, A. Wiemken, und I. R. Sanders. 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396: 69.

Wagenitz, G. 2003. *Wörterbuch der Botanik*. Spektrum Akademischer Verlag, Berlin.

Willmanns, O. 1998. *Ökologische Pflanzensoziologie: eine Einführung in die Vegetation Mitteleuropas*. 6. Auflage. Quelle & Meyer Verlag, Wiesbaden.

# Impressum

## Mitteilungsblatt für die Mitglieder des Vereins für Ingenieurbiologie

Heft Nr. 3/2019, 29. Jahrgang  
Erscheint viermal jährlich  
ISSN 1422-008

### Herausgeber / Editeur:

Verein für Ingenieurbiologie  
c/o OST Ostschweizer Fachhochschule  
ILF-Institut für Landschaft und Freiraum  
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil  
Tel.: +41 58 257 48 97  
E-Mail: sekretariat@ingenieurbiologie.ch

### Internet-Adresse / Adresse internet:

<http://www.ingenieurbiologie.ch>

### Druck / Impression:

Vögeli AG, Langnau i. E.

### Auftraggeber:

Verein für Ingenieurbiologie, Fachgruppe  
Hochlagenbegrünung

### Lektorat / Lectorat:

Martin Huber  
Tel.: + 41 32 671 22 87  
E-Mail: martin.huber@bsb-partner.ch

### Autoren:

Monique Peters, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee  
und Landschaft WSL, monique.peters11@gmail.ch  
Dr. Kirsten Edelkraut, Zürcher Hochschule für Angewandte  
Wissenschaften ZHAW, kirsten.edelkraut@zhaw.ch  
Dr. Manuel Schneider, Agroscope,  
manuel.schneider@agroscope.admin.ch  
Dr. Christian Rixen, Eidg. Forschungsanstalt für Wald,  
Schnee und Landschaft WSL, rixen@slf.ch

### Zitervorschlag:

Peters, M., K. Edelkraut, M. Schneider & C. Rixen [2019]:  
Richtlinien Hochlagenbegrünung. Ingenieurbiologie 3:1-64.  
ISSN 1422-008

### Übersetzungen / Traductions:

Rolf T. Studer  
E-Mail: rolf.studer@mail.com

### Sekretariat / Secrétariat:

Verein für Ingenieurbiologie  
c/o OST Ostschweizer Fachhochschule  
ILF-Institut für Landschaft und Freiraum  
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil  
Tel.: +41 58 257 48 97  
E-Mail: sekretariat@ingenieurbiologie.ch

**Weitere Exemplare dieses Heftes können zum  
Stückpreis von Fr. 20.- beim Sekretariat bezogen werden.**



Zürcher Hochschule  
für Angewandte Wissenschaften



Life Sciences and  
Facility Management

IUNR Institut für Umwelt und  
Natürliche Ressourcen



# Inserate Annonces



INGENIEURBIOLOGIE  
GÉNIE BIOLOGIQUE  
INGEGNERIA NATURALISTICA  
INSCHENIERA BIOLOGICA

## Inseratentarif für Mitteilungsblatt/Tarif d'insertion dans le bulletin

Der vorliegende Tarif ist gültig für eine Ausgabennummer.

Le présent tarif comprend l'insertion pour une parution

1 Seite Fr. 1125.-    2/3 Seite Fr. 825.-    1/2 Seite Fr. 600.-

1/3 Seite Fr. 450.-    1/4 Seite Fr. 375.-    1/8 Seite Fr. 225.-

Separate Werbebeilage beim Versand: 1 A4-Seite Fr. 1000.-  
jede weitere A4-Seite Fr. 300.-

**Inseratenannahme: Verein für Ingenieurbiologie c/o OST Ostschweizer  
Fachhochschule ILF, Institut für Landschaft und Freiraum, Oberseestrasse 10,  
8640 Rapperswil, Tel. +41 58 257 48 97,  
sekretariat@ingenieurbiologie.ch**

Link auf der Internetseite des Vereins/Liens sur la page de l'Association:  
Fr. 750.- pro Jahr/par an

Oder gratis bei Inseraten im Mitteilungsblatt im Wert von mindestens  
Fr. 750.- pro Jahr.

Ou gratuit pour des annonces dans le bulletin d'une valeur d'au moins Fr. 750.-  
par an.

## Nächste Ausgaben Prochaines éditions

### Redaktionsschluss

24. Juli 2020

13. September 2020

### Thema

Rutschungen und Hangmuren

Monitoring und Wirkungskontrolle

### Redaktion

Christian Rickli

Röbi Bänzinger

**Richtlinien sind gemäss den redaktionellen Richtlinien zu verfassen und bis zum Redaktionsschluss dem/der  
zuständigen Redaktor/in einzureichen.**

Verein für Ingenieurbiologie  
c/o OST Ostschweizer Fachhochschule  
ILF Institut für Landschaft und Freiraum  
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil  
Tel.: +41 58 257 48 97  
E-Mail: sekretariat@ingenieurbiologie.ch



Europäische Föderation für Ingenieurbiologie  
Federazione Europea per l'Ingegneria Naturalistica  
European Federation for Soil Bioengineering  
Fédération Européenne pour le Génie Biologique  
Federación Europea de Ingeniería del Paisaje

Giovanni de Cesare  
EPFL ENAC IIC PL-LCH  
GC A3 495 (Bâtiment GC)  
Station 18, CH-1015 Lausanne  
Tel.: +41 21 69 32517  
Mail: giovanni.decesare@epfl.ch

