

restauration écologique de prairies et de pelouses pyrénéennes

UN GUIDE TECHNIQUE POUR RÉGÉNÉRER
LES SOLS ET LES VÉGÉTATIONS
DÉGRADÉS EN MONTAGNE



Restauration écologique de prairies et de pelouses pyrénéennes

UN GUIDE TECHNIQUE POUR RÉGÉNÉRER
LES SOLS ET LES VÉGÉTATIONS
DÉGRADÉS EN MONTAGNE

Brice Dupin (coordination),
Sandra Malaval, Gilles Couéron, Jocelyne Cambecèdes et Gérard Largier

2019



Fig. 1 – Papillon Gazé (*Aporia crataegi*) dans une prairie de fauche maigre

Préambule

Les gestionnaires et aménageurs de l'espace montagnard se sont toujours préoccupés de la remise en état des terrains après terrassements en altitude avec des attentes et des réponses variables. Le développement du génie végétal se fit d'abord avec des moyens locaux, les graines des prairies de fauche environnantes, puis à partir des semences du commerce lorsque les surfaces à réhabiliter ont été plus conséquentes.

Ces semences exogènes, génétiquement pauvres et rarement adaptées au contexte climatique de la haute montagne, ne garantissent pas la réussite technique et sont sources de perturbations écologiques. Peu pérennes dans le temps, les plantes disparaissent après quelques hivers. Elles laissent les zones aménagées exposées à l'érosion car l'utilisation de fertilisants minéraux peut s'avérer défavorable à la recolonisation des sites par des espèces locales.

Le Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées et les acteurs de l'aménagement en Pyrénées, partenaires du programme Ecovars, ont développé une approche basée sur la préservation et la valorisation de la biodiversité : utiliser

des espèces locales, adaptées aux sites aménagés, écologiquement à leur place, pour recoloniser les zones perturbées. Un travail novateur, partenarial, a permis d'intégrer les attentes de chacun, les connaissances pratiques et scientifiques, en expérimentant, en échangeant, en essayant.

Grâce à des projets locaux à l'échelle de leur territoire, les partenaires gestionnaires de terrains aménagés ont développé des techniques, des méthodes et obtenu des résultats, tant sur la revégétalisation que sur la manière de travailler ensemble dans ce domaine. Les services de l'Etat et des Collectivités, garants des politiques de gestion et d'aménagement de l'espace, et de conservation de la biodiversité, ont pris leur part à cette démarche multi-acteurs, qui fait toute sa force.

Les guides techniques de restauration écologique ***Multiplication de semences sauvages pyrénéennes*** et ***Restauration écologique de prairies et de pelouses pyrénéennes*** permettent aujourd'hui de partager plus largement les acquis du programme Ecovars, exemplaire à l'échelle du massif des Pyrénées.

Jacques Brune, Président

Gérard Largier, Directeur

Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées

Sommaire

1. Biodiversité et sol, les interventions préalables	15
Fiche 1 Cartographie de la biodiversité et des sites à préserver avant les travaux	16
Fiche 2 Analyse des conditions écologiques du milieu à restaurer	19
Fiche 3 Organisation de la circulation des engins	22
Fiche 4 Reconstitution des horizons du sol	24
Fiche 5 Aménagements mécaniques contre l'érosion	27
Fiche 6 Préparation du substrat avant ensemencement	30
2. La récolte de plantes et de semences en milieu naturel	35
Fiche 7 Transplantation de plaques de végétaux	36
Fiche 8 Généralités sur la détermination des sites de récolte	38
Fiche 8 a Pelouses acidiphiles montagnardes et subalpines des Pyrénées	40
Fiche 8 b Prairies maigres de fauche ou pâturées	42
Fiche 8 c Prairies de fauche de montagne	44
Fiche 9 Transfert de foin vert	46
Fiche 10 Récolte des semences avec une brosseuse	51
Fiche 11 Récolte des semences avec une moissonneuse-batteuse.	56
Fiche 12 Les techniques de récolte, en résumé	59
3. Les semis, leur protection et leur fertilisation	63
ZOOM : Résultats de l'étude des performances environnementales des semis de semences locales ou exogènes RÉSULTATS INÉDITS	67
Fiche 13 : Réunir les conditions de réussite d'un semis dès l'amont du chantier FICHE CLÉ	78
Fiche 14 : Organisation des travaux pour des semis à une période favorable	81
Fiche 15 : Constitution des mélanges de semences	82
Fiche 16 : Ajustement de la fertilisation organique ou organo-minérale	89
Fiche 17 : Protection des semis par des matériaux fixateurs.	91
Fiche 18 : Semis, intérêts et limites des différentes pratiques	98
Fiche 19 : Les techniques de revégétalisation à l'hydroseeder, en résumé.	101
Période de semis et intrants préconisés sur terrain peu pentu	102
Période de semis et intrants préconisés sur talus et terrains pentus (30 à 100 %)	104
Fiche 20 : Mise en défens des surfaces revégétalisées	106
Fiche 21 : Suivi et évaluation d'un chantier de restauration écologique	108
Fiche 22 : Communiquer sur les opérations de revégétalisation	112
4. Plantes sauvages des Pyrénées profitables en revégétalisation	115
Brize moyenne, <i>Briza media</i> L.	116
Canche flexueuse, <i>Avenella [Deschampsia] flexuosa</i>	118
Crételle des près, <i>Cynosurus cristatus</i> L.	120
Fétuque des neiges, <i>Festuca niphobia</i> (St-Yves) Kerguelen	122
Fétuque noirâtre, <i>Festuca nigrescens</i> L.	124

Pâturin alpin, <i>Poa alpina</i> L.	126
Laîche toujours verte, <i>Carex sempervirens</i> Vill. subsp. <i>sempervirens</i>	128
Anthyllide des Pyrénées, <i>Anthyllis vulneraria</i> subsp. <i>boscii</i> Kerguélen	130
Lotier alpin, <i>Lotus alpinus</i> (DC.) Schleich. ex Ramond	132
Trèfle alpin, <i>Trifolium alpinum</i> L.	134
Achillée millefeuille, <i>Achillea millefolium</i> L.	136
Œillet à delta, <i>Dianthus deltoides</i> L.	138
Plantain lancéolé, <i>Plantago lanceolata</i> L.	140
Glossaire	142
Bibliographie	146
Liste des figures	151
Liste des tableaux	153

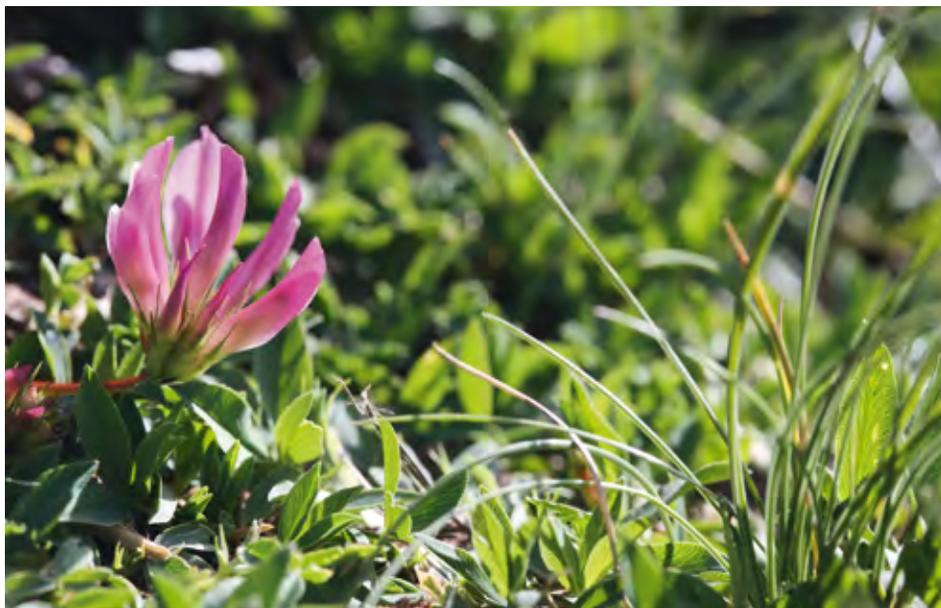


Fig. 2 – Trèfle alpin

Préserver le sol et restituer au couvert végétal tout son caractère pyrénéen

Aux étages subalpin et alpin, les communautés végétales sont confrontées à des conditions écologiques sévères : des températures basses avec des amplitudes très marquées, un fort ensoleillement, des vents asséchants, un enneigement persistant, des sols pauvres, parfois squelettiques. Les sols sont une interface primordiale pour la vie végétale mais, en altitude, ils sont fragiles : leur évolution est freinée par le froid et par une érosion constante. Dans ces conditions, les terrassements mécanisés et la circulation de véhicules provoquent très souvent :

- une déstructuration du sol et une exposition des fractions fines à l'érosion hydrique et éolienne,
- une chute de la production de matière organique végétale, source d'énergie indispensable au maintien de la fertilité du sol,
- une réduction de la porosité du sol et de sa richesse, en micro-organismes et en champignons mycorhiziens, limitant l'efficacité du recyclage

des nutriments (diminution des surfaces exploitées par les racines, lessivage et lixiviation des nutriments),

- une perte de la capacité du sol à stocker l'eau et les nutriments, induisant parfois la disparition de toute forme de vie.

Chaque terrassement peut ainsi dégrader fortement les sols et les habitats naturels, les couvertures végétales et les sols. Après perturbation, les pelouses naturelles d'altitude ont besoin de plusieurs décennies pour s'auto-réparer. A l'étage subalpin, sur des zones non revégétalisées exposées à la rudesse du climat, un cercle vicieux de dégradation du milieu peut alors empêcher la reconstitution naturelle des sols. Dans ces conditions les interactions entre plantes sont particulièrement bénéfiques pour la recolonisation des sites car elles sont plus orientées sur des processus de facilitation (entraïdes sous diverses formes) que sur des relations de compétition.

Les revégétalisations confrontées aux contraintes de la montagne

Beaucoup d'efforts sont déployés pour restaurer les sols et les couverts végétaux. Mais bien souvent les travaux réalisés ne suffisent pas pour reconstituer les propriétés bio-physico-chimiques des sols. Aujourd'hui encore, une grande part des revégétalisations est réalisée avec du matériel végétal d'origine lointaine. Ces plantes ne sont pas adaptées aux conditions extrêmes de la montagne et révèlent très vite leurs faiblesses :

- une faible pérennité des couverts végétaux semés (cf. p. 66) ;
- la nécessité d'apporter d'importantes doses de semis et de fertilisation ;
- un risque d'hybridation et de compétition avec la flore locale induisant une modification des

communautés végétales et une perturbation des écosystèmes. L'introduction d'un individu exogène d'une espèce végétale dans une zone où une population d'individus de la même espèce est naturellement présente peut entraîner des croisements. Les descendants disposent alors des caractéristiques intermédiaires. Ces hybridations entre populations de plantes d'origines différentes contribuent à la perte des spécificités génétiques des plantes sauvages résultant des processus d'évolution et d'adaptation de l'espèce à des conditions écologiques particulières.

Les techniques de revégétalisation courantes ne permettent donc pas la formation de couverts

végétaux aussi denses et pérennes que ceux qui existent dans un milieu naturel non perturbé. Sur les sites d'altitude fortement exposés à l'érosion, les eaux de ruissellement emportent le peu de terre fine et de matière organique présentes, réduisant ainsi les possibilités de colonisation par les végétaux. Ces processus d'érosion peuvent entraîner des coûts

élevés d'interventions visant à niveler et stabiliser les substrats, voire protéger des infrastructures fragilisées par les pertes en terre et par la puissance des écoulements d'eau. Ces travaux peuvent être nécessaires aussi bien sur des sites mal revégétalisés que sur des zones situées en aval.



Fig. 3 – Paysage pyrénéen en automne

Pour une revégétalisation écologique, avec des semences sauvages des Pyrénées

L'utilisation de semences pyrénéennes de montagne est un des facteurs déterminants de la réussite des travaux de revégétalisation. Mieux adaptées aux conditions des milieux montagnards (climat, géomorphologie, sols), les plantes d'origine locale représentent une alternative pertinente aux semences d'origine exogène. D'un point de vue écologique, les expérimentations ont montré que ces ensemencements contribuent notamment à (cf. p. 66) :

- former des couverts végétaux pérennes et diversifiés,
- reconstituer des interactions entre les plantes et les micro-organismes et la faune des sols (amélioration des propriétés physico-chimiques des sols et du recyclage des nutriments),
- créer des communautés végétales aux composantes et au fonctionnement proches de celui des habitats naturels perturbés.

En limitant les risques d'hybridation et de compétition liés à l'introduction de plantes exogènes, ils permettent aussi de conserver la flore locale et de maintenir des végétations plus aptes à faire face aux contraintes liées aux changements climatiques. D'un point de vue économique, l'utilisation de plantes d'origine locale permet de :

- réduire les besoins en semences et fertilisations,
- mieux conserver la neige grâce aux couverts végétaux,
- limiter les processus d'érosion des sols,
- conserver les paysages de montagne et leur caractère attractif,
- reconstituer une ressource fourragère plus conséquente.

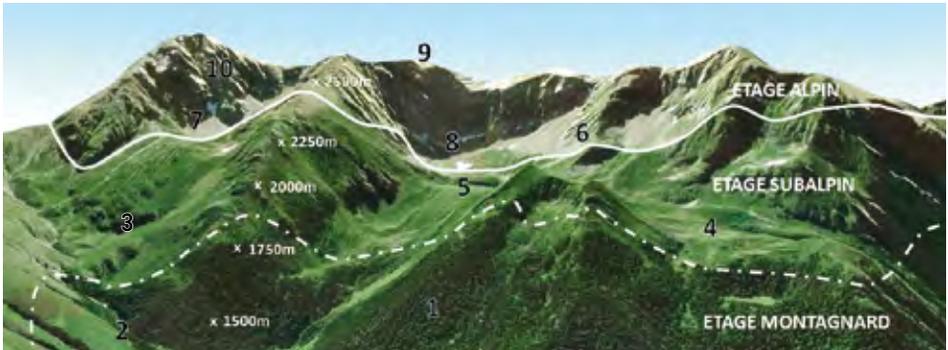


Fig. 4 – Étagement de la végétation sur un versant nord sur sol siliceux des Pyrénées centrales

Sources : Nizan P.-A., 2016 et Image - Google Earth (© 2016 Google)

ÉTAGE MONTAGNARD : 1-Hêtraie-sapinière, 2-Dépressions humides à Nard raide. Sud : Forêts à Pin sylvestre, Landes à genévriers nains et Raisin d'ours.

ÉTAGE SUBALPIN : 3-Landes à Rhododendron, 4-Pelouses des reposoirs à bétail, 5-Lac subalpin à végétation lacustre et marécageuse. Sud : Peuplements de Pin à crochets, pelouses à Gispet en gradins.

ÉTAGE ALPIN : 6-Eboulis siliceux à flore xérophile, 7-Eboulis siliceux à flore mésohydrique, 8-Combes à neige à saule herbacé, 9-Crêtes ventées à flore rase, 10-Falaises et fissures à flore xérophile.

Les pratiques de restauration écologique impulsées par le programme Ecovars

Depuis 2003, la démarche Ecovars accompagne les acteurs pyrénéens dans la mise en œuvre de restaurations écologiques de sites d'altitude dégradés et la production de semences de plantes d'origine locale. Déposée par le Conservatoire et développée collectivement, la marque « Pyrégraine de nèou », permet de garantir l'origine locale et la qualité des semences.

Le programme Ecovars a notamment permis de :

- conseiller de nombreux aménageurs et

gestionnaires d'espaces dans la mise en œuvre de restaurations écologiques avec des semences d'origine locale,

- développer des offres de mélanges de semences issues de multiplications de semences dans le cadre de la marque « Pyrégraine de nèou » et de récoltes mécanisées sur des prairies et pelouses montagnardes,
- faire communiquer les partenaires et communiquer sur les actions développées.

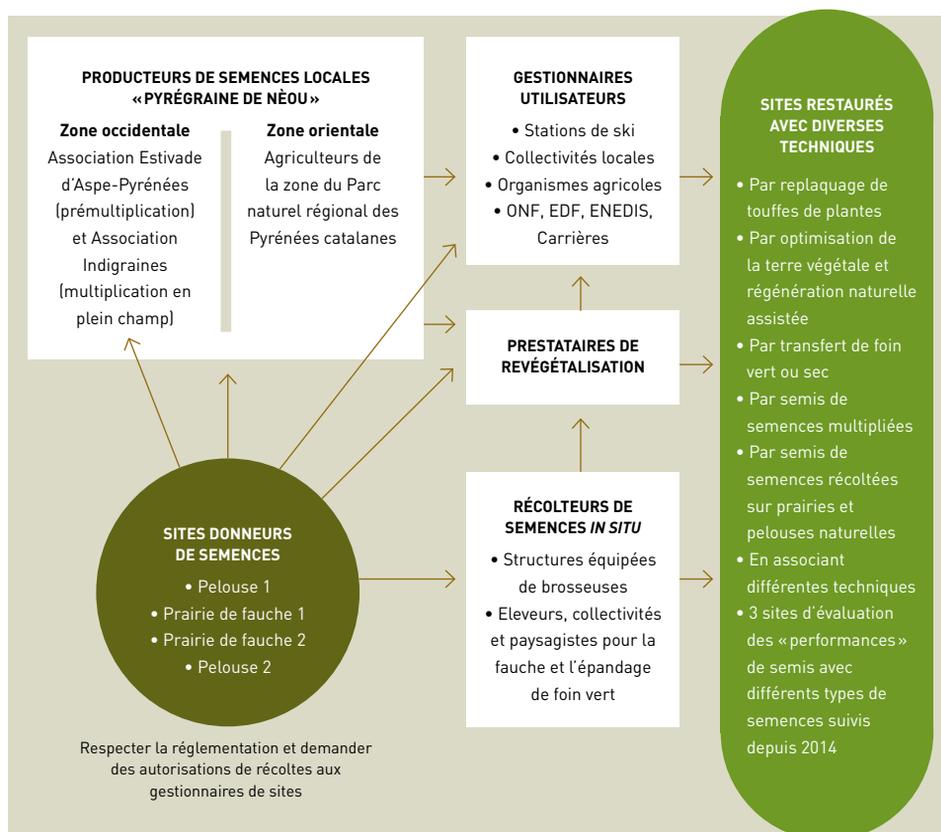


Fig. 5 – Fonctionnement du programme Ecovars de 2013 à 2019

Un guide pour reconstituer la flore et les milieux naturels perturbés

Les accompagnements des chantiers de restauration écologique et les suivis de leurs performances ont permis de développer des méthodologies et des références techniques. Ce guide a été élaboré en lien avec les aménageurs et les gestionnaires des Pyrénées afin de leur permettre de mieux préserver la flore des milieux perturbés. Il présente un ensemble de démarches d'ingénierie écologique à mettre en œuvre du début à la fin du projet de revégétalisation. Il a été conçu en 4 parties traitant :

- des préalables à l'aménagement : diagnostics environnementaux avant le chantier, conduite des travaux de terrassement, reconstitution des

- sols et préparation du substrat à ensemercer,
- de la collecte de semences sauvages d'origine pyrénéenne,
- des techniques de revégétalisation,
- des plantes utilisées en restauration écologique.

Sources: Aradottir A. (2012), Choler *et al.* (2001), Dinger (1997), Dinger et Bédécarrats (2001), Dutoit (2012), Haselwandter (1997), King et Whisenant, (2009), Krautzer *et al.* (2006), Le Bagousse-Pinguet *et al.* (2014), Michalet *et al.* (2014), Ozenda (1994, 2002), Salomon (2007), Urbanska (1988, 1997), Wipf *et al.* (2005).



Fig. 6 – Iris des Pyrénées

Partenaires mobilisés et surfaces restaurées avec des semences locales

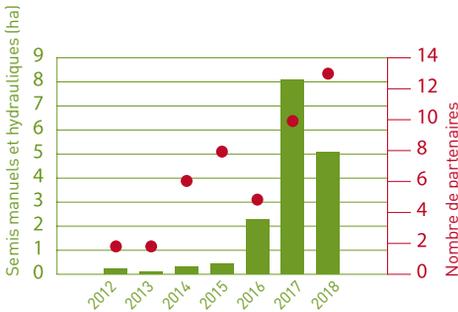


Fig. 7 – Partenaires mobilisés et surfaces restaurées avec des semences locales

Du fait des réussites constatées et de la disponibilité croissante en mélanges de semences, 30 aménageurs des Pyrénées ont revégétalisé 57 sites avec des semences d'origine locale (16,9 ha) entre 2012 et 2018.

Sites revégétalisés avec des plantes d'origine locale (2012 - 2018)

Les suivis des chantiers accompagnés permettent d'élaborer des références pour différents types de conditions écologiques.

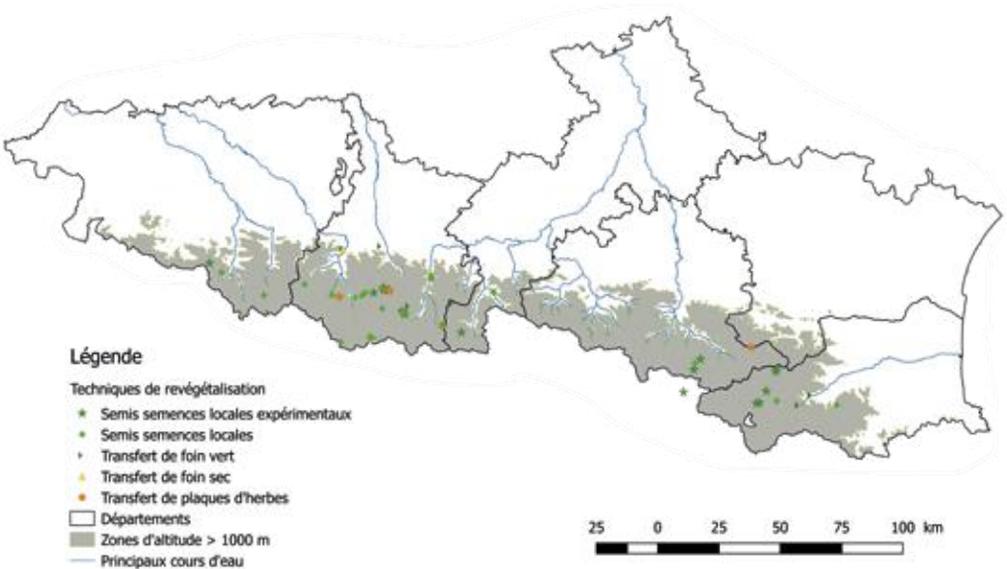


Fig. 8 – Sites revégétalisés avec des semences locales de 2012 à 2018

Sources : Données CBNPMP et © IGN - BD CARTO © 2017 - BD CARTHAGE © 2017



Fig. 9 - Paysage du vallon d'Ens

1 | Biodiversité et sol, les interventions préalables

Altitudes, reliefs, socles géologiques, sols et pratiques d'élevage, dans toute leur diversité montagnarde, sont à l'origine de mosaïques d'écosystèmes (ou habitats naturels) de surfaces parfois très faibles. Un état des lieux des conditions écologiques des sites et leur analyse doivent donc être réalisés afin de définir des aménagements compatibles avec la préservation de milieux naturels sensibles et le maintien des équilibres agro-sylvo-pastoraux.

Pour assurer le succès des opérations de revégétalisation, une attention particulière doit être accordée à l'évaluation des caractéristiques du sol, afin d'identifier son aptitude à être colonisé par les végétaux. Après un terrassement, les couches de roche et de terre doivent être repositionnées dans le même ordre et, si possible, dans les mêmes proportions. Le fonctionnement géochimique et l'activité biologique du sol seront ainsi relancés.

Une attention particulière doit aussi être portée à la couche superficielle d'humus : elle est très fertile mais elle est aussi très fragile. Cette couche contient une importante banque de graines et de propagules végétatives (boutures, rejets, stolons...), réservoir de plantes locales adaptées à une restauration rapide du site aménagé. De plus, la terre végétale comporte de nombreux micro-organismes ; leur activité est indispensable au maintien de la fertilité du sol et au développement des plantes. Les méthodes et les outils utilisés pour la conservation de cette couche superficielle, son stockage et sa réutilisation, déterminent largement la réussite des opérations de revégétalisation.

Sources : Blaschke (1991), Chambers (1997), Krautzer *et al.* (2006), Peratoner (2006), Salomon (2007).

Inventorier les enjeux environnementaux et pastoraux avant de concevoir les aménagements.

Plutôt que de «réparer» un milieu naturel touché par des aménagements, il est préférable de réunir en amont des travaux toutes les connaissances disponibles, pour les valoriser dans le but de préserver les espèces et les habitats naturels visés par une réglementation ou un enjeu. De même, les effets de ces aménagements sur les pratiques pastorales doivent être envisagés de manière à maintenir les équilibres agro-pastoraux de la montagne. Ces réflexions peuvent conduire à penser autrement les investissements à réaliser. Les données sur les milieux naturels et le pastoralisme existent mais elles ne sont pas suffisamment exploitées par les divers acteurs de la montagne. Obtenues à partir de méthodes non comparables, disponibles dans des formats disparates, elles sont rarement prises en compte pour la planification des aménagements. Le renforcement des connaissances et leur synthèse sont des étapes importantes en amont des aménagements.

INTÉRÊTS

Les chantiers en montagne ont un coût. Lorsqu'ils concernent des zones à fort intérêt écologique, ces coûts sont d'autant plus élevés car les mesures à mettre en œuvre afin d'éviter, réduire et compenser les dégradations environnementales générées sont plus nombreuses. Les effets des aménagements sur les parcours et la gestion des troupeaux doivent aussi être pris en compte pour privilégier les options peu préjudiciables aux activités pastorales. Disposer des données nécessaires et se mettre en situation de les exploiter est d'autant plus profitable. En améliorant les connaissances naturalistes et pastorales, on permet une identification des sites naturels sensibles et leur hiérarchisation : enjeu réglementaire, environnemental important ou à considérer. La réalisation des diagnostics pastoraux permet de localiser les sites clés utilisés par les gestionnaires des estives et leurs troupeaux. Ces études sur les milieux naturels et les pratiques pastorales à un instant donné, pourront aussi

servir à analyser les effets des aménagements réalisés sur les dynamiques des agro-écosystèmes de montagne.

CONDITIONS OPTIMALES

Ce travail est facilité lorsque des données existantes sont déjà rassemblées. Les inventaires floristiques et faunistiques récents peuvent être valorisés. Les protocoles d'inventaire doivent être précisément définis pour automatiser la classification des enjeux environnementaux. En règle générale, un diagnostic environnemental est d'autant plus pertinent que l'intérêt écologique du site est marqué et que les données d'inventaire existantes sont incomplètes. Les sites constitués d'une faible diversité d'habitats naturels sont plus simples à inventorier. Ces travaux spécifiques nécessitent de faire appel à des structures compétentes. La mobilisation de personnes disposant d'une connaissance approfondie des milieux naturels ou des pratiques pastorales locales permet d'améliorer la qualité des études.

Recouvrement du sol (%)

- 75 - 100 %
- 50 - 75 %
- 25 - 50 %
- 0 - 25 %

Enjeux environnementaux

- Enjeux réglementaires
- Enjeux importants

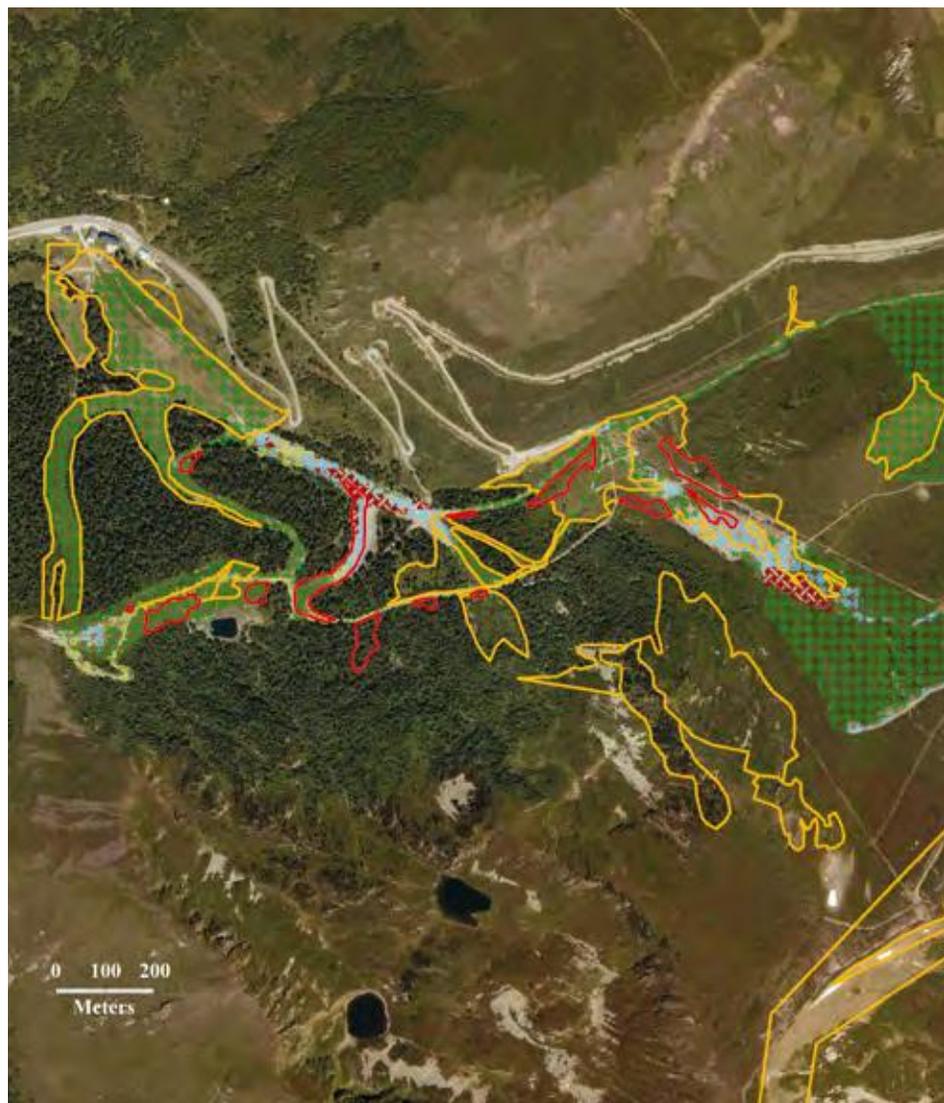


Fig. 10 – Carte des recouvrements végétaux des pistes de ski et des enjeux environnementaux.

La station d'Ax 3 Domaines s'est dotée d'un système d'information géographique pour identifier les zones à enjeux et adapter leurs aménagements en fonction de la biodiversité existante.

Equipements et informations nécessaires

La structure ou la personne responsable de l'étude peut s'appuyer sur diverses sources d'information :

- cartes au 25/000° (IGN), orthophotos (IGN), cartes des habitats naturels et des espèces de la directive habitats dans les sites Natura 2000, cartes des ZNIEFF, cartes géologiques et topologiques ;
- données d'inventaires de la flore, des habitats naturels et de la faune ;
- outils d'identification des habitats naturels ;
- listes d'espèces et d'habitats naturels déterminants pour l'inventaire des ZNIEFF ;
- listes des plantes protégées au niveau national, régional ou départemental : arrêtés ministériels concernant les espèces végétales protégées sur le territoire national (20 janvier 1982), en Aquitaine (8 mars 2002), en Midi-Pyrénées (30 décembre 2004) et en Languedoc-Roussillon (29 octobre 1997) ;
- listes rouges des espèces végétales menacées en France, dans les régions et dans les Pyrénées ;
- diagnostics pastoraux de la zone étudiée ;
- outils d'identification des espèces (guides, flores), dont le guide des espèces protégées en Midi-Pyrénées du Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées ;

La réalisation de ces études nécessite un :

- un GPS et appareil photographique ;
- un ordinateur et logiciel de cartographie.

MISE EN ŒUVRE

Le gestionnaire du chantier doit faire appel à une ou des structures compétentes pour ces études spécifiques. Il est conseillé de suivre les étapes suivantes :

Collecte des informations déjà disponibles :

- rassembler les informations environnementales disponibles relatives à la zone d'étude (données d'inventaires en zone ZNIEFF ou Natura 2000, inventaires flore, habitats naturels et faune disponibles dans les Conservatoires botaniques, à l'Office national des forêts [ONF], chez le maître d'ouvrage, et dans les bureaux d'études dans le cadre d'études d'impact) ;
- rassembler les informations pastorales disponibles pour la zone d'étude ;
- rassembler les images disponibles relatives à la zone d'étude (cartes au 25/000^{ème} (IGN), orthophotos (IGN), images satellites à haute résolution).

Définition d'une méthodologie d'inventaire complémentaire :

- définir une méthodologie d'inventaire et de traitement des données qui permettra de délimiter des zones naturelles en fonction de leur enjeu environnemental. Il est conseillé de délimiter 3 grands types de zones (**enjeu réglementaire** : zone comportant des populations d'espèces protégées et leurs habitats, habitats d'intérêt communautaire prioritaires [étude d'incidence à faire]. Les données de présence de la faune protégée devront être analysées afin de bien délimiter leurs biotopes ; **enjeu important** : zone incluant des espèces des listes rouges et déterminantes, des habitats d'intérêt communautaire non prioritaires ou des zones humides ; **enjeu à considérer** : zones situées sur le réseau hydrographique, zones sensibles au niveau paysager [front de neige notamment], zones d'érosion intense et zones de crêtes) ;
- identifier tous les habitats naturels de la zone d'étude (unités minimum d'échantillonnage de 25 000 m²) en utilisant une typologie phytosociologique. Le niveau de classification des habitats naturels utilisé sera au moins celui de l'alliance (cf. référentiel des typologies d'habitats et de végétation pour la France). Si un habitat naturel constitue un complexe fonctionnel particulier (une tourbière, une zone humide...), son contour sera défini de façon précise ;
- inventorier les habitats naturels sensibles, notamment ceux qui abritent des espèces faunistiques protégées, rares ou menacées (éboulis, zones humides ; habitats naturels d'intérêt communautaire, dont habitats naturels prioritaires, etc.) ;
- inventorier et localiser les populations floristiques protégées, rares ou menacées (au niveau européen, national, régional et départemental) dans l'ensemble du domaine d'étude ;
- estimer le nombre d'individus à statut par classe (0 à 25, 25 à 100, 100 à 1000 ou plus de 1000 individus) afin de faciliter la classification en fonction des niveaux d'abondance des plantes ;
- réaliser en saison estivale 3 relevés phytosociologiques par type d'habitat. Pour identifier l'ensemble des plantes présentes dans un habitat naturel, il convient de réaliser jusqu'à 3 passages sur le même site, à des périodes différentes (fin

de printemps, été, et éventuellement début de l'automne) ;

- inventorer l'ensemble des écoulements hydriques, des ruisselets et des ruisseaux avec des lignes continues pour les cours d'eau permanents et discontinues pour les cours d'eau temporaires ;
- inventorer les sites d'importance pastorale (zones de circulation et d'abreuvement des animaux, accès aux parcs de contention, reposoirs, zones ombragées, estives...).

Intégration et traitement des données dans un système d'information géographique :

- développer un Système d'information géographique sur les sites à aménager ;
- intégrer les données collectées avec des techniques d'inventaire conformes à la méthodologie définie ;

- organiser les données sur les enjeux pastoraux par ordre d'importance ;
- organiser les données par ordre d'importance des paramètres de classification utilisés pour déterminer les niveaux d'enjeux environnementaux ;
- superposer les couches des différents relevés ;
- délimiter les zones à enjeu environnemental ;
- établir la liste des critères qualitatifs et quantitatifs qui ont permis de définir ces zones.

Sources : Bernard-Brunet & Bornard (2004), Bissardon *et al.* (1997), Clair *et al.* (2017), Corriol (2017), Devillers *et al.* (1991), CBNPMP *et al.* (2011), Jouglet (1999), Jouglet *et al.* (1999), Lambertin (2016), UICN France *et al.* (2018).



Fig. 11 – Paturage ovin sur une estive de la Vallée du Louron

Le pastoralisme permet de maintenir des milieux ouverts et leur biodiversité. Il convient de penser les aménagements pour ne pas rompre cet équilibre.

Adapter les réponses techniques aux enjeux de conservation et aux contraintes de terrain.

Le plus souvent, les interventions proposées par les entreprises de revégétalisation ne sont pas conçues spécifiquement pour chaque site à réhabiliter. Elles sont fréquemment inspirées par les recommandations faites en plaine pour créer des prairies ou des gazons ; elles ne répondent pas aux exigences des milieux montagnards. Une prise en compte des contraintes de terrain est essentielle : elle est nécessaire à la conservation de la flore locale et elle détermine la réussite technique des revégétalisations.

INTÉRÊTS

L'exercice vise à caractériser les propriétés des sols, les communautés végétales, les conditions climatiques et les risques d'érosion du site à réhabiliter. Ce diagnostic agro-environnemental permettra de choisir les techniques et les produits de revégétalisation les mieux adaptés au site.

CONDITIONS OPTIMALES

Les sites à ensemercer n'ayant pas déjà fait l'objet d'études des conditions écologiques nécessitent un diagnostic. Celui-ci est facilité lorsque les habitats naturels concernés par le chantier sont peu diversifiés. Ce travail nécessite de faire appel à une structure compétente.

Equipements et informations nécessaires

- matériel de collecte d'échantillons et d'analyse de sol ;
- flore et/ou résultats d'inventaires botaniques du milieu concerné ;
- études environnementales, agricoles et touristiques déjà réalisées sur le site (géomorphologie, pédologie, végétation, faune, gestion pastorale, activités touristiques...)

MISE EN ŒUVRE

- faire appel à une structure compétente pour ce type d'étude ;
- rassembler les informations sur les caractéristiques des sols, la géomorphologie, la flore, la faune, les pratiques pastorales et usages touristiques ;
- analyser les conditions écologiques du milieu : pente, pH, rapport C/N, exposition, altitude, type de sol (granulométrie, composition, pH, épaisseur de la terre végétale), nature de la roche mère/du matériau parental, flore et habitats naturels présents autour du site aménagé ;
- caractériser et cartographier les communautés végétales ou les habitats naturels et/ou les zones dont les caractéristiques nécessitent d'adapter les techniques de revégétalisation ;
- cartographier les zonages agro-écologiques du site impacté ;
- envisager une gestion de chantier compatible avec une reconstitution des sols et de la végétation aux conditions écologiques locales.

Sources : Cahiers d'habitats sur les milieux concernés, Clair *et al.* (2017), Devillers *et al.* (1991).



Fig. 12 – Zones humides à l'étage subalpin

L'intérêt écologique des zones humides est tout particulier. Il est donc conseillé de ne pas perturber leur fonctionnement hydrologique.

Eviter de dégrader les végétations existantes et de mettre les sols à nu.

La circulation d'engins de chantiers ou de véhicules de service sur des sols sensibles peut endommager fortement les pelouses de montagne. Dans certaines conditions d'humidité ou sur certains sols, le passage d'un seul véhicule peut mettre à nu les zones de roulement. Des phénomènes érosifs appelés érosion des chemins pourront alors s'intensifier et s'avéreront irréversibles sans une action réparatrice.

INTÉRÊTS

Planifier des voies de circulation permet de préserver les sites environnant la zone de travaux et de limiter le tassement des sols sur le chantier. La circulation sur le chantier sera optimisée, ce qui ne sera pas neutre d'un point de vue économique.

CONDITIONS OPTIMALES

Disposer de cartes présentant les enjeux environnementaux (milieux naturels, faune et flore, risques d'érosion, instabilité des sols), traduisant les reliefs, indiquant les secteurs inaccessibles et/ou dangereux, et localisant les revégétalisations récentes ou programmées, facilitera l'identification des zones de déplacement.

MISE EN ŒUVRE

- sur un périmètre englobant le site aménagé, cartographier les milieux naturels (les habitats, la flore protégée, rare, menacée, etc.) et les zones de sensibilité à l'érosion (observer la forme et la surface des bassins-versants, les pentes, les couverts végétaux et les chemins habituels de l'eau), en particulier localiser toutes les zones de chantiers récents de restauration et/ou revégétalisation que des circulations d'engins pourraient facilement dégrader ;

- évaluer toutes les possibilités de réduction des distances à parcourir et/ou du nombre de voie de circulation hors du chantier ;
- faire un plan précis des zones de circulation et des accès au chantier et le présenter au maître d'ouvrage ;
- définir une zone de roulement d'environ 2,50 m de large ;
- pendant toute la durée du chantier, en plus du plan de circulation, matérialiser et protéger les zones les plus sensibles à l'aide de piquets et de « rubalise » (populations de plantes protégées, zones humides...) ;
- programmer une visite conjointe du maître d'ouvrage et de l'entreprise réalisant les travaux pour vérifier le respect du plan de circulation ;
- obtenir en cas de dégradation de zones non comprises dans le plan d'aménagement une garantie de remise en état et de reconstitution de la couverture végétale aux conditions fixées par le maître d'œuvre ;
- intégrer tout ou partie des zones de circulation définies pendant le chantier dans le plan définitif du site après travaux.

Sources : Bellini (2015).

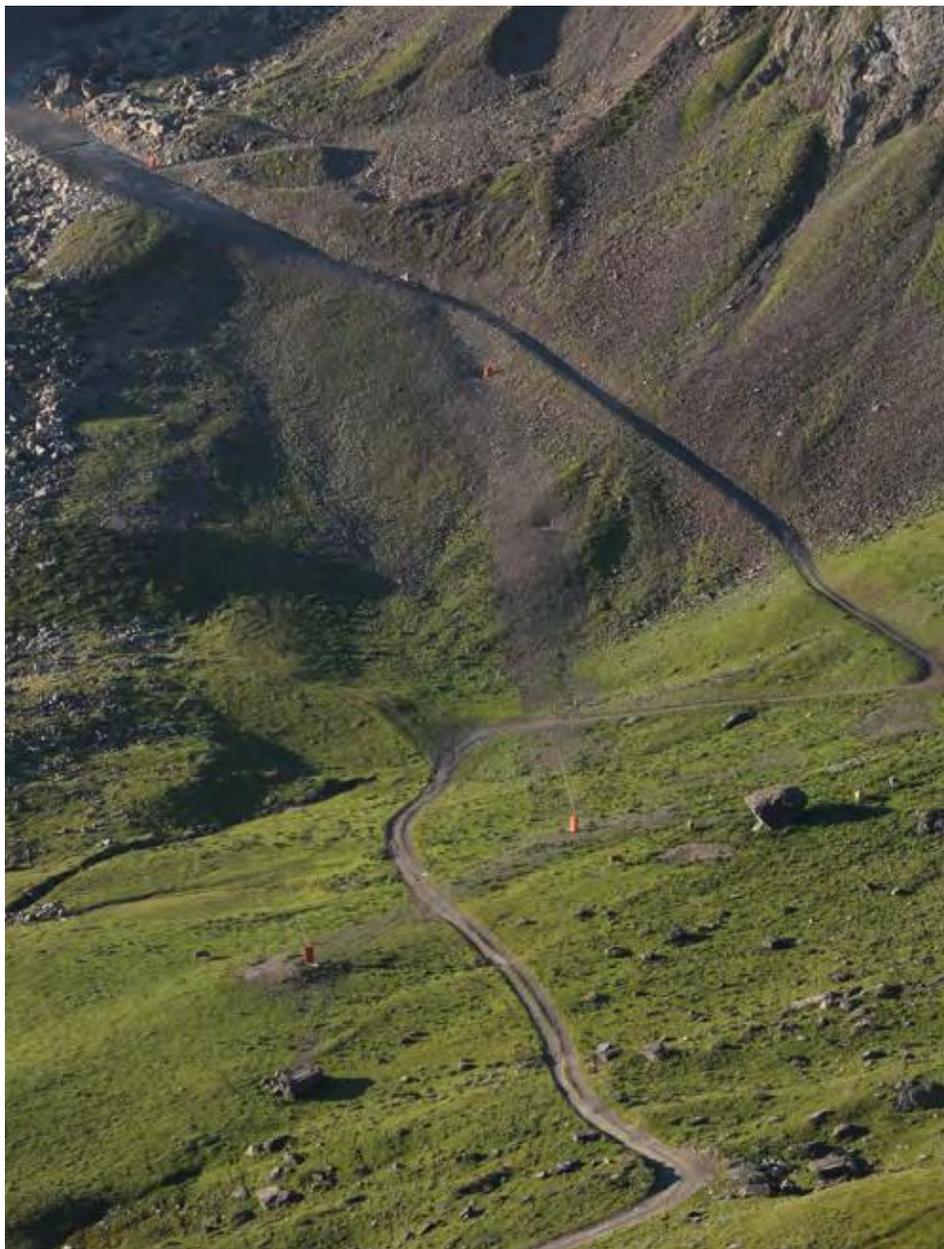


Fig. 13 – Piste carrossable sur la station de ski du Grand Tourmalet

Les voies de circulation doivent être économes en espace, notamment pour obtenir une bonne intégration paysagère.

Remettre en place les substrats rocheux et la terre végétale pour favoriser la revégétalisation.

Le fonctionnement géochimique et biologique du sol est complexe. Il résulte d'un long processus d'évolution qui a donné naissance à de nombreuses interactions entre les composantes physiques, chimiques et biologiques. Après un remaniement sans précautions, il est impossible de reconstituer un sol tel qu'il était avant les travaux. Sa structure originelle doit cependant être maintenue pour permettre à l'écosystème du sol de fonctionner et d'accueillir des plantes. Il est donc préconisé de décaper et de stocker séparément les différentes couches de sol (ou différents horizons) pour les épandre successivement telles qu'elles étaient avant le chantier. Cette attente peut être formalisée dans les cahiers des clauses techniques particulières (CCTP) et dans les documents de consultation des entreprises.

Le sol est la couche la plus externe de la croûte terrestre résultant de l'interaction entre la roche, l'air, l'eau et les organismes vivants. Il résulte de la transformation de la couche superficielle de la roche-mère, dégradée et enrichie en apports organiques par les processus vivants de pédogenèse. La partie superficielle du sol spécialement riche en matière organique se nomme l'humus.

Les sols ont une grande importance dans le déroulement des cycles biogéochimiques, le fonctionnement et les services rendus par les écosystèmes.

Ils assurent notamment les fonctions suivantes :

- infiltration, rétention et épuration de l'eau ;
- échanges gazeux avec l'atmosphère ;
- recyclage efficace de la matière organique ;
- support de vie de nombreuses espèces animales et végétales ;
- séquestration de carbone (En zone tempérée, les sols sont souvent le compartiment des écosystèmes séquestrant la majorité du carbone).

INTÉRÊTS

La reconstitution des couches du sol est nécessaire à la stabilisation des aménagements. Elle vise à conserver une part importante du carbone organique du sol remanié et à permettre une bonne infiltration des eaux de pluies. Elle contribue ainsi à la relance de l'activité biologique, au maintien de la capacité du sol à produire et stocker les ressources minérales et hydriques nécessaires aux plantes. Lorsqu'un terrassement est opéré sur des substrats rocheux, des blocs massifs peuvent être ramenés en surface. Leur concassage ou l'apport de graviers

moins grossiers permettent de créer un horizon minéral plus homogène sur lequel les couches de terre minérale et végétale pourront être déposées. Cette technique stabilise le sol superficiel et facilite le drainage. Elle favorise l'altération naturelle du substrat rocheux en éléments minéraux utilisés par les plantes.

CONDITIONS OPTIMALES

Les travaux doivent être localisés et planifiés précisément pour reconstituer les sols dans des conditions sèches. Il est profitable aussi d'évaluer la

profondeur des horizons de sol impactés, d'estimer les volumes de chaque substrat à déplacer, à stocker et à épandre. Il est plus aisé de réhabiliter des sols profonds, légers et secs. Les sites peu pentus et sans grandes irrégularités topographiques se prêtent aussi plus facilement à la restauration des sols.

Equipements nécessaires

- une pelle mécanique pour creuser et replacer les substrats ;
- éventuellement un bulldozer pour déplacer la terre ;
- éventuellement un concasseur ;
- éventuellement un camion avec benne pour transporter les substrats.

MISE EN ŒUVRE

La reconstitution de sols fonctionnels nécessite de bien planifier le déroulement des travaux sur des cartes. Elle requiert aussi des compétences élevées de conduite d'engins pour manipuler soigneusement les substrats et végétaux. Elle s'effectue en plusieurs étapes :

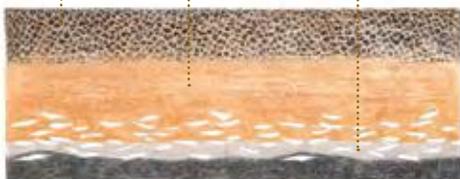
Etudier les caractéristiques du milieu et organiser les travaux

- évaluer les risques et cartographier les zones sensibles à l'érosion ;
- identifier les zones à enjeux environnementaux (fiche 1) ;
- identifier les voies de circulation des engins, les lieux de concassage et de stockage des substrats remaniés (fiche 3) ;
- caractériser les sols (différents horizons, matière organique, texture, humidité...) ;
- définir les techniques adaptées de reconstitution du sol ;

Horizon organo-minéral

Horizon minéral

Zone d'altération de la roche



- concevoir un modelé souple des horizons, s'intégrant au site, évitant les formes géométriques ;
- déterminer l'épaisseur des couches de sol à repositionner (terre végétale, minérale, substrat rocheux) et estimer les volumes.

Décaper et stocker la terre végétale

- définir précisément les modalités de décapage et de stockage de la terre végétale (par le maître d'ouvrage ou contrairement avec l'entreprise, par carottage du sol) ;
- prélever les touffes de végétaux pour les utiliser directement ou les stocker et les réutiliser en fin de travaux (fiche 7) ;
- évaluer l'épaisseur et la quantité de terre végétale à décapier et à stocker ;
- par temps sec, décapier une couche de terre végétale la plus épaisse possible, avec une pelle mécanique ;
- bien choisir les lieux de stockage de manière à limiter les impacts sur les milieux naturels, adapter des mesures de conservation des sédiments avec des aménagements anti-érosifs ou des géotextiles si besoin et privilégier des distances courtes ;
- stocker la terre végétale en andains d'une hauteur inférieure à 3 m si possible ; la protéger contre le tassement ou le passage d'engins pendant toute la durée de stockage ;
- stocker à part les éventuelles poches plus profondes de terre végétale, en appliquant les mêmes règles de stockage.

Décaper la terre minérale

- évaluer l'épaisseur et la quantité de terre minérale à décapier et à stocker ;



Fig. 14 – Structure d'un sol avant terrassement et après reconstitution

Après les travaux, la couche de terre végétale étalée en surface est moins épaisse du fait des pertes consécutives aux remaniements.

- décaper la terre minérale en fonction du modelé recherché ;
- stocker la terre minérale en andains ou en tas.

Eventuellement, concasser la roche

- concasser les blocs de roche remontés en surface en utilisant un concasseur ;
- répartir la roche concassée ou les graviers importés en couches homogènes.

Épandre la terre minérale puis la terre végétale

- épandre les couches de terre minérale de manière à obtenir le modelé recherché et à obtenir un horizon minéral suffisamment épais ;

- épandre ensuite les éventuelles couches plus profondes de terre végétale, pour créer une interface entre le sol minéral et la couche d'horizon humique ;
- épandre enfin la terre végétale superficielle et préparer le sol pour le semis.

Sources : Bellini (2015), Berthelin *et al.* (2018), Dinger (1997), Lignier & Rosset (2012), Ministère de l'équipement, des transports et du logement (1999), Nannipieri *et al.* (2003), Perry *et al.* (1989), Salomon (2007), Soussana *et al.* (2019), Valentin (2018).

Maîtriser les écoulements profonds et superficiels, en attendant une couverture végétale complète.

En montagne, les sols sont soumis à d'intenses processus d'érosion du fait du relief mais aussi de la durée limitée de la période de croissance végétative (climat, pauvreté des sols). Les terrassements induisent une désagrégation de leurs éléments constitutifs. La terre mise à nue, plus instable, est très sensible à l'érosion hydrique. Des ravines profondes peuvent se former. La matière organique des sols s'appauvrit. Pour éviter l'échec des revégétalisations, il faut donc limiter les processus d'érosion en aménageant les substrats remaniés et/ou les zones situées en amont, et ceci tant que les couverts végétaux ne sont pas reformés et pleinement efficaces.

INTÉRÊTS

La réalisation d'un diagnostic des risques d'érosion des sols peut permettre de bien dimensionner les aménagements. La mise en place de systèmes anti-érosifs permet de réduire les forces érosives exercées localement en dissipant les écoulements d'eau profonds et superficiels. Le diagnostic est aussi important pour éviter la mise en œuvre d'aménagements anti-érosifs conventionnels lourds dans certains contextes. Par exemple, sur des substrats meubles de faible pente (< à 30%) pouvant être rapidement revégétalisés, l'installation de cunettes de déviation des eaux n'est pas toujours nécessaire. Selon les cas, l'implantation de plaques d'herbe en courbes de niveau ou des semis réalisés à une période favorable, peuvent être tout aussi efficaces contre l'érosion.

CONDITIONS OPTIMALES

Ces aménagements sont nécessaires sur les talus hauts et pentus dont la stabilité est menacée par une concentration de ruissellements d'eau ou des résurgences d'écoulements superficiels. Ils le sont aussi sur des pentes moins fortes lorsque les aménagements croisent ou constituent des

chemins privilégiés pour les eaux de pluies. Ils peuvent aussi être nécessaires sur des sols légèrement pentus et trop pauvres pour permettre l'installation rapide de la végétation à l'issue d'un premier semis. En complément, des pratiques de génie écologique sont souvent nécessaires pour la stabilisation sur le long terme des sols et des aménagements réalisés.

Equipements nécessaires

- pelle mécanique pour creuser des cunettes ou des rigoles et positionner les matériaux des systèmes anti-érosifs.

MISE EN ŒUVRE

Identifier des risques d'érosion et des techniques anti-érosives

- observer la forme et la surface des bassins-versants, les pentes, les couverts végétaux et les chemins habituels de l'eau ;
- caractériser la circulation des eaux, les différentes formes d'érosion et les risques encourus ;
- déterminer et localiser les techniques anti-érosives adaptées au site.

Erosion des sols (processus, conséquences, cercle vicieux de dégradation des milieux).

Définition : L'érosion des sols est un processus naturel qui peut être accentué par les activités humaines. Elle entraîne des déplacements et des pertes de terre fine. En altitude, elle représente le principal danger de dégradation des milieux. Si ce phénomène est naturellement présent en haute montagne, les aménagements anthropiques tels que les infrastructures routières, touristiques, hydrauliques l'accroissent fortement. Lorsque les dégradations des couvertures végétales et pédologiques dépassent un certain seuil, l'écosystème ne peut s'auto-réparer dans un délai raisonnable. Un cercle vicieux prend alors place empêchant la reconstitution naturelle des sols.

En montagne, plusieurs formes existent :

- **érosion hydrique par effet splash** : les gouttes de pluie désagrègent la terre fine en surface des sols. Elles compactent aussi la structure des sols et les rendent moins perméables.
- **érosion hydrique linéaire** : les eaux de ruissellement se concentrent dans des ravines qu'elles creusent progressivement.
- **érosion régressive** : l'alternance du gel et du dégel des

sols ou des roches sur terrains pentus entraînent leur désolidarisation. Les parties détachées tombent ensuite du fait de la gravité.

- **érosion par glissement de terrain** : plus rare, cette érosion est provoquée par des variations de conditions physiques ou biologiques des composantes géologiques et pédologiques entraînant leur chute par plaque.
- **érosion éolienne** : cette érosion est provoquée par le vent. Celui-ci peut emporter les éléments fins situés à la surface du sol.
- **érosion aratoire (anthropique)** : cette forme d'érosion sèche est due au travail mécanique du sol entraînant des déplacements de sol sous l'action de la gravité.
- **érosion anthropique** : érosion provoquée et/ou amplifiée par des travaux et aménagements humains.

Ces processus peuvent conduire à d'importantes pertes en terre fragilisant des infrastructures ou entraînant des ensablements et des envasements des cours d'eau. Sur un sol de montagne de densité apparente de 1 g/cm³ le décapage d'une couche de sol d'un centimètre par le ruissellement entraîne une perte en terre de 10 ton/ha. L'érosion des sols perturbe aussi le fonctionnement du cycle de l'eau. Enfin, elle contribue aussi au déplacement et à la dissémination de certaines espèces végétales.

Créer des zones d'infiltration et de répartition des flux d'eau

- réaliser des fascines revégétalisées sur des zones de concentration du ruissellement, des ravines ou des rigoles ;
- installer des gabions, des cordons pierreux en quinconce et/ou des seuils avec exutoire en V pour ralentir les flux d'eau et favoriser leur infiltration sur les sites exposés à d'importantes forces érosives. Des masques drainants, des rondins ou piquets de bois, peuvent aussi être utilisés pour stabiliser des talus et des bords de berges ;
- semer des graines et installer des ligneux d'origine locale si possible sur les bordures des aménagements pour stabiliser les sols. L'installation de toiles de jute juste après les semis est souvent appropriée pour éviter leur arrachement par les eaux de ruissellement.

Créer des revers d'eau ou des cunettes de réorientation des écoulements d'eau

- définir l'écartement entre les cunettes en fonction des contraintes hydriques, de la pente, de la largeur,

de la surface et de la granulométrie du site ;

- creuser les cunettes en travers de la piste de sorte que leur pente se situe aux alentours de 4%. Au-delà, les cunettes seront soumises à des processus d'érosion, entraînant les matériaux constitutifs. Plus les éléments du sol sont fins, plus les cunettes devront être rapprochées ;
- si nécessaire, installer des collecteurs et exutoires à l'aval des cunettes afin de collecter et répartir les écoulements d'eau. Ces petits aménagements peuvent être réalisés en disposant des pierres ou en creusant des rigoles de déviation des eaux.

Maintien et entretien des aménagements

- si les cunettes sont endommagées par l'érosion, et si la végétation ne permet pas une infiltration suffisante des eaux dans le sol, les curer et les profiler à nouveau.

Sources : Bellini (2015), De Row *et al.* (2018), Dinger (1997), Gysseels *et al.* (2005), Lal (2010), Nannipieri *et al.* (2003), Valentin (2018).



Fig. 15 – Talus et piste de ski très dégradés par l'érosion hydrique

L'abondance et la profondeur des ravines dans le sol témoignent de la sensibilité de certains sites à l'érosion des sols.



Fig. 16 – Cunettes de dérivation de l'eau sur une piste de ski

Les incidences des écoulements d'eau peuvent être maîtrisées en coupant les pistes de ski de cunettes légèrement pentues.

Réduire les écoulements d'eau, favoriser la germination et la croissance des plantules.

A la surface du sol, les graines semées sont soumises à d'importantes forces érosives même lorsque des substances fixatrices sont utilisées lors du semis. Les sols doivent être bien préparés pour stabiliser les semences et créer des conditions favorables à la germination et à l'établissement des plantules. Cette étape est donc décisive pour la réussite de la revégétalisation.

INTÉRÊTS

La préparation du sol permet d'obtenir, si le sol contient des complexes argilo-humiques, un lit de semence fin et grumeleux. Les irrégularités topographiques ainsi créées facilitent l'adhésion des semences. Elles offrent aussi des conditions d'humidité et d'aération des sols favorables à la germination des semences et au développement des plantules. Une réflexion sur les possibilités d'accueil d'une couverture végétale des substrats en place peut parfois permettre d'éviter des préparations supplémentaires comme le chenillage du sol visant à créer des rainures perpendiculaires à la pente pour retenir les semences. Sur des substrats fins et meubles peu pentus, cette pratique n'est pas forcément nécessaire si les semis sont réalisés dans de bonnes conditions. Si les substrats sont peu exposés au ruissellement des eaux, il est alors recommandé de les ensemercer directement après l'épandage de la terre végétale. Afin d'obtenir un lit de semences moins grossier, il est parfois intéressant d'attendre qu'une précipitation tasse légèrement le sol avant le semis en espérant qu'elle ne soit pas trop érosive. L'utilisation de mulch et d'agents fixateurs peuvent alors être

utile pour fixer régulièrement les semences au sol le temps de leur germination. On évite ainsi un compactage du sol et une implantation linéaire des semis dans le bas des sillons. Etant donné la croissance lente des plantes d'altitude, le chenillage du sol entraîne une exposition prolongée des parties hautes des marches façonnées aux intempéries. Sur des substrats finement préparés, le passage d'un rouleau léger juste après le semis peut favoriser une levée quasi complète des plantules et une stabilisation rapide des sols. Pour favoriser la mise en œuvre de modalités de préparation du substrat adaptées, celles-ci peuvent être intégrées dans les cahiers des clauses techniques particulières (CCTP) et dans les documents de consultation des entreprises (DCE).

CONDITIONS OPTIMALES

La couche de terre végétale disponible doit être suffisamment épaisse. Lorsque celle-ci est rare, elle sera si possible épandue de manière à couvrir une surface maximale du substrat à revégétaliser. Ceci permet de réensemencer le site en végétaux et micro-organismes du sol. Dans ce cas, des fertilisations organiques pourront être utilisées pour

maintenir en vie les communautés microbiennes du sol et favoriser la croissance végétale. Pour faciliter un enracinement profond des plantules, la couche de terre végétale doit être meuble et ne doit pas contenir de grosses mottes de terre. Sur des sites soumis à des vents asséchants, elle doit être très légèrement compactée pour éviter le dessèchement des racines.

Equipements nécessaires

- pelle mécanique ou bulldozer pour épandre la terre végétale ;
- chenille ou godet de la pelle mécanique pour créer des rainures ;
- tracteur équipé d'une herse ou d'un autre outil de travail superficiel du sol.

MISE EN ŒUVRE

- préparer les substrats en début du printemps, en fin d'été ou en début d'automne afin d'ensemencer le plus tôt possible après la fin des travaux, dans des conditions climatiques favorables ;
- épandre la couche superficielle de manière homogène (voir fiche 4) ;
- travailler le sol superficiellement si, avant le semis, celui-ci est compacté ;

- si le sol n'est pas grumeleux, créer des rainures superficielles perpendiculaires à la pente pour faciliter la fixation des semences. Ces rainures peuvent être réalisées en passant avec un engin à chenille léger dans le sens de la pente ou avec l'extrémité du godet d'une pelle mécanique sur des talus ;
- apporter si possible une fumure organique. Cet apport améliorera la capacité de rétention en eau et en nutriments des sols limoneux, sableux ou caillouteux. Sur les sols contenant des argiles, la fertilisation organique favorisera la formation de complexes argilo-humiques et d'agrégats. Leur porosité sera ainsi améliorée. Dans tous les cas, cet apport favorise l'activité biologique et la restructuration naturelle des sols. Il compensera les pertes en matière organique liées au remaniement du sol et à l'érosion consécutive ;
- si nécessaire, tasser légèrement le sol reconstitué pour assurer sa stabilité.

Sources : Chambers (1997), Lignier & Rosset (2012), Isselin & Bédécarrats (2004), Urbanska (1997)



Fig. 17 – Epandage d'une couche de terre végétale avant semis



Fig. 18 – Rainures réalisées par le passage des chenilles d'une pelle mécanique



Fig. 19 – Recouvrement végétal d'une parcelle 5 ans après un semis sur sol chenillé

Le chenillage peut limiter l'implantation régulière des végétaux sur les parties compactées qui restent exposées à la battance. Sur sol grumeleux et peu pentu, cette pratique est donc déconseillée.



Fig. 20 – Lézard de Bonnal (*Iberolacerta bonnali*)

La reconstitution de pierriers est importante pour cette espèce endémique.



Fig. 21 – Fructification des graminées d'une nardaie subalpine

2 | La récolte de plantes et de semences en milieu naturel

Nombre de revégétalisations sont opérées avec des mélanges de semences exogènes. L'absence et/ou les prix relativement élevés des mélanges de provenance pyrénéenne sur le marché sont les principales explications. De plus, il est parfois difficile ou coûteux de récolter des semences ou des boutures en milieu naturel.

Différentes techniques de récolte de semences sur des prairies et pelouses permettent pourtant de recréer des associations de plantes locales sur des terrains à revégétaliser. En Italie, en Allemagne,

en Autriche, en Suisse et dans plusieurs régions françaises, on récolte des semences de graminées, de légumineuses et autres dicotylédones sur des communautés végétales semi-naturelles. Plusieurs pratiques de récolte ont été mises en œuvre depuis 2005 sur des prairies et pelouses de montagne des Pyrénées dans le cadre des programmes Ecovars et SOS Praderas.

Sources : Feucht *et al.* (2012), Scotton *et al.* (2012), Koch *et al.* (2014).

Accélérer la formation d'un couvert en introduisant semences, plantules et micro-organismes du sol.

Certains plantes peuvent se multiplier par voie végétative. En décapant le sol et en stockant des touffes au cours des travaux de terrassement d'un site, on peut donc disposer de matériel végétal très utile à sa revégétalisation. Il convient de planifier les tâches pour optimiser cette valorisation de la végétation locale.

INTÉRÊTS

Cette technique permet une restauration très rapide de la couverture végétale. Elle ne peut être utilisée que de manière ponctuelle, en complément de techniques de revégétalisation par semis. Les touffes transplantées constituent des micro-écosystèmes riches en semences, plantules, mousses et micro-organismes du sol. Elles accélèrent la formation de couverts végétaux diversifiés et denses. Elles favorisent l'infiltration des eaux de ruissellement.

CONDITIONS OPTIMALES

La récupération des touffes de végétaux en vue d'une réutilisation (sur le même site ou sur un autre) doit être pensée et organisée dès le début des travaux. Il convient de s'intéresser aux graminées telles que le Gispet (*Festuca eskia*) mais aussi aux légumineuses comme le Trèfle alpin (*Trifolium alpinum*), aux arbustes buissonnants comme la Callune (*Calluna vulgaris*) ou le Rhododendron (*Rhododendron ferrugineum*), toutes ces espèces s'enracinant très bien une fois transplantées. Cette technique est très adaptée sur des pentes modérées où une intervention à la pelle mécanique est possible. Elle est particulièrement indiquée

pour des zones sensibles à l'érosion et/ou d'intérêt paysager. Enfin sa mise en œuvre nécessite une grande expérience et dextérité du pellicier. La manière de découper, d'extraire et de replaquer les touffes de végétaux est à adapter en fonction des végétations, des accès et du relief. Disposer de godets de la taille adaptée est important. Sur des bosses et des talus, il peut être nécessaire d'adapter le matériel pour faire pivoter le godet en sens inverse de manière à prélever les plaques plus efficacement en commençant par le bas.

Equipements nécessaires

- pelle mécanique et godets de taille adaptée à la grosseur des touffes à prélever, transporter, stocker et réimplanter ;
- éventuellement, excavateur équipé d'une pelle frontale pour prélever les touffes ;
- éventuellement, camion pour le transport ;
- bêche, pelle, fourche et brouette pour réaliser ces opérations manuellement.

MISE EN ŒUVRE

- identifier un site permettant de stocker les touffes en limitant leur exposition au vent et au soleil (l'opération est à réaliser avant la sécheresse esti-



Fig. 22 – Dépôt de plaques de pelouse à Gispet

D'une surface proche d'1 m² et bien épaisse, leur réimplantation est quasi immédiate.



Fig. 23 – Pelouses à Gispet restaurée par replaquetage deux ans avant



Fig. 24 – Lande à rhododendrons reconstituée par replaquetage 2 ans avant

Les plaques de végétation sur l'emprise d'un chantier peuvent être précieuses. Bien repositionnées, elles accélèrent la reconstitution du couvert.

vale, et si elle doit l'être l'été, le repositionnement

- des touffes devra se faire au début de l'automne) ;
- arracher des touffes en conservant les racines dans une motte de terre (une épaisseur de sol d'au moins 10 cm), ceci à l'aide du godet de la pelle mécanique ou à la pelle bêche. Les touffes doivent avoir un diamètre de plus de 30 cm pour les arbustes buissonnants. Des touffes de 20 cm de diamètre peuvent suffire s'il s'agit d'un ensemble de graminées et de mousses. Leur taille est en fait à déterminer en fonction du type de végétation sur le site de collecte, des modes de croissance et de l'abondance des espèces ciblées ;
- installer directement les touffes sur le site à revégétaliser, de préférence. Plaquer leur partie

racinaire, en conservant les mottes de terre, sur un substrat bien préparé. Tasser ensuite légèrement les touffes ;

- si stocker est nécessaire, le faire pour une durée limitée : 3 semaines en période sèche (sans précipitations), jusqu'à 4 mois si un arrosage régulier est assuré ;
- stocker les touffes en andains ;
- réimplanter les touffes stockées sur le site à revégétaliser. Plaquer leur partie racinaire sur un substrat bien préparé, en conservant les mottes de terre, et tasser légèrement.

Source: Aradóttir A. [2012], Scotton *et al.* [2012].

Disposer des semences adaptées aux sites à revégétaliser et optimiser la récolte.

Le peu de semences indigènes pyrénéennes disponibles sur le marché incite certains gestionnaires à utiliser du matériel végétal d'origine lointaine, non adapté. La récolte de semences est pourtant possible dans les pelouses et les prairies proches des sites à revégétaliser, à condition de bien les choisir et d'adopter les techniques adéquates. La connaissance de la composition floristique des sites de récolte possibles permet d'identifier les prairies ou les pelouses les plus indiquées. Il est en effet important d'utiliser des semences de plantes caractéristiques des milieux à revégétaliser. Adaptées aux conditions locales, elles s'implanteront durablement et ne déstabiliseront pas la flore locale.

PLUSIEURS FACTEURS PEUVENT INFLUENCER LE CHOIX DES PARCELLES DE RÉCOLTE

- les similitudes de communauté végétale et de sol entre le site source de semences et le site à restaurer. Intervenir si possible sur les mêmes étages altitudinaux est donc important ;
- le potentiel de rendement des végétations intéressantes à récolter. En montagne, 3 grands types de végétations sont intéressants à récolter pour disposer d'associations de plantes caractéristiques des sites restaurés (voir fiches 8a, 8b, 8c).

Afin d'obtenir des mélanges de semences locales et efficaces à un prix raisonnable, des communautés végétales différentes de celles des habitats naturels à reconstituer sont parfois récoltées. Par exemple, des semences récoltées sur des prairies de fauche maigres entre 1000 et 1500 m d'altitude sont parfois utilisées pour revégétaliser des sites aménagés sur des pelouses subalpines. Cette pratique alternative à l'importation de matériel végétal exogène, permet d'obtenir de plus grandes quantités de mélanges de semences. Ces derniers sont de plus constitués d'une grande diversité d'espèces fourragères recouvrant plus rapidement

les sols que les plantes de pelouses subalpines. En limitant les pertes de terre fertile, ces semis facilitent la recolonisation naturelle des parcelles par les espèces et populations de plantes subalpines.

PRÉCONISATIONS GÉNÉRALES POUR LA CONDUITE DE RÉCOLTES

- avant le début des travaux, inventorier sur le site à revégétaliser les espèces végétales et caractériser les habitats naturels ;
- identifier les espèces et les communautés végétales adaptées aux conditions édapho-climatiques du site et aux objectifs de revégétalisation ;
- rechercher des sites de collecte proches du site à revégétaliser, accessibles, situés dans la zone de récolte-utilisation, comportant les espèces et les communautés végétales attendues. Ces sites ne doivent pas comporter de plantes exotiques envahissantes ;
- prendre des précautions réglementaires : avant de se lancer dans une récolte de matériel végétal (boutures, touffes ou semences), il convient de s'assurer que le site n'est pas protégé par la réglementation (cœur de parc national, réserve naturelle, etc.) ou de demander une autorisation

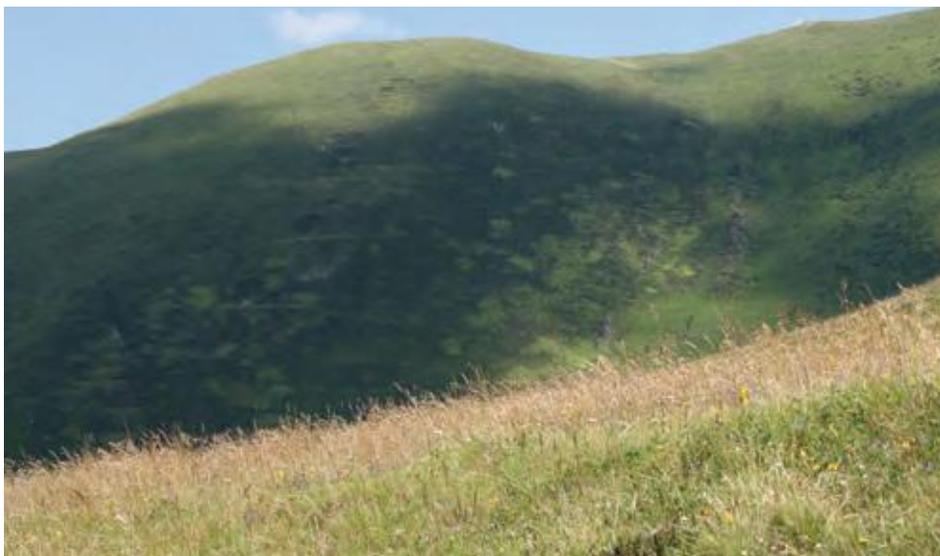


Fig. 25 – Estive riche en épis de graminées, intéressante pour une récolte à la brosseuse

Certaines estives peu pentues et riches en graminées offrent les conditions idéales pour une récolte de semences de régénéralisation.

spéciale à l'autorité compétente. Le collecteur doit bien entendu obtenir l'accord du propriétaire, l'informer des modalités et des objectifs de l'opération. Il peut alors contacter des experts en botanique ou le Conservatoire botanique national pour obtenir un avis complémentaire sur la prairie ou la pelouse pré-identifiée et s'assurer que la collecte ne constituera pas une menace pour la flore locale. Les espèces collectées ne doivent pas contenir d'espèces protégées au niveau national, régional ou départemental [arrêtés ministériels concernant les espèces végétales protégées sur le territoire national (20 janvier 1982), en Aquitaine (8 mars 2012), en Midi-Pyrénées (30 décembre 2004) et en Languedoc-Roussillon (29 octobre 1997)] ;

- éviter de récolter des espèces sans statut de protection mais considérées comme rares ou menacées (inscrites sur des listes rouges nationales ou régionales d'espèces menacées) ;
- éviter de récolter deux années consécutives la même parcelle afin de sécuriser un apport régulier de semences au sol. Si le transfert de foin vert permet d'obtenir la quasi-totalité des semences matures à un instant t sur une parcelle,

les récoltes à la moissonneuse-batteuse et à la brosseuse ne prélèvent pas plus du tiers de la ressource au moment de la récolte. D'autre part, sur des végétations de prairies et de pelouses denses, seule une infime partie des semences qui tombent au sol peuvent s'implanter durablement du fait de la compétition accrue des plantes pérennes. Cette précaution vise donc principalement à limiter les perturbations sur les agro-écosystèmes en limitant notamment la diminution de ces ressources importantes pour la faune et les sols ;

- se concerter avec les gestionnaires des parcelles pour évaluer l'impact des pratiques de récolte sur la ressource fourragère et leur proposer un dédommagement.

Les 3 végétations retenues pour les récoltes ont toutes des intérêts particuliers et des limites. Nous les présentons ci-après.

Sources : Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées (2011), Devillers *et al.* (1991), Golinska *et al.* (2012), UICN France *et al.* (2018).

DESCRIPTION

Ces pelouses sont souvent fermées et denses. Elles composent un ensemble de milieux extrêmement diversifiés, sensiblement différents du point de vue écologique. Elles recouvrent des sols acides reposant sur des roches mères siliceuses ou calcaires décalcifiées entre 1500 et 2500 m d'altitude. En mosaïque avec des landes arbustives et des forêts, leur présence est intimement liée aux pratiques pastorales. Les nardaies sèches sur schistes ou granites du subalpin (*Nardion strictae*, 6230-14) et de la frange supérieure de l'étage montagnard ont un aspect uniforme. Ces formations fermées et denses sont relativement riches en graminées (*Nardus stricta*, *Festuca* du groupe *rubra*, *Agrostis capillaris*, *Avenella flexuosa*...), graminéoïdes et dicotylédones (cf. Annexe 1a et 1b). Elles sont adaptées pour la collecte de semences à la brosseuse et procurent des rendements et une diversité d'espèces plus intéressants que ceux obtenus sur des pelouses à gispet.

INTÉRÊTS

Les nardaies sèches sont particulièrement adaptées pour obtenir des mélanges de semences caractéristiques des végétations de l'étage subalpin. Les semences ainsi obtenues sont particulièrement recommandées pour restaurer des milieux difficiles (sites d'altitude froids, sites sur sols pauvres et asséchants...). La valeur pastorale relativement faible de cette végétation augmente avec la présence de Fétuque rouge et de Trèfle alpin.

CONDITIONS OPTIMALES

Les semences doivent être si possible récoltées à proximité du site à revégétaliser, sur des sols semblables. Les grands sites faciles d'accès, plats, diversifiés en graminées et peu pâturés sont les plus appropriés. Les récoltes sont plus efficaces par temps sec, au moment de la maturité des graminées prédominantes. En effet, le port rampant de plusieurs dicotylédones de ces pelouses limite les possibilités de récolte de ces espèces.

Sources : Cahiers d'habitats, Tome 4. Habitats agropastoraux.



Fig. 26 - Nardaie de l'étage subalpin

DESCRIPTION

La déprise agricole dans les Pyrénées se traduit par la disparition de nombreuses prairies de fauche, en particulier dans les secteurs difficiles d'accès. Ces parcelles sont souvent utilisées pour la pâture ou colonisées par des ligneux. Lorsque les milieux sont maintenus ouverts par les troupeaux, l'abandon de la fauche et des fertilisations favorise l'installation progressive de plantes plus petites de pelouses. Les prairies sont alors composées d'un cortège résiduel de plantes de prairie de fauche plus ou moins enrichi d'espèces de pelouses. En fonction des usages et des conditions écologiques locales, ces milieux herbacés composés d'environ 20 à 40 espèces ont des faciès variables (cf. Annexe 2a et 2b). La taille relativement homogène de ces formations peu exigeantes en nutriments et leur richesse en graminées permettent d'obtenir des associations de plantes très intéressantes pour la restauration écologique.

INTÉRÊTS

Ces végétations sont particulièrement intéressantes pour la récolte de semences. D'une part, elles peuvent être accessibles et planes. D'autre part, la plupart des graminées sont de tailles semblables et productives en graines. Peu denses, ces végétations sont facilement récoltables à la brosseuse ou à la

moissonneuse-batteuse. La hauteur et la forme des infrutescences de diverses dicotylédones sont bien adaptées à une récolte mécanisée. Comme leur fonction fourragère est moins importante, les éleveurs sont rarement opposés à la réalisation de récoltes sur ce type de parcelle. Le développement de ces pratiques contribue à sensibiliser les acteurs de la montagne sur l'intérêt de ces milieux ouverts pour la préservation des ressources végétales herbacées.

CONDITIONS OPTIMALES

Ces prairies de fauche riches en graminées de taille homogène (*Festuca rubra*, *Cynosurus cristatus*, *Briza media*, *Anthoxanthum odoratum*...) donnent les meilleurs rendements. Lorsque ces milieux sont colonisés par des végétations ligneuses, l'entretien par des fauches ou du broyage permet de maintenir les zones récoltables. En fonction des objectifs de revégétalisation (recouvrement du sol ou reconstitution de végétations diversifiées), la récolte peut être effectuée par temps sec au moment de la maturité des graines de graminées ou plus tardivement.

Sources : Balent G. (1991), Balent & Barrué-Pastor (1986), Cruz *et al.* (2010).



Fig. 27 – Prairie maigre de fauche

DESCRIPTION

Ces prairies dédiées à la production de foin sont aussi souvent utilisées comme pâturages pour les troupeaux. Du fait de leur diversité végétale, les deux types de prairies de fauche présentes dans les Pyrénées sont considérés comme habitats naturels d'intérêt communautaire européens.

Il s'agit :

- des prairies de fauche de basse altitude (code Natura 2000 : 6510, code Corine : 38.2). Souvent mésophiles, ces prairies poussent sur des sols peu ou modérément fertilisés appartenant aux alliances de l'*Arrhenatherion* et du *Brachypodio-Centureion* ;
- des prairies de fauche de montagne (code Natura 2000 : 6520, code Corine : 38.31). Ces prairies mésophiles riches en espèces des milieux montagnards et subalpins sont couramment dominées par le Trisetè doré. Ces formations végétales élevées (70 cm) sont denses et riches en espèces. Les graminées sont diverses et accompagnées par de nombreuses dicotylédones (Composées, Ombellifères, Renonculacées, Fabacées, Campanulacées, Scrofulariacées...) qui colorent ces prairies en été (cf. : Annexe 3a et 3b).

INTÉRÊTS

Ces habitats naturels hébergent une grande diversité d'espèces végétales, favorable à l'accueil d'une forte diversité d'insectes (hyménoptères et autres insectes pollinisateurs, orthoptères, coléoptères et araignées) et d'oiseaux. L'agriculture de montagne en dépend aussi car ces prairies produisent des ressources fourragères et mellifères. L'intégration de ces habitats dans des environnements de pelouses naturelles et de milieux forestiers ou rocheux leur confère un intérêt paysager non négligeable. Les mélanges de semences obtenus sur ces milieux sont donc très intéressants à plusieurs égards pour la reconstitution de couvertures herbacées en montagne. Ils sont adaptés pour la stabilisation des sols car ils contiennent de grandes graminées à croissance rapide. Riches en plantes fourragères, ils permettent aussi de recréer des milieux faciles à entretenir par de la pâture ou de la fauche. D'autre part, la conduite de récoltes de semences sur ces prairies permet de sensibiliser le monde agricole sur l'importance de ces végétations comme réservoirs de biodiversité végétale, potentielle source complémentaire de revenus.



Fig. 28 – Prairie de fauche mésophile fertilisée

CONDITIONS OPTIMALES

La végétation des prairies de fauche de montagne doit être riche en plantes produisant des inflorescences à une hauteur intermédiaire. Les grandes graminées comme le dactyle ou la houlque laineuse limitent le développement des autres espèces et compliquent les récoltes du fait de leur taille et de leur feuillage dense. Sur ce type de végétation, il est conseillé de recourir à la technique de transfert

de foin vert. Sinon, il est recommandé d'élever suffisamment la barre de coupe de la moissonneuse-batteuse ou la brosse de la brosseuse pour ne récolter que la strate supérieure de végétation. Bien que la diversité de semences soit alors moindre, ce réglage permet d'éviter que les tiges et les feuillages prélevés bloquent les machines.

Sources : Corriol *et al.* (2010), Cruz *et al.* (2010), Gruber (1986).

Introduire des associations de plantes fraîchement récoltées et créer un mulch facilitant la germination.

Le recours au foin des prairies environnant le site à revégétaliser est une technique de semis très agroécologique du fait de l'apport d'un mulch complémentaire. Elle est particulièrement adaptée pour des surfaces aménagées ou dégradées peu pentues et situées à proximité de prairies de fauche. Pour éviter le pourrissement des graines par fermentation du foin ou la chute de celles-ci pendant le transport, le transport et l'épandage du foin doivent être réalisés juste après la fauche.

INTÉRÊTS

Cette technique, à mettre en œuvre en une ou deux journées, est idéale pour recréer des prairies et des pelouses naturelles diversifiées. Elle permet de transférer de 60 à 95 % des graines de la prairie récoltée. Le foin vert contient de 0,5 à 2 % de graines, le reste étant constitué de tiges et de feuilles. En réglant la barre de coupe relativement haut, cette technique permet d'obtenir un matériel végétal pouvant contenir plus de 10% de semences (cas d'une prairie dominées par des graminées de même hauteur).

Les taux de germination observés en laboratoire, pour des mélanges de semences issus de foin vert varient, pour une période étalée sur un mois, de 35 à 75 %. En milieu naturel les conditions sont plus favorables à la levée de dormance des espèces au fil du temps. Le foin étendu sur le sol à revégétaliser le protège de l'érosion et des hautes températures. Il favorise la germination des graines qu'il contient et la croissance des plantules. La dose de semis peut ainsi être diminuée de moitié par rapport à celle utilisée pour des semis sans apport de mulch. Cette technique permet de transférer sur le substrat à revégétaliser, de la matière organique et des micro-organismes qui favorisent les cycles

biogéochimiques. C'est la plus adaptée pour restaurer des couverts végétaux fonctionnels sur des sols sableux, pauvres ou légèrement compactés et/ou exposés au dessèchement.

CONDITIONS OPTIMALES

Le transfert de foin vert est intéressant lorsque les sites de récolte et les sites d'utilisation sont proches l'un de l'autre, peu pentus et peu accidentés, et accessibles pour les machines agricoles. Cette technique peut alors être mise en œuvre facilement en s'appuyant sur des éleveurs proches, disposant du matériel et du savoir-faire nécessaires. Utiliser de petites bottes de foin facilitera le transport manuel. Les boules rondes de taille moyenne ont pour avantage de pouvoir être facilement déroulées pour ensemercer rapidement les sites.

Les prairies et les pelouses de récolte riches en infrutescences de graminées et de dicotylédones (200 à 600/m²) donnent de meilleurs rendements. Elles devront avoir été peu pâturées durant les trois mois qui précèdent la fauche. Le sol du site à revégétaliser sera si possible ameubli avant le semis, dans le but de favoriser la fixation biologique du foin et la levée des plantules.



Fig. 29 – Ramassage du foin à la fourche par les salariés d’une association d’insertion
Le produit de la fauche est à la fois un stock de semences et un mulch avantageux.

Equipements nécessaires

- râteau, pelle mécanique ou tracteur équipé d'une herse pour préparer le site à revégétaliser ;
- faux, motofaucheuse ou tracteur équipé d'une faucheuse ;
- fourche ou andaineuse pour rassembler les foins ;
- ramasseuse-presse à botte de foin carrée, ou à balles rondes (round-baller) pour conditionner les andains ;
- tracteur équipé d'un chargeur de foin et d'une remorque pour le transport ;
- épandeur à fumier, pailleuse ou fourche pour l'épandage ;
- sur les endroits ventés, disposer du bois, des cailloux ou des mottes de terre pour stabiliser la couche de foin. Une pluie ou un arrosage du foin peuvent s'avérer suffisants.

MISE EN ŒUVRE

- évaluer la surface du site de récolte en fonction de la végétation recherchée, des rendements estimés et des besoins en semences. Le ratio entre le site de récolte et le site à revégétaliser dépend de la proportion de graines contenues dans la biomasse végétale récoltée. Il peut être de 0,5 à 0,9 pour les foins épais et riches en graines, et proche de 1,2 pour des pelouses peu denses en infrutescences (cf. Tab. 1) ;
- lorsque les prairies et les pelouses intéressantes pour une collecte sont pâturées, évaluer les possibilités de limiter la pression de pâturage en se concertant avec les éleveurs (changement des

parcours animaux ou mise en défens temporaire des parcelles) ;

- dans le cadre de la concertation avec les éleveurs, proposer une indemnisation qui tienne compte des pertes de fourrage occasionnées pour les utilisateurs des prairies et pelouses concernées ;
- si le sol du site à revégétaliser est compacté en surface, commencer par l'ameublir au râteau ou à la herse sur 5 à 10 cm de profondeur. L'objectif est d'obtenir un lit de semence plus fin et grumeleux ;
- faucher 4 à 5 jours avant que les graines des principales graminées de la végétation ne soient à maturité et andainer rapidement le foin ;
- charger directement le foin en vrac sur une remorque (sans le laisser sécher) ou le presser avec une botteuse à bottes carrées ou un round-baller ;
- le plus rapidement possible après la récolte, étaler le foin sur 3 à 8 cm d'épaisseur sur le site à revégétaliser. Pour obtenir rapidement une couverture végétale dense en altitude, le volume de foin épandu doit permettre un semis de graines supérieur ou égal à 2 g/m².

Sources : Huc *et al.* (2018), Kirmer *et al.* (2012), Krautzer *et al.* (2006), Krautzer *et al.* (2012), Mezard (2017), Scotton *et al.* (2009), Scotton *et al.* (2012).



Fig. 30 – Aspect du mélange de foin vert après étalement et séchage

En séchant une grande diversité de semences finissent leur maturation et tombent au sol

Type de végétation	Performances environnementales			Performances techniques							
	Nb d'espèces inventoriées	Nb d'espèces récoltées	% d'espèces récoltées	Proportion de semences récoltées sur la masse des semences matures de la parcelle (%)	% de semences pures dans le foin vert (frais)	Nb d'observations de rendements réalisées	Rendement de semences pures (kg/ha)	% germination des semences	Rendement de semences pures et prêtes à germer (kg/ha)	Surface à récolter pour semer 1 ha à la dose de 40 kg/ha (ha)	Temps de récolte pour obtenir 1 kg de semences (h)
Pelouses à Nard (1700 à 2200 m d'altitude)	21	11	52	90-95	0,52	2	63	35	22	0,6	1,5 à 4,5
	à 34	à 23	à 68		à 0,62		à 65	à 43	à 28	à 0,7	
Prairies maigres de fauche (1300 à 1700 m d'altitude)	28	25	78	90-95	0,76	4	91	65	59	0,4	0,3 à 4,5
	à 36	à 28	à 89		à 1,89		à 101	à 75	à 76	à 0,9	
Prairies de fauche fertilisées (1300 à 1700 m d'altitude)	31	27	54	90-95	0,57	2	133	52	76	0,2	0,9 à 3,3
	à 50	à 33	à 66		à 0,92		à 170	à 73	à 156	à 0,6	

Tab. 1 – Performances techniques et environnementales des récoltes par fauche de foin vert

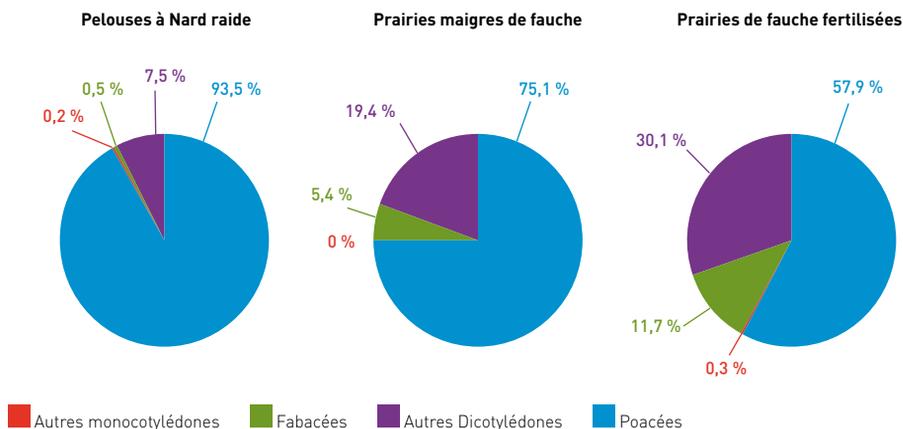


Fig. 31 – Proportions des différents groupes de plantes dans les mélanges de semences obtenus par transfert de foin vert (Hautes-Pyrénées)

Analyses réalisées sur 2 échantillons de 1 gr. de mélanges de semences obtenus sur chacun des 3 types de végétation. Les proportions des principales espèces récoltées sont présentées en annexe 4.



Fig. 32 – Développement des plantules après le transfert de foin vert d'une végétation de prairie de fauche de montagne
Trois semaines après avoir été étendu, le mulch constitué par le foin laisse apparaître les premières plantules.

Récolter différentes associations de plantes sur divers terrains.

La brosseuse est une machine sur trois roues, relativement légère et souple, que l'on tracte avec un quad, un véhicule tout terrain ou un tracteur. Elle est équipée d'un axe sur lequel tourne en sens inverse une brosse en hérisson de 1,2 m de longueur, parfois plus. Celle-ci est composée de plusieurs bandes de tiges de plastique de 20 à 30 cm de longueur, à la fois fines et dures, et étroitement rapprochées. Selon les modèles, la hauteur de la brosse peut être ajustée à celle de la végétation. Les graines matures des épis et des inflorescences sont arrachées pendant la rotation de la brosse et sont ensuite propulsées dans le caisson arrière de la machine. Cette pratique adaptée aux terrains légèrement pentus et/ou irréguliers est utilisée sur différentes végétations herbacées des Pyrénées depuis 2009 (cf. carte ci-dessous).

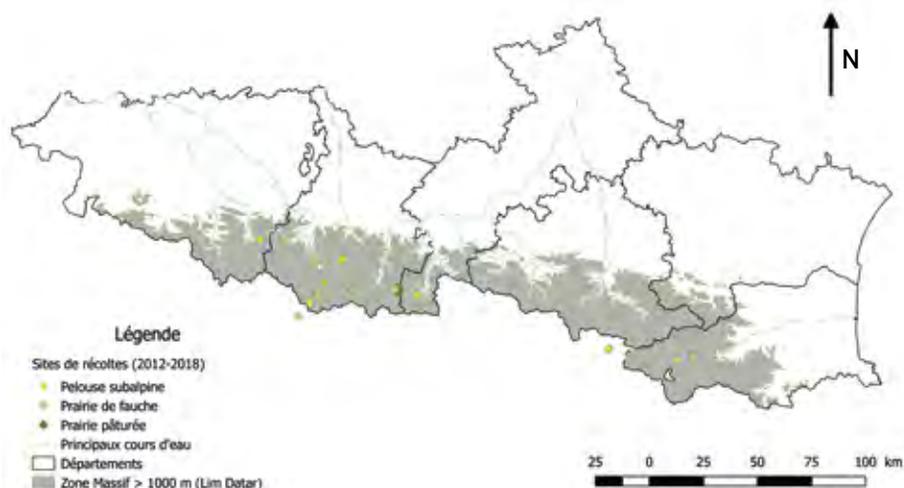


Fig. 33 – Localisation des sites de récoltes de semences à la brosseuse

INTÉRÊTS

Cette technique permet de récolter en mélange les semences matures de plantes des prairies et des pelouses naturelles : 20 à 75 % des graines d'une parcelle, principalement les graminées. Elle permet donc de recréer des communautés de plantes proches de celles des parcelles récoltées. La « brosseuse » est particulièrement adaptée à la montagne : elle fonctionne sur des terrains pentus (jusqu'à 20%) et présentant des irrégularités topographiques. En récoltant seulement les graines et des débris végétaux, cette pratique ne diminue que faiblement la ressource fourragère. Toutefois, les roues des machines couchent 15 à 30% du foin qui devient alors plus difficile à récolter.

Les semences collectées peuvent être utilisées directement, ou bien tamisées, séchées et stockées. Dans de bonnes conditions, les graines pourront ainsi être stockées pendant plus de 2 ans. Au-delà, leur capacité germinative diminuera. Si un tri est opéré, les semis pourront être réalisés avec un hydroseeder ou au semoir agricole. Sinon, le semis devra se faire à la main.

Pour l'achat d'une « brosseuse », l'investissement est de l'ordre de 9000 € HT (valeur en 2018). Il est aussi possible de faire construire ce type de matériel en les adaptant aux objectifs et contextes des récoltes envisagées.

CONDITIONS OPTIMALES

La zone de récolte doit être facilement accessible et sa pente doit être faible. Les prairies et les pelouses naturelles sélectionnées doivent être riches en épis de graminées. Les rendements en semences obtenus sont plus intéressants sur les sites peu ou pas pâturés l'année de la récolte. Les parcelles doivent être bien couvertes de graminées dont les épis s'élèvent entre 30 et 60 cm au-dessus du sol. Plus la hauteur des infrutescences est irrégulière, moins le rendement est élevé car seules celles situées au niveau ou légèrement plus haut que l'axe de la brosse sont récoltées. Dans les Pyrénées, les meilleurs rendements ont été obtenus sur d'anciennes prairies de fauche situées à 1700 m d'altitude (49 kg/ha de semences pures).

Equipements nécessaires

- « brosseuse » pour collecter les semences ;
- quad, véhicule tout terrain ou petit tracteur pour tracter la « brosseuse » ;
- lieu et matériel de séchage, de tri et de stockage des semences.

MISE EN ŒUVRE

- évaluer la surface du site de récolte en fonction de la végétation recherchée, des rendements estimés et des besoins en semences (tenir compte de la différence de rendement selon les types de végétation). Le ratio entre le site de récolte et le site à revégétaliser dépend de la richesse en graines facilement « brossables » dans les prairies et les pelouses récoltées. Il peut être de 1,6 à 2,4 pour les prairies de fauches riches en graminées et de 3,1 à 6 pour les pelouses peu denses en épis ;
- lorsque les prairies et les pelouses intéressantes à récolter sont pâturées, évaluer les possibilités de limiter la pression de pâturage en se concertant avec les éleveurs (changement des parcours des animaux ou mise en défens temporaire des parcelles) ;
- dans le cadre de la concertation avec les éleveurs, proposer une indemnisation qui tienne compte des pertes de fourrage occasionnées pour les utilisateurs des prairies et pelouses concernées ;
- identifier les dates auxquelles les semences recherchées arriveront à maturité (fermeté et couleur des graines) et fixer les dates de récolte une ou deux semaines en amont.

Attention :

- pour obtenir le maximum de graines en un seul passage, choisir une période de récolte correspondant à la maturité des semences des espèces prédominantes ;
- pour obtenir des semences représentatives de la diversité des espèces présentes dans les prairies et pelouses, identifier les dates de maturité des différents groupes de végétaux et procéder à plusieurs récoltes sur la parcelle (des récoltes manuelles ou des multiplications de semences difficiles à brosser peuvent être envisagées pour compléter les mélanges) ;
- organiser la récolte par temps sec, après évaporation de la rosée du matin ;

- suivre les consignes d'utilisation fournies par les constructeurs. La vitesse de passage, la hauteur et le régime de rotation de la brosse doivent être ajustés en fonction de la densité et de la hauteur des couvertures végétales ;
- tamiser et faire sécher 3 à 4 jours les semences sur des bâches ou des tissus en plein air les jours

des récoltes et dans un local sec et aéré les jours suivants. Si la couche obtenue est épaisse, la remuer quotidiennement.

Sources : Koch *et al.* (2014), Krautzer *et al.* (2012), Mézard (2017), Scotton *et al.* (2009), Scotton *et al.* (2012).



Fig. 34 – Mélange de semences obtenu à la brosseuse

Des parties d'inflorescences et d'infrutescences sont aussi collectées lors du passage de la brosseuse.

Type de végétation	Performances environnementales			Performances techniques							
	Nb d'espèces inventoriées	Nb d'espèces récoltées	% d'espèces récoltées	Proportion de semences récoltées sur la masse des semences matures de la parcelle (%)	% de semences pures dans le produit de récolte après tamisage	Nb d'observations de rendements réalisées	Rendement de semences pures (kg/ha)	% germination des semences	Rendement de semences pures et prêtes à germer (kg/ha)	Surface à récolter pour semer 1 ha à la dose de 80 kg/ha (ha)	Temps de récolte pour obtenir 1 kg de semences (h)
Pelouses à Nard (1700 à 2200 m d'altitude)	21	11	52	20	52	16	13	35	5	3,1	0,2 à 0,6
	à 34	à 23	à 68	à 38	à 62		à 26	à 43	à 11	à 6	
Prairies maigres de fauche (1300 à 1700 m d'altitude)	28	18	58	21	58	23	21	65	13	1,6	0,12 à 0,2
	à 36	à 21	à 64	à 42	à 78		à 49	à 75	à 37	à 3,9	
Prairies de fauche fertilisées (1300 à 1700 m d'altitude)	31	17	34	14	46	8	20	52	10	2,4	0,24 à 0,40
	à 50	à 28	à 56	à 24	à 54		à 34	à 73	à 25	à 4	

Tab. 2 - Performances techniques et environnementales des récoltes à la brosseuse

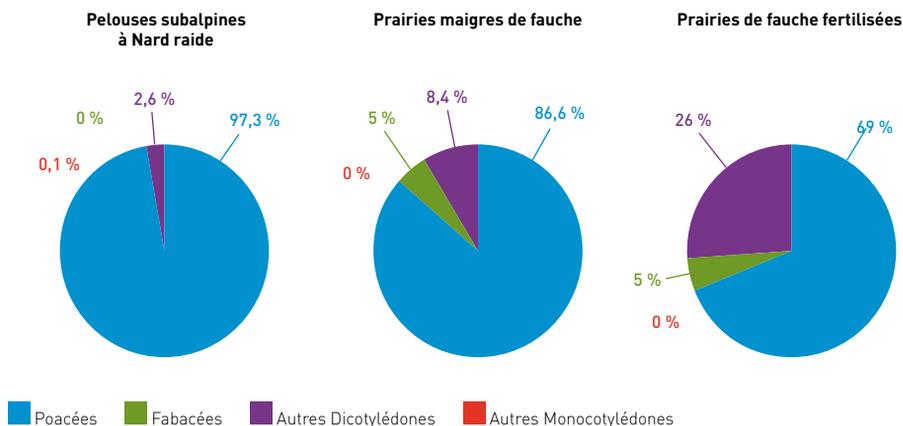


Fig. 35 - Proportions des différents groupes de plantes dans les mélanges de semences obtenus à la brosseuse (Hautes-Pyrénées)

Analyses réalisées sur 2 échantillons d'1 gr. de mélanges de semences obtenus sur 2 parcelles de chacun des 3 types de végétation. Les proportions des principales espèces récoltées sont présentées en annexe 5a.

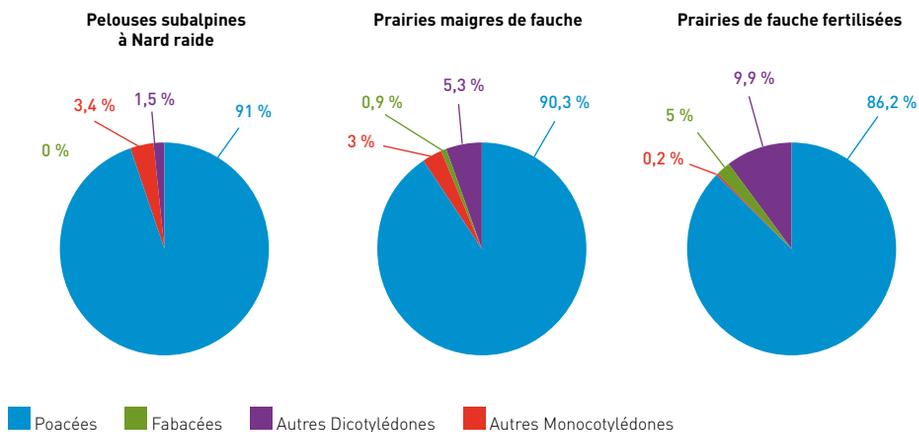


Fig. 36 – Proportions des différents groupes de plantes dans les mélanges de semences obtenus à la brosseuse (Pyrénées-Orientales)

Analyses réalisées sur 2 échantillons d'1 gr. de mélanges de semences obtenus sur 1 parcelle de chacun des 3 types de végétation.

Les proportions des principales espèces récoltées sont présentées en annexe 5b.



Fig. 37 – Récolte de semences sur une pelouse de Peyragudes

Au domaine skiable de Peyragudes, des parcelles sont chaque année mises en défens en accord avec les éleveurs pour qu'une brosseuse récolte des semences.

Obtenir des mélanges de graines diversifiés sur des pelouses ou des prairies suffisamment planes.

La majorité des semences des graminées des prairies peuvent être récoltées à l'aide des moissonneuses-batteuses, pourvu que des réglages adaptés à la collecte de petites semences soient réalisables. Lorsqu'elle est possible, cette technique peut donner de bons rendements et des mélanges de semences relativement propres.

INTÉRÊTS

Le premier intérêt de cette technique, c'est l'utilisation de matériel agricole sur une surface de récolte accessible et plane. Sa productivité est la plus élevée de tous les modes de récolte [4 à 6 heures de collecte/ha, rendements élevés]. Les semences peuvent être utilisées directement ou séchées, stockées pour être semées ultérieurement. Dans de bonnes conditions, elles pourront être conservées pendant plus de 2 ans. Au-delà, leur capacité germinative commence à diminuer. Les semis se feront à l'hydroseeder, au semoir après tri ou manuellement.

Cette technique permet de recréer, sur les substrats à revégétaliser, des communautés de plantes proches de celles des parcelles de récolte : 35 à 73 % des semences matures de diverses plantes peuvent être ainsi récoltées.

CONDITIONS OPTIMALES

La zone de récolte doit être facilement accessible, sa pente faible et sa surface très plane. Les prairies et les pelouses naturelles sélectionnées doivent être riches en épis de graminées et autres infrutescences [200 à 600 épis/m²]. Les meilleures

récoltes se font dans les parcelles peu ou pas pâturées. Les prairies de fauche permanentes sont des végétations très intéressantes pour obtenir des semences diversifiées en quantité intéressante. En montagne, il existe peu de prairies et pelouses exploitables avec des moissonneuses-batteuses standards. Des modèles réduits agricoles adaptés à des récoltes de semences de plantes à petites graines peuvent néanmoins être utilisés. Plus légers et compacts, ils peuvent être transportés sur des remorques classiques. Ils tassent moins les sols.

Equipements nécessaires

- moissonneuse-batteuse standard pour le blé avec possibilité de réglage de la ventilation ;
- petite moissonneuse-batteuse conçue pour des récoltes de semences de plantes à petites graines (maraîchères, fourragères ou horticoles) ou des expérimentations agricoles.

MISE EN ŒUVRE

- évaluer la surface du site de récolte en fonction de la végétation recherchée, des rendements estimés et des besoins en semences (tenir compte de la différence de rendement en fonction des végétations). Le ratio entre le site de récolte et

le site à revégétaliser dépend de la richesse en graines facilement « moissonnables » dans les prairies et les pelouses récoltées. Il peut être de 1,5 à 1,7 pour les prairies maigres de fauche riches en graminées et de 2,3 à 3,4 pour des prairies de fauche fertilisées ;

- lorsque les prairies et les pelouses intéressantes à récolter sont pâturées, évaluer les possibilités de limiter la pression de pâturage en se concertant avec les éleveurs (changement des parcours animaux ou mise en défens temporaires des parcelles) ;
- dans le cadre de la concertation avec les éleveurs, prendre en compte les pertes de fourrage éventuelles et les dégradations occasionnées par les roues de la moissonneuse-batteuse ;
- adapter la hauteur de coupe, la vitesse de battage, les mailles des grilles de tamisage et la ventilation à la taille réduite et à la faible densité des semences ;

- récolter la prairie en un seul passage, par temps sec, lorsque la quantité et la hauteur de la végétation permettent un battage optimisé des semences ;
- lorsque la végétation est dense et haute, surélever la barre de coupe à 20 ou 30 cm (pour ne pas bloquer le fonctionnement d'une petite moissonneuse-batteuse). Seules les graines situées à plus de 20 cm de hauteur seront alors récoltées ;
- lorsque la végétation est dense avec des graines légères difficiles à extraire des épis lors du battage, faucher la végétation à 10 cm de hauteur juste avant la maturité des semences des plantes à récolter et l'andainer juste après ;
- récolter le foin à la moissonneuse-batteuse un ou deux jours plus tard ;
- sécher les graines à l'air libre dans un endroit sec et sombre.

Sources : Scotton *et al.* (2009, 2012), Mézard, (2017).



Fig. 38 – Récolte de semences à la moissonneuse-batteuse

Le rendement est assez élevé mais la moissonneuse-batteuse ne peut être utilisée que sur des terrains plats et peu accidentés.

Type de végétation	Performances environnementales					Performances techniques					
	Nb d'espèces inventoriées	Nb d'espèces récoltées	% d'espèces récoltées	Proportion de semences récoltées sur la masse des semences matures de la parcelle (%)	% de semences pures dans le produit de récolte	Nb d'observations de rendements réalisées	Rendement de semences pures (kg/ha)	% germination des semences	Rendement de semences pures et prêtes à germer (kg/ha)	Surface à récolter pour semer 1 ha à la dose de 80 kg/ha (ha)	Temps de récolte pour obtenir 1 kg de semences (h)
Prairies maigres de fauche (1300 à 1700 m d'altitude)	28 à 36	21 à 24	67 à 73	48 à 55	61 à 86	2	46 à 52	65 à 75	30 à 39	1,5 à 1,7	0,16 à 0,22
Prairies de fauche fertilisées (1300 à 1700 m d'altitude)	31 à 50	18 à 26	36 à 52	21 à 25	61 à 79	2	24 à 34	52 à 73	12 à 25	2,3 à 3,4	0,20 à 0,35

Tab. 3 – Performances techniques et environnementales des récoltes à la moissonneuse-batteuse

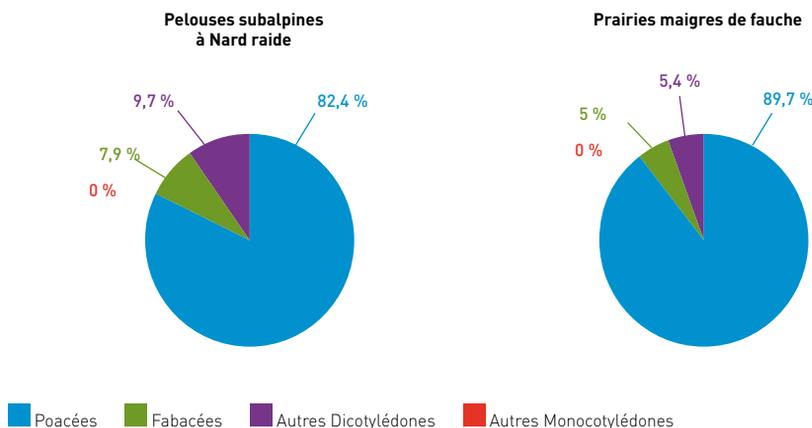


Fig. 39 – Proportions des différents groupes de plantes dans les mélanges de semences obtenus à la moissonneuse-batteuse (Hautes-Pyrénées)

Analyses réalisées sur 2 échantillons d'1 gr. de mélanges de semences obtenus sur chacun des 2 types de végétation. Les proportions de principales espèces récoltées sont présentées en annexe 6.

Identifiez la technique la plus adaptée par rapport à vos objectifs et à vos contraintes.

Plusieurs techniques de récoltes existent (cf. fiche 9, 10 et 11). Elles sont plus ou moins adaptées selon la géographie des territoires et les caractéristiques du mélange de semences souhaité. Un diagnostic du contexte local est donc nécessaire pour évaluer leur pertinence respective.

INTÉRÊTS

Le choix d'une technique de récolte dépend du contexte écologique et socio-économique locale. Il s'agit de déterminer un compromis intéressant entre les caractéristiques et la diversité floristique du mélange de semences et le coût de la récolte.

CONDITIONS OPTIMALES

Les semences doivent être récoltées à proximité du site à revégétaliser, sur des sols semblables. Il s'agit en effet de conserver les compositions végétales et la spécificité génétique des plantes. Les sites faciles d'accès, peu pentus et peu pâturés sont les plus appropriés. Les prairies riches en graminées de taille moyenne et homogène donnent les meilleurs rendements. Disposer de matériels de récolte diversifiés permet d'opter sur chaque site pour la technique la plus performante sur les plans environnementaux et/ou économiques.

MISE EN ŒUVRE

- déterminer des parcelles adaptées pour des récoltes mécanisées ;
- identifier les différentes techniques de récolte pouvant être adaptées et évaluer leur faisabilité

technico-économique (disponibilité locale et coûts d'utilisation du matériel, personnes ressources pour la réalisation des travaux, production attendue, intérêts écologiques des semences, incidences sur l'organisation du chantier de revégétalisation) ;

- choisir si possible une des trois techniques recommandées (cf. fiches 9, 10, 11). La récolte par moissonneuse-batteuse et le transfert de foin par fauche mécanisée sont efficaces sur des prairies de fauche accessibles et planes. Plus facile à faire circuler sur des terrains pentus et irréguliers, la brosseuse permet de récolter des pelouses subalpines et les prairies maigres plus facilement ;
- estimer les surfaces des sites à revégétaliser et à récolter (cf. tableaux des fiches 9, 10 et 11).

Sources : Kirmer *et al.* (2012), Koch *et al.* (2014), Krautzer *et al.* (2006), Mézard (2017), Scotton *et al.* (2012).

TECHNIQUES	SITUATIONS ADAPTÉES	CRITÈRES D'ÉVALUATION	OBSERVATIONS
Transfert de foin vert	Zones peu pentues. Prairies de fauche et pelouses riches en graines.	Quantité et qualité du mélange de semences	++ Plus de 90% des semences disponibles sont récoltées sur prairie (rendement de 63 à 200 kg/ha). Grande diversité de plantes récoltées (11 à 33 espèces). Apport d'un mulch et de micro-organismes sur le site receveur.
		Ressource fourragère	-- Réduction de la ressource fourragère l'année de fauche.
		Facilité de récolte	- Masse et volume de foin à faucher et collecter élevés.
		Durée des travaux	- Fauche, andainage, conditionnement (optionel), chargement, transport et épandage du foin à réaliser sur 1 ou 2 jours pour éviter le pourrissement du foin et la chute de graines.
		Coût/kg	+ Les travaux peuvent être réalisés avec du matériel agricole localement disponible. Temps de mise en œuvre très variable en fonction des techniques et du matériel utilisés.
Récolte des semences avec une brosseuse	Zones peu pentues. Prairies maigres de fauche ou pelouses riches en épis de graminées.	Qualité du matériel végétal	+ De 14 à 42 % des semences disponibles matures sont récoltées sur pelouses et prairies (rendements de 5 à 49,5 kg/ha). Diversité d'espèces obtenues assez élevée (11 à 28 espèces).
		Ressource fourragère	+ Seules les graines matures sont récoltées. La qualité fourragère du foin après récolte est plus faible qu'en début d'épiaison et une partie de celui-ci est couché au sol.
		Facilité de récolte	++ Circulation possible sur terrains pentus avec un quad, adapter les réglages et la conduite au type de végétation.
		Durée des travaux	+ Possibilité d'adapter la vitesse en fonction de la richesse en épis. Dépend de la densité et de la hauteur du couvert végétal (de 3 à 9 h/ha). Tamiser les semences pour des semis à l'hydroseeder ou au semoir et les laisser sécher sur une durée de 3 jours.
		Coût/kg	++ Machine relativement peu coûteuse, légère et facile à déplacer. La récolte est assez rapide.
Récolte des semences avec une moissonneuse-batteuse	Zones planes et très peu pentues, prairies de fauche étendues et facilement accessibles.	Quantité et qualité du mélange de semences	+ De 21 à 55 % des semences disponibles matures sont récoltées sur prairies (rendements de 24 à 52 kg/ha). Diversité de plantes récoltées assez élevée (18 à 26 espèces)
		Ressource fourragère	- Seules les graines matures sont exportées. Le foin fauché sur la parcelle peut être utilisé mais sa qualité fourragère est plus faible qu'en début d'épiaison.
		Facilité de récolte	+ Adapter les réglages et la conduite.
		Durée des travaux	+ Un passage ou deux (fauche puis récolte et battage) si la végétation est dense et humide. Dépend de la densité et de la hauteur du couvert végétal (de 4 à 8 h/ha). Tamiser les semences pour des semis à l'hydroseeder ou au semoir et les laisser sécher sur une durée de 3 jours.
		Coût/kg	- Elevé. Dépend du prix d'achat ou de location de la machine, des coûts de transport, des surfaces à récolter.

Très intéressant	++	Intéressant	+	Moyennement intéressant	-	Peu intéressant	--
------------------	----	-------------	---	-------------------------	---	-----------------	----

Tab. 4 – Résumé des avantages et inconvénients des différentes pratiques

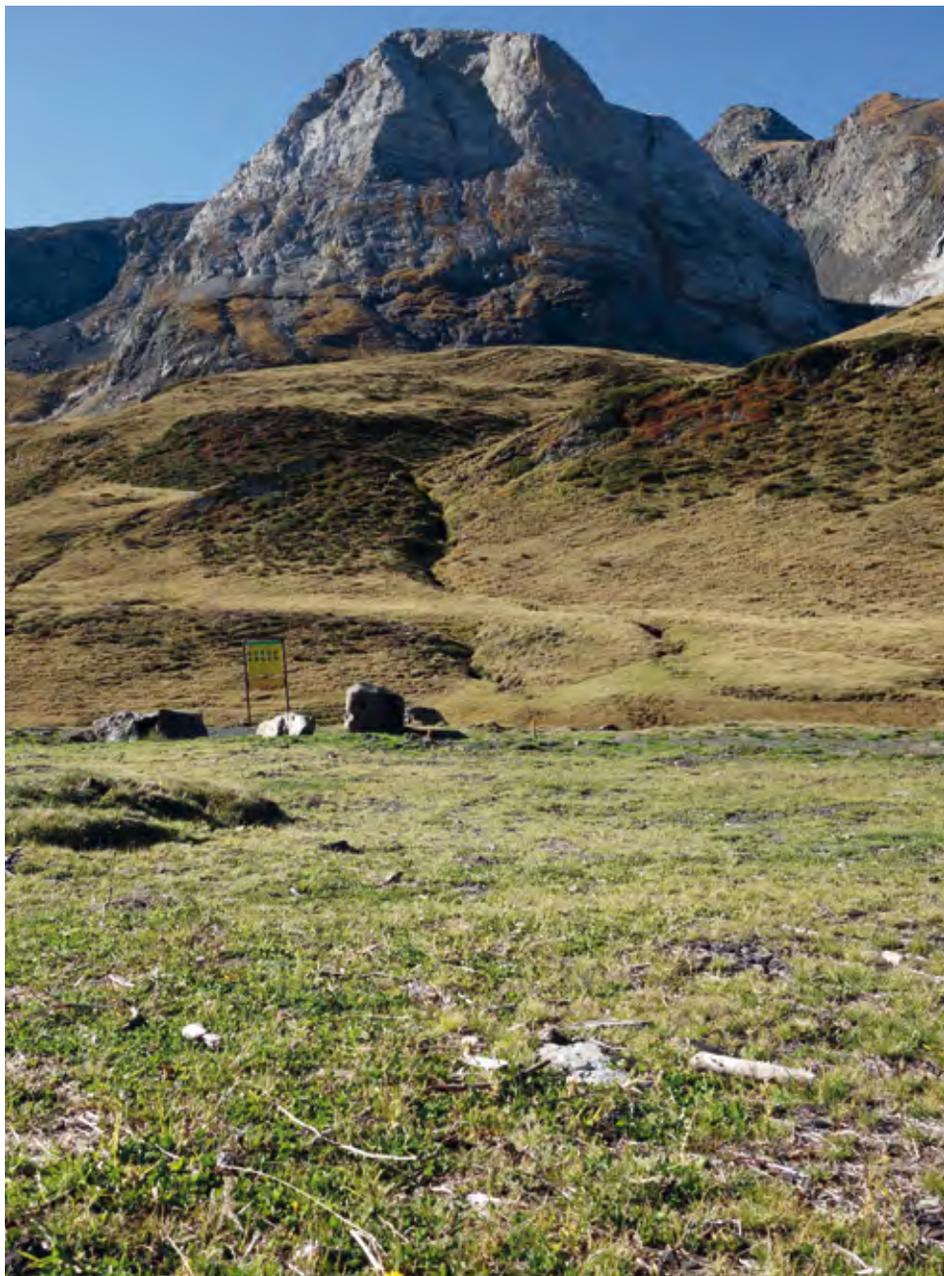


Fig. 40 – Couverture végétale obtenue un an après un semis de graines récoltées à la brosseuse suivi d'un épandage de foin sec



Fig. 41 – Pie grièche méridionale

La restauration de pelouses sèches acidoclinales en Cerdagne contribue au maintien de son habitat naturel.

3 | **Les semis et leur fertilisation, la protection du couvert végétal**

Après une préparation soigneuse du substrat, les techniques et les produits d'ensemencement devront être adaptés aux caractéristiques écologiques de chaque site. Sur terrains pentus, ensoleillés et fortement exposés à l'érosion, on privilégiera l'utilisation de filet ou de mulch à fibres végétales longues et collantes. Ces matériaux favorisent la fixation des semences et le développement des plantules, en contribuant à rendre le sol plus humide et à l'enrichir en matière organique. Les espèces végétales utilisées alors doivent être capables de pousser sur des sols pauvres et secs et de stabiliser le talus avec un système racinaire puissant. Sur un terrain moins pentu, au

sol plus fertile et frais, les semis ne nécessiteront pas forcément le recours à des agents fixateurs ou à des fertilisants. D'autre part, les jeunes plantes étant particulièrement sensibles aux gelées, à l'érosion ou l'engorgement des sols, au pâturage et au piétinement, les périodes de semis et les mesures de protection des parcelles sont aussi des facteurs déterminants. Après chantier, une gestion appropriée du site sera nécessaire pour sécuriser le bon développement de la végétation implantée. La mise en place de suivis est intéressante pour évaluer les facteurs de réussite et d'échec de l'opération, et au besoin adapter la gestion du site.

Des semences aux différences génétiques marquées, entre l'ouest et l'est des Pyrénées

En montagne, l'utilisation de semences de plantes indigènes (cf. : Glossaire) est un des facteurs déterminants de la réussite des revégétalisations. La situation géographique des Pyrénées, au sud-ouest de l'Europe, entre l'océan Atlantique et la mer Méditerranée, et sa diversité géologique favorisent une grande variété de conditions pédoclimatiques et *a fortiori* d'écosystèmes. En fonction des gradients climatiques, entre climat océanique et méditerranéen, les Pyrénées peuvent être divisées en plusieurs territoires biogéographiques.

Dans le cadre de la démarche Ecovars ayant donné lieu à la création de la marque «Pyrégraine de néou», deux zones de récolte-utilisation de végétaux ont été identifiées dans les Pyrénées. Cette segmentation vise à prendre en compte la structuration de la diversité génétique observée pour trois espèces : le Gispet (*Festuca eskia*), la Fétuque de Gautier (*Festuca gautieri*) et le Trèfle alpin (*Trifolium alpinum*), structuration qu'on a pu également constater depuis pour le Sapin pectiné (*Abies alba*).

La zone de récolte-utilisation centro-occidentale des Pyrénées comporte toutes les surfaces situées à plus de 1000 m d'altitude entre le pic d'Anie dans les Pyrénées-Atlantiques et l'ouest de la vallée du Salat en Ariège. La zone de récolte-utilisation orientale des Pyrénées comporte toutes les surfaces situées à plus de 1000 m d'altitude de l'est de la

vallée du Salat jusqu'aux dernières montagnes des Pyrénées-Orientales. Aucun mélange entre provenances ne doit être opéré et ceci à aucune étape de la collecte, de la production ou de l'utilisation des semences ou des plantes. Les collectes réalisées dans le bassin-versant du Salat ne doivent être utilisées que dans celui-ci.

Des multiplications de semences indigènes récoltées en milieu naturel en zone centro-occidentale des Pyrénées sont en cours. Elles permettent depuis 2012 de disposer de mélanges de semences correspondant à cette zone de récolte-utilisation. Les mélanges peuvent être composés pour répondre aux exigences des sols des sites à revégétaliser. Ces semences sont disponibles sous la marque collective de semences sauvages des Pyrénées, déposée par le Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées en 2010 : «Pyrégraine de néou». Cette marque traduit une éthique ; elle a été conçue en partenariat avec des producteurs de semences, des collecteurs et des utilisateurs. Le respect d'un cahier des charges ou règlement d'usage, contrôlé par le régulateur, assure la traçabilité des semences, la garantie de leur provenance et de leur qualité. La marque «Pyrégraine de néou» évoluera prochainement dans le cadre de la marque nationale «Végétal local» dont elle a été précurseur.

Sources : Bussery (1989), Cornier *et al.* (2011), Malaval *et al.* (2010).



Fig. 42 – La Fétuque des neiges

Cette plante d'altitude se trouve principalement dans la partie orientale des Pyrénées française.

Des semences indigènes efficaces contre l'érosion et pérennes

À l'étagé subalpin, les mélanges de semences de plantes exogènes utilisés conventionnellement ne se développent pas aussi facilement et durablement que les espèces indigènes. Ils sont principalement constitués de plantes hautes cultivées en plaine pour la production fourragère ou la création de gazons. Les conditions climatiques et la pauvreté des sols ne permettent pas à certaines variétés introduites comme les Ray-gras anglais de survivre. Des travaux en Autriche ont montré qu'en dépit de leur croissance végétative relativement faible, les plantes locales d'altitude ont la capacité à se régénérer et à recouvrir progressivement le sol lorsque les processus d'érosion ne sont pas trop intenses. Elles fournissent aussi d'autres services écosystémiques¹

comme la production de fourrage de qualité. Leur stratégie de conservation des ressources puisées dans le sol et les processus de facilitation entre espèces leur permettent de mieux supporter la rudesse du climat, le pâturage et le piétinement. Deux ans après semis, elles peuvent permettre d'obtenir des couvertures herbacées plus denses et des recouvrements supérieurs à 70%.

Sources : Dinger (1997) ; Dupin *et al.* (article en cours), Florineth (1992) ; Krautzer, (2006), Swab *et al.* (2017).

1 – Nous utilisons ici la notion de « services écosystémiques » car elle permet de séparer différents types de service, permettant ainsi d'évaluer les gains de manière plus scientifique.

Quand les semences locales jouent à domicile dans les Pyrénées

Afin de mieux évaluer les performances relatives de semis installés avec des mélanges de semences d'origine locale ou exogène dans le contexte pyrénéen, une étude a été conduite sur 3 pistes de ski des stations des Angles (66), du Grand-Tourmalet (65) et de Font-Romeu (66). Ces pistes sont représentatives de sols respectivement très pauvres, peu fertiles et relativement fertiles. Les mélanges de semences d'origine locale ont été récoltés à proximité des sites restaurés avec une brosseuse. Ils ont été semés à la même dose que les semences exogènes (200 kg/ha). Les suivis ont été réalisés annuellement pendant une période de 4 ans.

Les paramètres suivis pour comparer les performances des systèmes sols-plantes restaurés avec des semis de mélanges de semences locales ou exogènes sont :

- le recouvrement des plantes, de la terre fine, des sables et des graviers <0,5 cm et des cailloux >1 cm,
- la diversité de plantes,
- les biomasses aériennes et racinaires, la fertilité et l'activité biologique des sols.

Les résultats de l'étude menée confirment que les semis de semences locales assurent les services écosystémiques suivants :

- **production primaire de biomasse du système sol-plantes :** les biomasses végétales produites après semis de semences locales sont plus importantes qu'après semis de semences exogènes (Fig. 45).
- **services de régulation :** l'étude a permis de démontrer une plus grande efficacité des semences locales pour la conservation des sols (Fig. 52 et Fig. 53).
- **services d'approvisionnement :** bien que la valeur fourragère des plantes locales de haute montagne soit en général moins élevée que celle des plantes exogènes des mélanges conventionnels, leur meilleure implantation leur permet de fournir une ressource pastorale plus conséquente (Fig. 51).
- **services socioculturels :** étant donné que les associations d'espèces implantées grâce aux semences locales sont plus proches des communautés de plantes naturellement présentes, les paysages sont ainsi mieux préservés (Fig. 49). Ces semis sont aussi importants car ils favorisent le développement d'une économie en circuits courts.

+ ZOOM: Résultats de l'étude des performances environnementales des semis de semences locales ou exogènes



Fig. 43 – Sites d'étude des performances techniques et écologiques de différents mélanges de semences

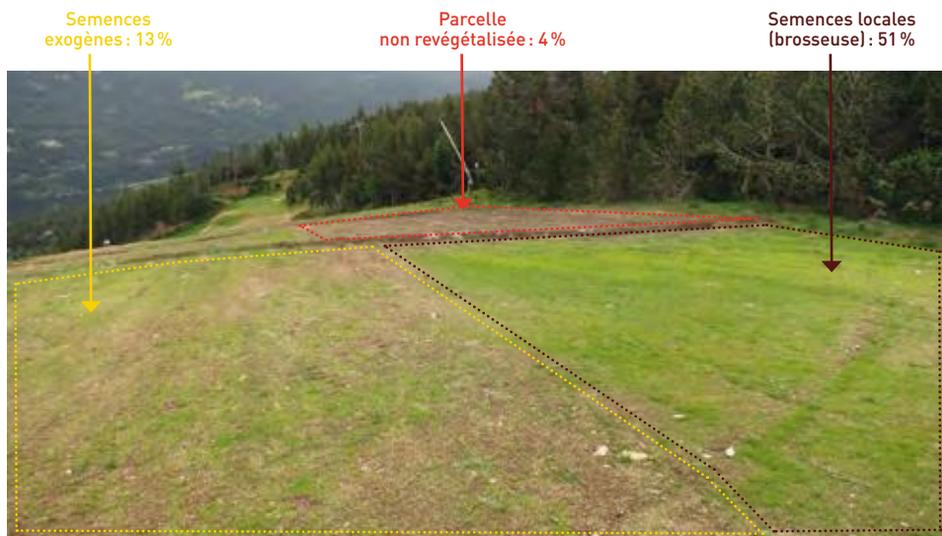


Fig. 44 – Recouvrements végétaux sur le site expérimental de Font-Romeu sur sol fertile, 9 mois après les semis (24/06/16)

COMPARAISONS DES TAUX DE RECOUVREMENT OBTENUS AVEC DES SEMENCES LOCALES OU EXOGÈNES

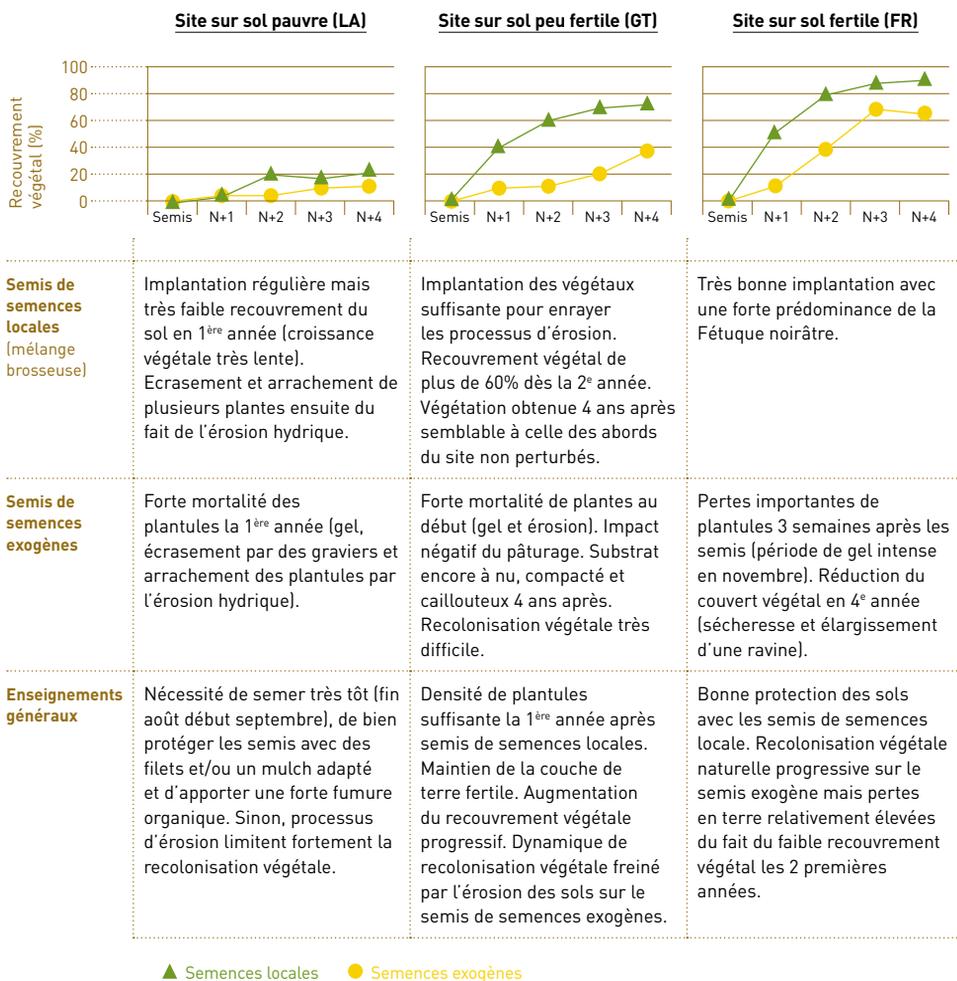


Fig. 45 – Evolution des taux de recouvrement végétaux en fonction du type de mélange de semences (Observations réalisées sur 2,5 m², 10 quadrats de 0,25 m²)



Fig. 46 – Fonte des neiges plus précoce sur une tâche de terre
Site expérimental de Font-Romeu, le 11/05/2016



Fig. 47 – Recouvrement végétal du site après la fonte des neiges
Site expérimental de Font-Romeu, le 13/06/2016

NOMBRE D'ESPÈCES INVENTORIÉES SUR LES PARCELLES SEMÉES AVEC DES SEMENCES LOCALES OU EXOGÈNES

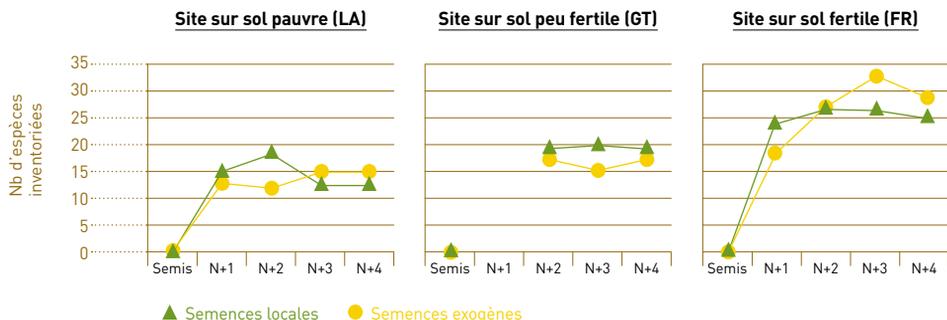
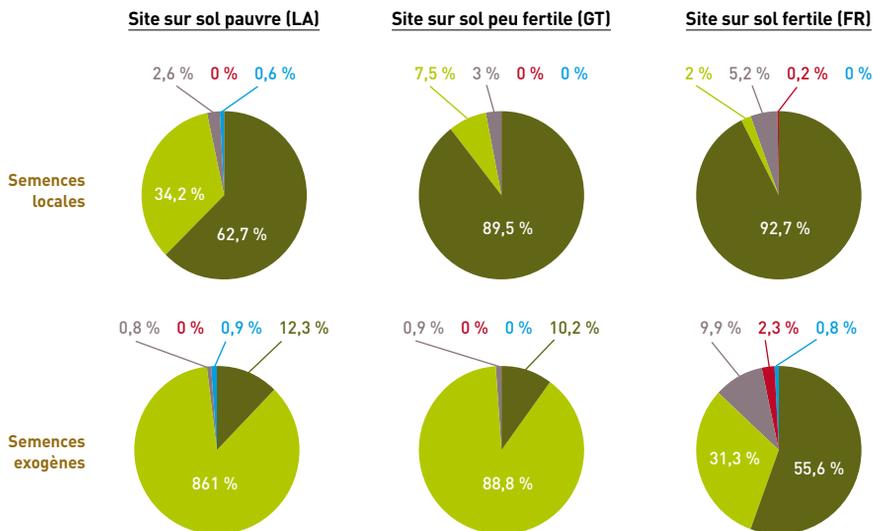


Fig. 48 – Evolution du nombre total d'espèces inventoriées sur les parcelles (Observations réalisées sur 2,5 m², 10 quadrats de 0,25 m², les listes d'espèces inventoriées sont en annexes 6, 7 et 9)

Dans nos conditions d'études, le nombre d'espèces observées a été peu influencé par le type de semences utilisées. Sur les parcelles semées avec des plantes exogènes, ces dernières représentent

toutefois près d'un tiers des espèces inventoriées. Les associations de plantes ainsi obtenues sont par conséquent très différentes des végétations naturelles caractéristiques des sites.

COMPARAISON DES CONTRIBUTIONS DES ESPÈCES CARACTÉRISTIQUES DE DIFFÉRENTS MILIEUX AU RECOUVREMENT VÉGÉTAL TOTAL



Semis de semences locales
(mélange brosseuse)

Contribution des espèces caractéristiques des pelouses subalpines bien plus importante.

Végétation restaurée riche en espèces caractéristiques des pelouses subalpines. Prédominance de la Fétuque noirâtre semée.

Semis de semences exogènes

Près de 70 % des couverts végétaux composés d'espèces de prairies contenues dans les mélanges. Prédominance des Fétuques rouges semées du fait de leur plus grande adaptation au gel et aux substrats pauvres. Forte mortalité des graminées à feuilles plus larges telles que le Dactyle aggloméré, le Ray-gras anglais, le Pâturin des prés et la Fléole des prés.

Forte recolonisation naturelle de plantes de pelouses du fait de la qualité de la terre végétale épandue.

Enseignements généraux

Semences locales efficaces pour obtenir des végétations riches en espèces caractéristiques des pelouses subalpines. Recolonisation naturelle de l'*Agrostis capillaris* (en particuliers sur les site des Pyrénées Orientales) et du Gispet et du Nard raide importante pour la restauration écologique des pelouses subalpines.



Fig. 49 – Comparaison des contributions d'espèces de différents milieux dans les recouvrements végétaux obtenus avec des semences locales (Valeurs moyennes observées sur 4 ans sur 2,5 m², 10 quadrats de 0,25 m², les listes d'espèces inventoriées sont en annexes 6, 7 et 8)

CONTRIBUTIONS DES ESPÈCES APPARTENANT À 5 GRANDS GROUPES DE PLANTES AU RECOUVREMENT VÉGÉTAL TOTAL

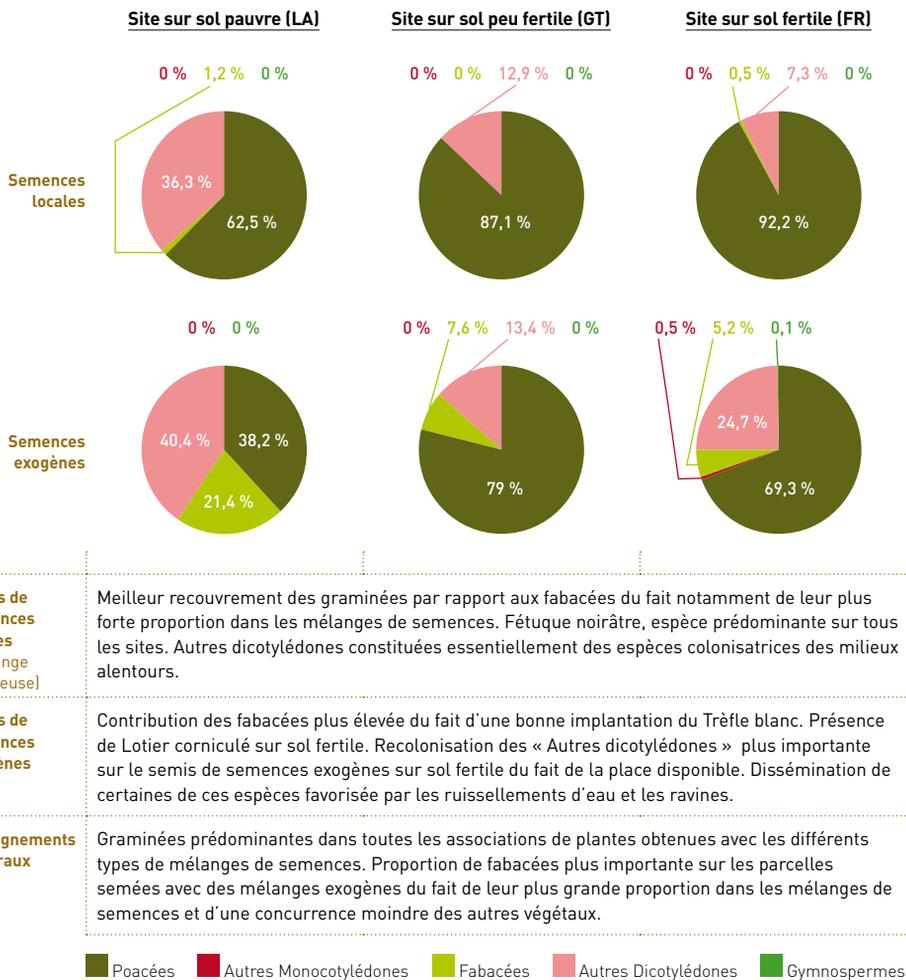


Fig. 50 – Comparaison des contributions d'espèces de différents milieux dans les recouvrements végétaux obtenus avec des semences locales (Valeurs moyennes observées sur 4 ans sur 2,5 m², 10 quadrats de 0,25 m², les listes d'espèces inventoriées sont en annexes 6, 7 et 8)

RECOUVEREMENTS DES ESPÈCES FOURRAGÈRES OBTENUS AVEC DES SEMIS D'ESPÈCES LOCALES OU EXOGÈNES

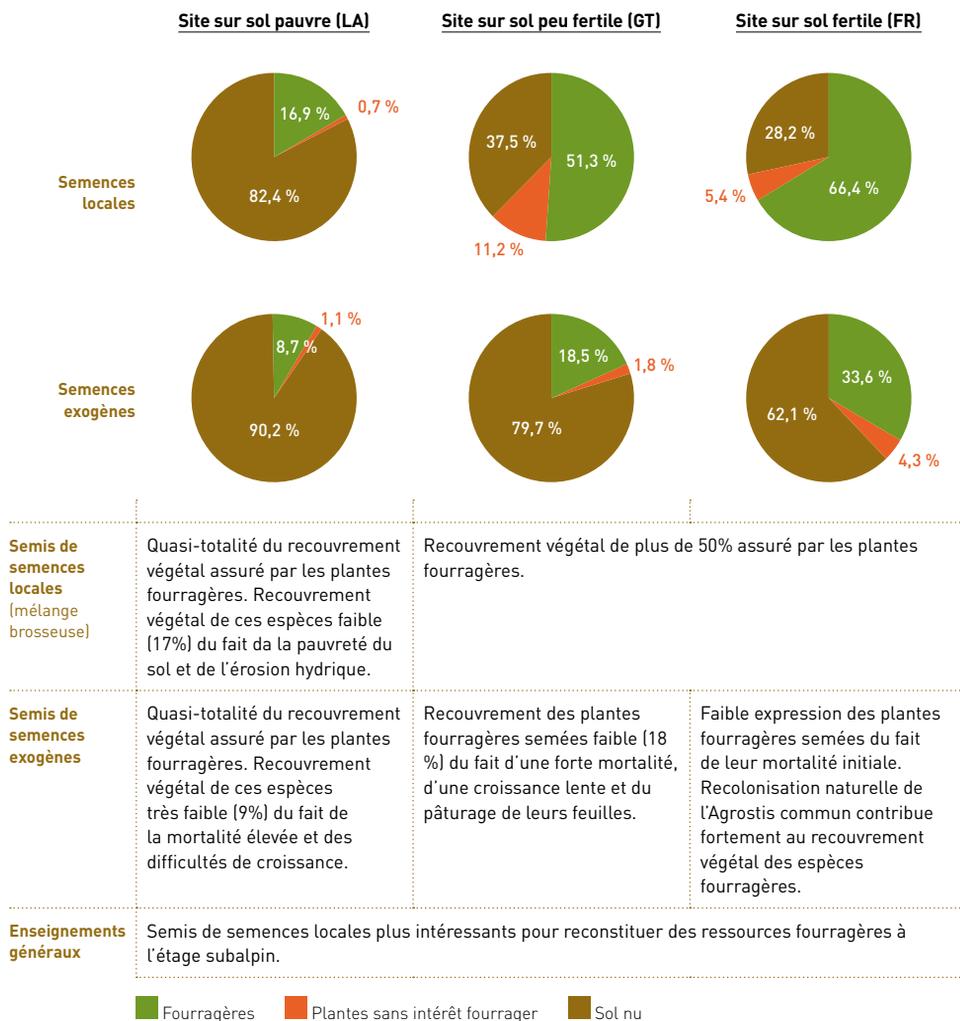


Fig. 51 – Comparaison des contributions d'espèces de différents milieux dans les recouvrements végétaux obtenus avec des semences locales
 (Valeurs moyennes observées sur 2,5 m², 10 quadrats de 0,25 m², les listes d'espèces inventoriées sont en annexes 6, 7 et 8)
 Sources : Daget *et al.* (1969), Joulet *et al.* (1999).

EFFET DU TYPE DE SEMENCES UTILISÉES SUR LES PROCESSUS D'ÉROSION DES SOLS

Ces évaluations des niveaux d'érosion des sols ont pu être réalisées car les caractéristiques topographiques et pédologiques des parcelles comparées étaient semblables (sensibilité au processus d'érosion comparable).

— DISPARITION D'ÉLÉMENTS FINS DANS LA PARTIE MINÉRALE NON COUVERTE DE VÉGÉTAUX ET NON IMPACTÉS PAR DES RAVINES

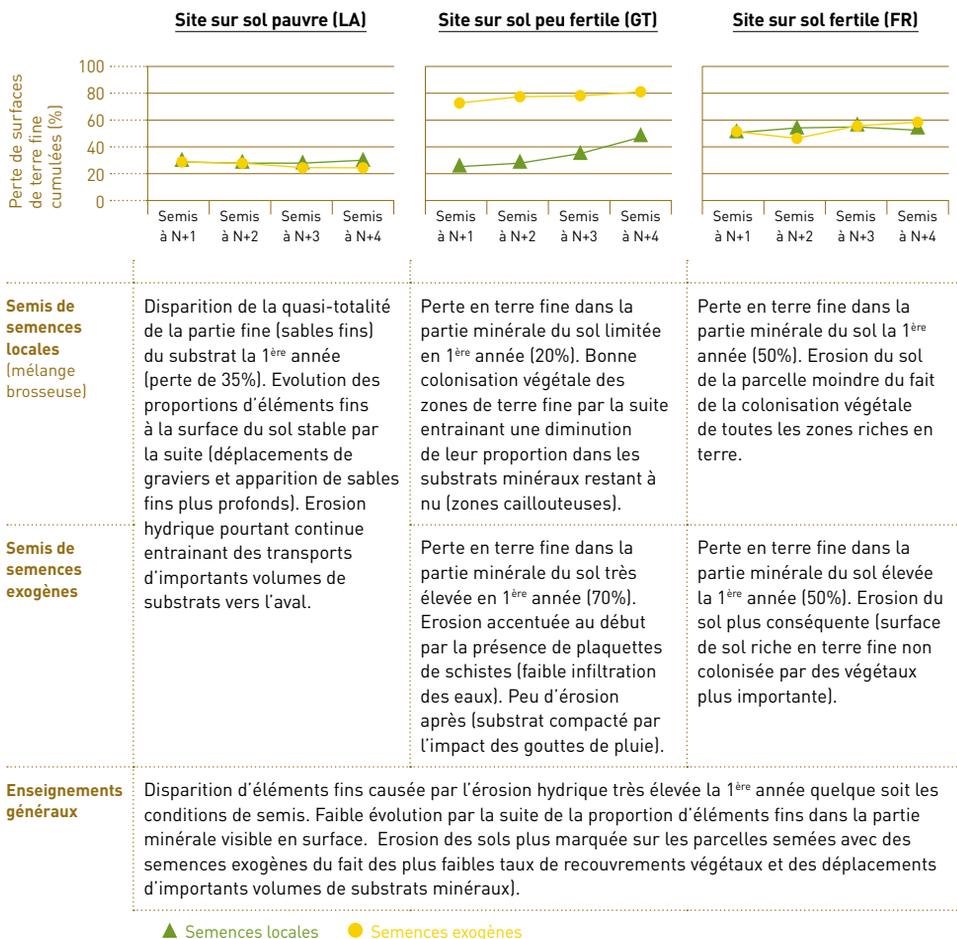


Fig. 52 – Comparaison des pertes de surface de terre fine sur parcelles semées avec des semences locales ou exogènes
(Valeurs moyennes observées sur 2,5 m², 10 quadrats de 0,25 m²)

— SURFACES COUVERTES PAR LES RAVINES EN FONCTION DU TYPE DE SEMENCES UTILISÉES

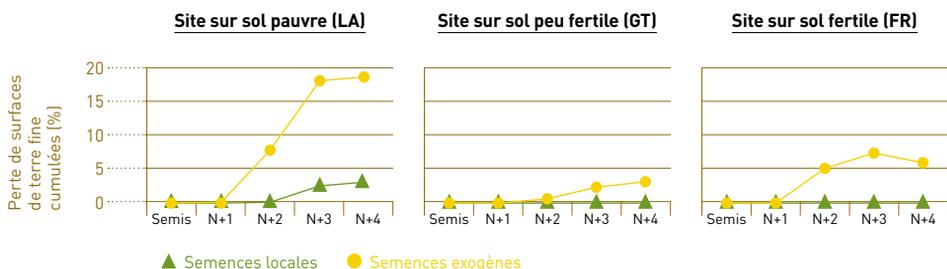


Fig. 53 – Comparaison des surfaces couvertes par des ravines sur parcelles semées avec des semences locales ou exogènes

Globalement les parcelles revégétalisées avec des espèces exogènes ont été plus ravinées par les écoulements d'eau. Cette érosion a été plus marquée sur la parcelle sur sol pauvre du fait des fortes pentes et des faibles recouvrements végétaux obtenus. Elle s'est accélérée de la 1^{ère} à la 3^e année. Les ravines se sont formées et/ou élargies sur cette parcelle car les végétaux y étaient moins nombreux et moins bien

dispersés. Dans une moindre mesure, cette érosion s'est aussi manifestée sur les semis de semences exogènes sur sols peu fertiles et fertiles.

En règle générale, ce processus d'érosion est plus prononcé lorsque des pluies intenses se produisent sur des sols relativement meubles. Il peut aussi être accentué lorsque des eaux de ruissellement se concentrent à un endroit avec un débit élevé.

Pyrégraine de nèou, les exigences d'une marque de semences

	POUR BÉNÉFICIER DE LA MARQUE	SUIVI/CONTRÔLE
Collecte en milieu naturel	Collecter des semences en milieu naturel (3 sites à plus de 1000 m d'altitude dans la zone de récolte-utilisation).	Les noms des sites, de la commune de la zone de collecte doivent être renseignés dans une base de données. Les sites doivent si possible être géolocalisés avec un GPS.
Multiplication sur des parcelles agricoles	Ne pas dépasser 3 cycles de multiplication (pas plus de 4 générations de semences (B1, B2, B3 et B4). Aller collecter de nouvelles semences de base en milieu naturel après 3 cycles de multiplication.	Le régulateur vérifie les espèces et les lots de semences multipliés en plein champ.
Suivi de la qualité et traçabilité des semences	Tester la qualité en laboratoire. Trier des semences en fonction de leur qualité et mesurer les quantités produites. Créer et numéroter les lots de semences.	Après la récolte, le régulateur analyse ou fait analyser la pureté spécifique et la capacité germinative des semences. Une base de données de suivi des lots de semences est alimentée par les producteurs ou le régulateur. Elle doit régulièrement être contrôlée et peut être accessible en ligne.
Vente et utilisation dans la zone d'origine	Étiqueter les lots de semences vendues en mentionnant : l'origine des semences (provenance et lieu de multiplication), la pureté en semence, les taux de germination. Vérifier que les semences vendues seront bien utilisées dans la bonne zone de récolte-utilisation.	Les vendeurs de semences ou le régulateur actualisent la base de données des semences vendues en mentionnant les noms des acheteurs et les sites d'utilisation. Le régulateur vérifie les correspondances entre l'étiquetage des lots de semences et la base de données.

* Le règlement d'usage de la marque précise que les parcelles de multiplication doivent être situées dans un périmètre géographique inclus dans la zone « Massif pyrénéen » (au sens de la loi relative au développement et à la protection de la montagne, dite « loi montagne », du 9 janvier 1985 précisée par le décret 2004-69 du 16 janvier 2004). Il autorise, si les conditions de multiplication et les agriculteurs compétents pour ce type d'activité ne sont pas identifiés à l'intérieur de la zone « Massif », la conduite de multiplications dans les plaines des départements constituant la partie française des Pyrénées. L'inconvénient de cette délocalisation est d'augmenter les probabilités de déplacements de semences d'adventices de

plaines vers la montagne. En effet, la gestion des désherbages et la séparation des semences lors du tri sont très difficiles pour ce type de semences. Pour certaines espèces présentes aussi bien en altitude qu'en plaine telles que l'Achillée millefeuille, la Brize moyenne, la Crételle des près, le Plantain lancéolé, elle peut aussi entraîner la production de semences issues d'hybridations entre les espèces de montagne cultivées et les populations sauvages de plantes de plaines. Afin de préserver les spécificités et l'originalité des associations de plantes d'altitude, il semble par conséquent important d'éviter de multiplier ces espèces en plaine.

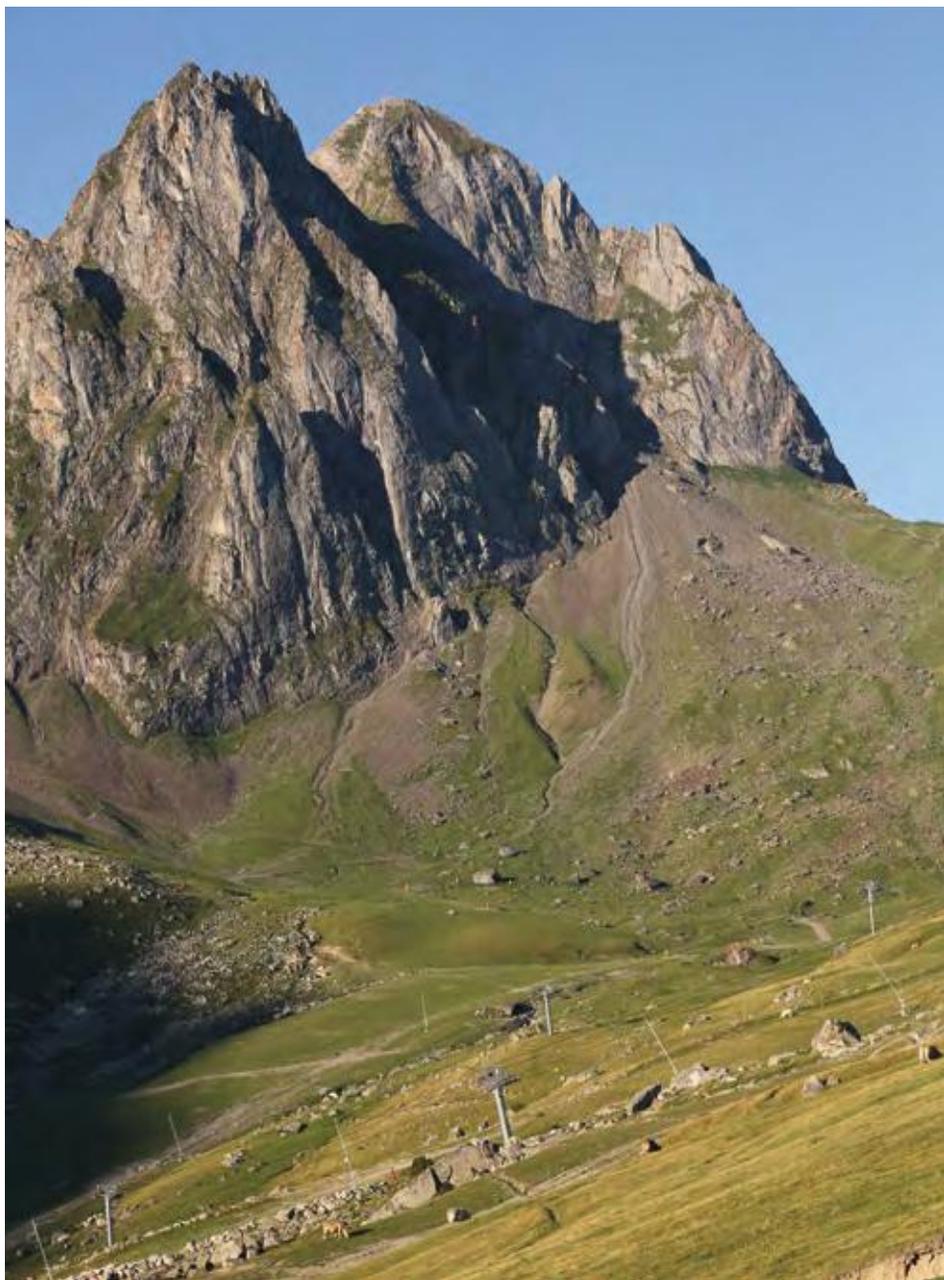


Fig. 54 – Les pistes de ski peuvent constituer une ressource fourragère intéressante
Le pâturage contribue souvent au maintien de la végétation herbacée.

Mise en place d'une cellule de coordination des opérations.

Un substrat grumeleux et fin, un climat doux permettant le maintien d'une humidité au sol pendant plus d'un mois et des semences adaptées sont les principaux facteurs de réussite d'un semis. Sur des sols pauvres, exposés à la sécheresse ou à d'importants processus d'érosion, des apports d'amendements organiques, l'installation de toiles composées de fibres végétales ou de mulchs peuvent être décisifs pour la bonne implantation des plantules. Pour réunir ces conditions, les chantiers d'aménagement devraient être organisés dans l'optique d'installer rapidement et efficacement une couverture végétale en fin de travaux. Les principaux intervenants dans les chantiers d'aménagements d'envergure sont le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre et l'entreprise de travaux de revégétalisation. Si le maître d'œuvre ne dispose pas d'une bonne connaissance des techniques et des intrants existants, la mobilisation d'un spécialiste peut s'avérer indispensable pour la réussite de la restauration écologique. Dans de nombreux cas, distinguer différentes unités de gestion sur un chantier permet une remise en état progressive et optimale du site (terre meuble et fertile, touffes d'herbe fraîches, périodes de semis favorables...). Sur des chantiers de terrassement avec de nombreuses incertitudes techniques ou organisationnelles, une cellule de coordination visant à réajuster le déroulement des travaux au fur et à mesure des aléas peut s'avérer très utile. Elle peut par exemple favoriser les interventions des entreprises de revégétalisation juste après les préparations des substrats.

INTÉRÊTS

La planification des travaux de terrassement et de restauration écologique en amont des projets d'aménagement permet de réunir les conditions favorables pour la recolonisation végétale des sites. Comme l'ensemencement est l'ultime activité des chantiers d'aménagements, les moyens et les périodes de sa mise en œuvre sont souvent modifiés. La plupart du temps, ces décalages sont préjudiciables à la réussite des semis. Tout au long du chantier, la coordination des activités permettra d'ajuster des interventions et d'identifier des compromis intéressants entre les contraintes du chantier et les conditions optimales de revégétalisation. Elle doit notamment favoriser l'organisation des ensemencements des sites remaniés juste après les terrassements.

CONDITIONS OPTIMALES

La planification de la revégétalisation nécessite une compétence technique spécifique. Lorsque le maître d'ouvrage ne dispose pas d'une expérience suffisante dans ce domaine, il est conseillé de solliciter l'accompagnement d'une structure spécialisée dans la gestion de restaurations écologiques. L'implication de cette compétence dès la conception du projet et la formation des agents de terrain permet d'optimiser la gestion du chantier dans son ensemble.

Sources : Bellini (2015), Lignier & Rosset (2012).



Fig. 55 – Réunion de chantier au Grand-Tourmalet

3 piliers pour réussir une restauration écologique

- Diviser les chantiers en unités de gestion. L'objectif est mettre en œuvre une gestion différenciée des terrassements pour adapter les perturbations à la fragilité et à l'intérêt écologique du site afin de ne pas générer de dégradations irréversibles. Cette précaution est nécessaire sur les sites présentant un relief irrégulier, des écoulements d'eau, des zones humides, des affleurements rocheux. Ce type de gestion permet aussi de limiter les temps de stockage de la terre végétale et des plaques de végétaux. Dans ces conditions, les ensemencements peuvent être réalisés juste après la préparation des sols. Ils ne seront ensuite plus perturbés par le chantier.
- Valoriser les plaques de végétaux et la terre végétale du site. Il s'agit de prélever, stocker et repositionner soigneusement les plaques de végétaux et des volumes

de terre végétale remaniées sur les sites à restaurer. Il est conseillé d'épandre la terre végétale juste avant le replaçage des touffes de végétaux et le semis des zones restées à nu.

- Ensemencer les substrats fraîchement remaniés le plus tôt possible. A l'étage subalpin, l'humidité nocturne des sites permet souvent de revégétaliser des substrats meubles et fins en avril ou mai puis dès le mois d'août. Ceci permet de mieux réussir les semis et d'éviter le lissage et le compactage des sols par les pluies.

Sur les substrats dégradés et/ou fortement exposés à l'érosion, des mesures de protection des sols et des semis sont parfois indispensables. Des aménagements antiérosifs, l'utilisation d'agents fixateurs, de paillages ou de mulchs à fibres de bois longues ajustés au site doivent être prévus.

Mise en œuvre

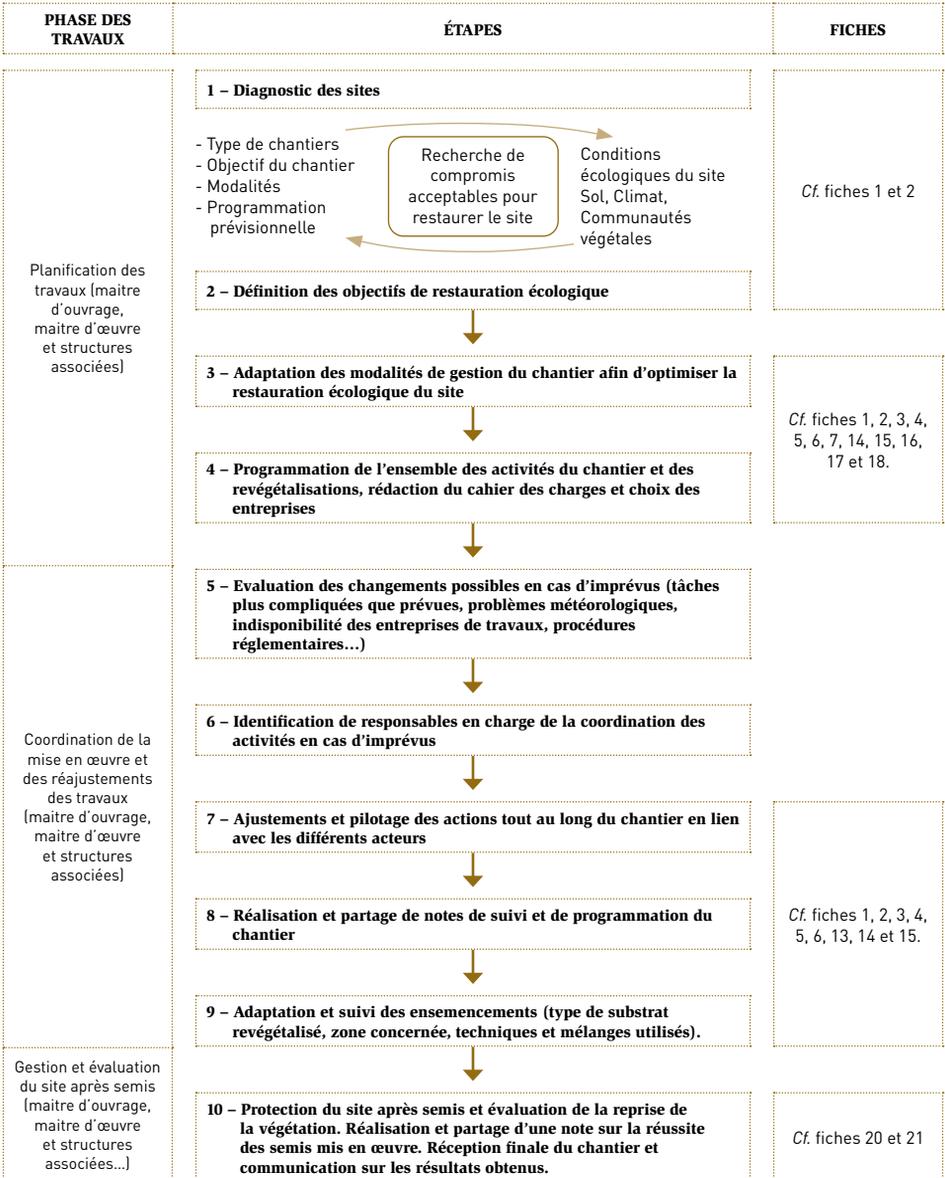


Fig. 56 – Modalités de gestion d'un chantier favorables à la restauration écologique du site.

Permettre un développement suffisant des plantules avant le gel ou la sécheresse.

Les semis doivent être faits sur un substrat meuble et à une période qui permettra aux plantes de profiter des journées propices à la photosynthèse. Elles ont quelques semaines pour développer des feuilles et des racines qui leur permettront de résister à de grandes amplitudes hydriques et thermiques, hivernales ou estivales, au gel ou à la sécheresse. Sur certains marchés de revégétalisation, il est parfois proposé de revenir sur le site pour procéder à un sur-semis au printemps ou à l'automne suivant en cas de faible recouvrement du sol. Mais les sols sont alors souvent compactés et lissés en surface, limitant très fortement les possibilités d'enracinement de nouvelles plantules. Bien organiser le premier semis donne une garantie de meilleure réussite.

INTÉRÊTS

Un semis de fin d'été/début automne, plusieurs semaines avant les premiers gels, permettra aux plantules de germer et de se développer dans des conditions climatiques favorables. La croissance végétale en septembre et en octobre leur permettra de mieux résister aux premières gelées d'automne. Les plantules installées pourront alors fixer partiellement le sol à la fonte des neiges. Les semences qui ont besoin d'une période d'humidité et de froid pourront germer en début du printemps. Les semis précoces de printemps peuvent aussi être efficaces si les conditions édapho-climatiques permettent un développement des plantules suffisant avant les sécheresses de l'été. Il est en revanche déconseillé d'ensemencer des substrats asséchants au mois de juin et/ou de juillet pour éviter la mortalité des plantules en cas de sécheresse.

CONDITIONS OPTIMALES

Un semis en début septembre permet aux graminées à levée rapide de développer de nombreuses tiges (talles) assurant un premier couvert végétal qui sera protégé des amplitudes thermiques par le manteau neigeux jusqu'au printemps. Il permet

aussi aux plantules de se développer suffisamment pour affronter les premiers gels de fin d'année. À l'étage subalpin, l'humidité nocturne permet souvent de revégétaliser des substrats meubles et fins d'avril à mai et dès le mois d'août. Lorsque des semis ne sont pas envisageables en début septembre, période la plus favorable, il est préférable de les conduire sur un sol fraîchement remanié quelle que soit la période, en évitant juste les mois de juin et juillet. Ceci permet d'éviter le lissage et un compactage des sols par les pluies.

MISE EN ŒUVRE

- organiser les travaux pour que le premier semis ait lieu entre fin août et début octobre ;
- à défaut, si les travaux n'ont pas été terminés avant l'hiver, semer au printemps. Le faire dès le déneigement, le plus tôt possible, avant le début de l'été.

Sources : Steinfeld *et al.* [2007].

Planter des communautés végétales recouvrant rapidement les sols et s'intégrant dans les écosystèmes.

Le mélange de semences doit être si possible d'origine pyrénéenne et adapté aux conditions écologiques du site à ensemer. En cas de difficulté d'accès à des semences indigènes sur le marché, l'utilisation de semences exogènes peut être envisagée pour obtenir une couverture végétale transitoire. Dans ce cas, il est préférable que les espèces choisies ne présentent pas de risques majeurs pour la flore locale (risque d'hybridation¹ ou de compétition). L'utilisation de semences certifiées sélectionnées en plaine depuis plusieurs générations est moins risquée que celle de graines non certifiées d'origine inconnue. Leur sélection étant plus ancienne et artificielle, leur diversité génétique s'est érodée. Les suivis des expérimentations de multiplication de semences et de restaurations écologiques mis en œuvre dans le cadre du programme Ecovars ont permis de déterminer des mélanges de semences adaptés pour certaines conditions écologiques des Pyrénées. Les proportions proposées dans ces mélanges ont aussi été déterminées sur la base d'études des traits fonctionnels² des plantes, de leur rôle dans les communautés végétales et de leurs intérêts pour la revégétalisation.

INTÉRÊTS

Dans un premier temps, des espèces pionnières capables de pousser rapidement sur des sols dégradés sont intéressantes pour assurer leur protection rapide et relancer leur activité biologique. L'utilisation d'espèces naturellement présentes sur le site permet de conserver les communautés végétales. Des associations à bénéfices mutuels se mettent en place entre plantes, et entre plantes et autres organismes (bactéries, champignons, insectes...). Une grande diversité d'espèces favorise les interactions entre les plantes et les sols, renforçant ainsi la résilience de la communauté végétale. La production de différentes sources de matière organique végétale favorise alors la diversité microbienne du sol. Elle contribue ainsi plus efficacement à l'amélioration des propriétés des sols.

CONDITIONS OPTIMALES

Il est important de disposer d'une large gamme de semences sauvages d'origine pyrénéenne (ou d'espèces qui ne le sont pas mais qui ne présentent

pas de risques de compétition et d'hybridation avec la flore locale). Les conditions écologiques du site à ensemer doivent faire l'objet d'un diagnostic complet ; il permettra de déterminer les espèces adaptées à inclure dans les mélanges, et les périodes de semis. Les mélanges de semences sauvages d'origine pyrénéenne peuvent être composés de graines directement récoltées dans le milieu naturel ou multipliées sur des parcelles agricoles. Dans ce deuxième cas, il est préférable que les semences soient issues de multiplications réalisées en zone de montagne (voir encadré Pyrégraine de nèou). Les coordonnées des structures en mesure de fournir des mélanges de semences de plantes pyrénéennes sont disponibles sur www.ecovars.fr. Bien ajuster les proportions des espèces et le dosage des semis permet d'obtenir une couverture végétale efficace contre l'érosion des sols dès la première année.

1 – Les semis de populations de plantes exogènes peuvent entraîner des croisements entre les individus de l'espèce

naturellement présente sur le territoire et ceux introduits. Dans ce cas, les descendants issus de ces hybridations ne posséderont plus toutes les spécificités génétiques de leurs parents autochtones qui étaient adaptés aux conditions locales. A une échelle plus large, cela conduit à une homogénéisation des populations d'une espèce donnée.

2 – Un trait fonctionnel de vie est une caractéristique morphologique, physiologique ou phénologique d'individus d'une espèce donnée. Elle décrit la capacité d'un individu d'un certain génotype à survivre et à se reproduire. À l'échelle des écosystèmes, les traits fonctionnels sont responsables de la manière dont les organismes répondent aux facteurs environnementaux.



Fig. 57 – Système racinaire d'une Fétuque noirâtre



Fig. 58 – Système racinaire d'un Trèfle alpin

Caractéristiques des mélanges de semences proposés entre 1700 et 2400 m d'altitude.

A ces altitudes, deux types de mélanges sont intéressants à utiliser :

- mélanges récoltés à la brosseuse sur prairies ou pelouses d'altitude. Ils peuvent être complétés avec un minimum d'espèces agricoles conventionnelles pour renforcer la couverture végétale la première année tout en limitant les risques d'hybridation. Des graminées exogènes au développement rapide mais non pérennes en altitude tels que le Ray-gras anglais, le Seigle ou le Blé peuvent contribuer à cet objectif. Si le mélange contient peu de fabacées, il

- peut être intéressant d'y intégrer du Trèfle alpin, du Lotier alpin ou de l'Anthyllide des Pyrénées. Si ces espèces ne sont pas disponibles, des légumineuses exogènes telles que la Vesce de Cerdagne, du Trèfle blanc ou violet peuvent équilibrer les mélanges. Si l'introduction de trèfles est adaptée sur le plan technique, celle-ci entraîne des risques d'hybridation avec les écotypes naturellement présents. Il serait intéressant de pouvoir développer les productions d'écotypes pyrénéens de ces trèfles ;
- mélanges issus de multiplications complétés ou non avec des espèces agricoles conventionnelles (cf. : Tab. 5).

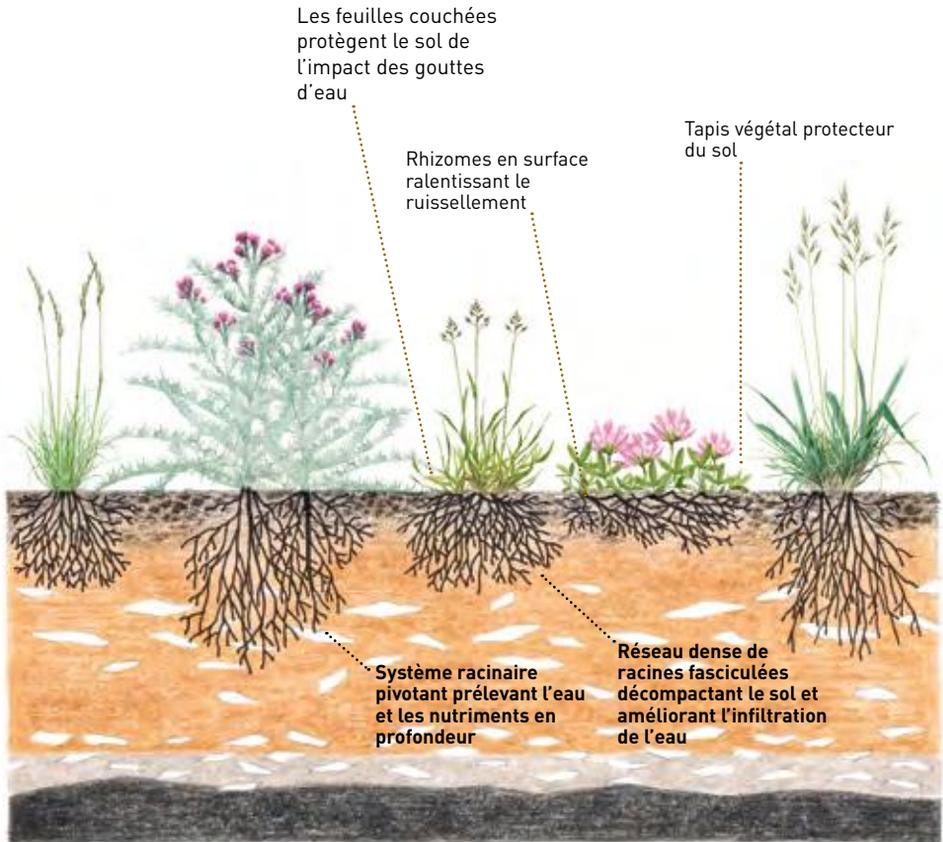


Fig. 59 – Plantes adaptées pour la restauration de pelouses subalpines

			% de la masse de graines des espèces de mélanges d'altitude (alt 1700 à 2400 m)					
			Substrat acide				Substrat calcaire	
			Pyrénées centro-occidentales		Pyrénées-Orientales		Pyrénées centro-occidentales	
Groupe taxonomique	Noms communs	Noms scientifiques	Mélange 100% graines locales	Mélange avec 2 espèces exogènes	Mélange 100% graines locales	Mélange avec 2 espèces exogènes	Mélange 100% graines locales	Mélange avec 2 espèces exogènes
Poacées	Fétuque noirâtre	<i>Festuca nigrescens</i>	30	20	20	20	30	20
Poacées	Crételle des près	<i>Cynosurus cristatus</i>	10	5	10	5	15	5
Poacées	Pâturin alpin	<i>Poa alpina</i>	20	10	20		0	
Poacées	Brize intermédiaire	<i>Briza media</i>	5	5	5		20	10
Poacées	Canche flexueuse	<i>Deschampsia flexuosa</i>	5		5			
Poacées	Fétuque des neiges	<i>Festuca niphobia</i>			15	15		
Poacées	Ray-gras anglais ¹	<i>Lolium perennis</i>		15				15
Poacées	Seige/Blé/Triticale			15		30		15
Autres monocotylédones	Laîche toujours verte	<i>Carex sempervirens</i>					5	5
Fabacées	Anthyllide des Pyrénées	<i>Anthyllis vulneraria</i> subsp. <i>boscii</i>	5	5			10	5
Fabacées	Lotier alpin	<i>Lotus alpinus</i>	5				10	
Fabacées	Trèfle alpin	<i>Trifolium alpinum</i>	10		15			
Fabacées	Trèfle blanc ²	<i>Trifolium repens</i>		15				15
Fabacées	Vesce de Cerdagne	<i>Vicia villosa</i>				20		
Autres dicotylédones	Achillée millefeuille	<i>Achillea millefolium</i>	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Autres dicotylédones	Œillet à delta	<i>Dianthus deltoides</i>	2,5	2,5	2,5	2,5		
Autres dicotylédones	Plantain lancéolé	<i>Plantago lanceolata</i>	5	5	5	5	7,5	7,5
TOTAL			100	100	100	100	100	100

Tab. 5 – Exemple de mélanges adaptés à l'étage subalpin

- 1 – Le Ray-gras est proposé pour éviter d'introduire des individus exogènes d'une espèce présente naturellement à l'étage subalpin.
- 2 – L'utilisation de Trèfle blanc d'origine exogène est plus problématique car cette espèce est naturellement présente à ces altitudes. Elle est cependant proposée provisoirement pour enrichir les mélanges de semences avec une légumineuse rampanante dans la mesure où les productions de Trèfle alpin, d'Anthyllide des Pyrénées et de Lotier alpin ne sont pas suffisantes.

Caractéristiques des mélanges de semences adaptés entre 1000 et 1700 m d'altitude.

Dans ces milieux, 3 types de mélanges peuvent être adaptés :

- mélanges de semences récoltées à la brosseuse sur prairies de fauche fertilisées ou sur d'anciennes prairies de fauche ;

- mélanges de semences contenues dans du foin vert fauché et épandu sur le site receveur ;
- mélanges issus de multiplications, complétés ou non avec un minimum d'espèces agricoles conventionnelles (cf. : Tab. 6).



Fig. 60 – Crételle des près

Cette plante est intéressante pour la restauration de prairies de fauche.

		% de la masse de graines des espèces de mélanges montagnards (alt 1000 à 1700 m)					
		Substrat acide				Substrat calcaire	
		Pyrénées centro-occidentales				Pyrénées-Orientales	
Noms communs	Noms scientifiques	Mélange 100% graines locales	Mélange avec des espèces exogènes	Mélange 100% graines locales	Mélange avec des espèces exogènes	Mélange 100% graines locales	Mélange avec des espèces exogènes
Fétuque groupe rubra	<i>Festuca (rubra ou nigrescens)</i>	35	20	30	20	30	20
Crételle des près	<i>Cynosurus cristatus</i>	20	5	20	5	20	10
Pâturin commun ¹	<i>Poa trivialis</i>		10		10		
Brize intermédiaire	<i>Briza media</i>	10	5	5		20	10
Koelerie pyramidale	<i>Koeleria pyramidata</i>			20	15		
Ray-gras anglais ²	<i>Lolium perennis</i>		30		10		30
Seige/Blé/Triticale					10		
Anthyllide des Pyrénées	<i>Anthyllis vulneraria</i> subsp. <i>boscii</i>	5	5			10	5
Vesce sauvage	<i>Vicia sepium</i>	15		15		10	
Trèfle des près ¹	<i>Trifolium pratense</i>		5		5		5
Trèfle blanc ¹	<i>Trifolium repens</i>		5		5		5
Lotier corniculé ¹	<i>Lotus corniculatus</i>		5		5		5
Vesce de Cerdagne	<i>Vicia villosa</i>				5		
Achillée millefeuille	<i>Achillea millefolium</i>	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Œillet à delta	<i>Dianthus deltoides</i>	2,5	2,5	2,5	2,5		
Silène enflé	<i>Silene vulgaris</i>	5	2,5				
Plantain lancéolé	<i>Plantago lanceolata</i>	5	2,5	5	5	7,5	7,5
TOTAL		100	100	100	100	100	100

Tab. 6 – Exemple de mélanges de semences proposés entre 1000 et 1700 m d'altitude

- 1 – Le Pâturin commun, le Trèfle des près, le Trèfle blanc et le Lotier corniculé sont des plantes très adaptées pour la revégétalisation dans ces conditions. Pour utiliser les écotypes pyrénéens de ces espèces inscrites au catalogue officiel des espèces et variétés, il est nécessaire d'entreprendre des démarches auprès du Groupement national interprofessionnel des semences et plants (GNIS). Sans obtention d'autorisation, des variétés exogènes peuvent être proposées provisoirement pour enrichir les mélanges avec de bonnes plantes fourragères et/ou des légumineuses dans la mesure où les productions d'Anthyllide des Pyrénées et de Vesce sauvage ne sont pas suffisantes.
- 2 – L'utilisation de Ray-gras anglais d'origine exogène est assez peu problématique car cette espèce est peu présente dans les milieux naturels de moyenne montagne.

MISE EN ŒUVRE

- définir l'objectif de la revégétalisation et déterminer une association de plantes fonctionnelle ;
- élaborer une fiche récapitulante ce qui a déterminé le choix de composition du mélange de semences par rapport aux conditions écologiques locales ;
- choisir des semences conformes au paragraphe 2.2.4.2 du fascicule 35 du Cahier des clauses techniques générales (CCTG). Les CCTG applicables aux marchés publics de travaux rassemblent l'ensemble des dispositions techniques relatives aux travaux de bâtiment et de génie civil. Ces documents sont approuvés par un arrêté du ministre chargé de l'économie et des ministres intéressés. Ils se présentent comme une collection de fascicules traitant chacun d'un thème spécialisé. Le fascicule 35 « Aménagements paysagers. Aires de sports et de loisir de plein air » a pour objet de rationaliser les commandes de fournitures ou de travaux dans ce domaine. Suite à l'arrêté du 30 mai 2012, de nouveaux documents ont été annexés au fascicule n°35 du cahier des clauses techniques générales du 15 février 1999 pour fixer les dispositions contractuelles d'ordre technique applicables aux prestations. Le paragraphe 2.2.4.2 porte sur le choix et la qualité des semences de revégétalisation. Ces dispositions sont destinées à être intégrées au marché passé entre un maître d'ouvrage et un entrepreneur ;
- se limiter à 8 à 10 espèces ou variétés ;
- inclure 10 à 20 % de légumineuses ;
- vérifier que les mélanges de semences ne contiennent pas d'espèces sauvages qui ne sont pas garanties d'origine pyrénéenne ;
- s'il n'est pas possible d'obtenir des semences d'origine pyrénéenne, utiliser des mélanges

composés exclusivement de semences certifiées (inscrites au catalogue français des espèces et variétés), livrés avec les certificats d'origine du Service officiel de contrôle des semences (SOC) du Groupement national inter-professionnel des semences et plants (GNIS) ;

- sur les sacs de semences, faire préciser au fournisseur la composition spécifique du mélange, l'origine géographique de provenance et de production, le degré de pureté et la faculté germinative de chaque espèce ;
- vérifier l'adaptation du mélange de semences aux conditions écologiques du site à revégétaliser (consulter le Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées) ;
- réaliser le semis à l'automne, de préférence, à raison de 80 à 200 kg/ha pour les mélanges de semences d'origine pyrénéenne (de 150 à 200 kg/ha pour les mélanges de semences qui ne le sont pas). Renforcer si nécessaire au printemps suivant, avant le 10 juin, par un semis supplémentaire 50 kg/ha (ou de 50 à 100 kg/ha si les semences ne sont pas originaires du massif). Si le premier semis intervient au printemps, opérer le renforcement à l'automne. Si le substrat est pauvre et que l'implantation du premier semis est régulière, l'apport d'une fertilisation organique ou organo-minérale conséquente au printemps peut être tout aussi efficace pour renforcer la couverture végétale.

Sources : Bussery (1989), Cano (2000), Cornier *et al.* (2011), Gauthier (1997), Henry *et al.* (2011), Krautzer *et al.* (2006), Lumaret (1999), Malaval *et al.* (2010), Steinfeld *et al.* (2007).

Eviter le gaspillage d'engrais minéraux et favoriser le retour d'une végétation adaptée aux conditions locales.

En altitude, les processus d'érosion consécutifs aux remaniements des sols provoquent une forte diminution de leur fertilité. Il est donc nécessaire de compenser les pertes de matière organique et de nutriments. Toutefois, les fertilisations organo-minérales et minérales peuvent être emportées par les eaux de ruissellement ou lessivées en profondeur. En montagne, sur des sols déstructurés et pauvres en matière organique, ces fertilisants sont peu valorisés par les sols et les plantes. Des amendements et fertilisations organiques apportés de manière fractionnée sont souvent plus judicieux. Afin de favoriser la mise en œuvre de pratiques et produits adaptés, des préconisations techniques peuvent être intégrées dans les cahiers des clauses techniques particulières et dans les dossiers de consultation des entreprises.

INTÉRÊTS

Les fertilisations organiques contribuent à l'amélioration de la structure des sols à long terme. Elles sont d'autant plus adaptées qu'elles favorisent leur activité biologique. Libérés progressivement dans les sols, les nutriments sont ainsi prélevés plus efficacement par les plantes, favorisant la formation du couvert végétal et limitant leur perte par l'érosion.

CONDITIONS OPTIMALES

Il est nécessaire d'évaluer d'abord la fertilité initiale du sol et de comparer ses propriétés biologiques, physiques et chimiques à celles des sols non perturbés situés à proximité du site à ensemercer. Une fumure organique est indispensable sur un sol pauvre en matière organique ; elle favorisera l'activité biologique du sol et améliorera ses propriétés physico-chimiques à long terme. Sur sol sableux ou rocailleux, très drainant, les amendements organiques sont aussi bien plus adaptés que des engrais minéraux ou organo-minéraux car ils limitent les pertes de nutriments en profondeur par lessivage. Une deuxième fertilisation organique ou organo-minérale quelques mois plus tard peut permettre

d'accélérer la croissance végétale et d'enrayer les processus d'érosion. Si des carences en nutriments sont observées, des engrais organo-minéraux enrichis en azote, phosphore ou potassium et en soufre peuvent s'avérer utiles. Ces derniers peuvent être apportés au moment du semis. Lorsque les semis sont très tardifs, fin octobre voire début novembre, ils seront peu assimilés par les sols et les plantes, et seront lessivés par les eaux d'infiltration et les ruissellements lors de la fonte des neiges. Afin d'éviter de telles pertes, la fertilisation organo-minérale sera plus efficace au printemps, après un ou deux mois de croissance végétale. Ainsi, à l'étage subalpin, où la destruction des sols consécutive aux travaux et la croissance lente des plantules limitent l'efficacité du recyclage biologique des nutriments, il est conseillé de repousser la fertilisation jusqu'à ce que les plantules aient développé des systèmes racinaires de plusieurs centimètres de longueur.

Equipements nécessaires

- matériel pour réaliser des analyses de sol ;
- épandeur à fumier ou d'engrais ;
- hydroseeder pour des fertilisations par projection d'eau.

MISE EN ŒUVRE

Caractériser la fertilité du sol à ensemer

- mesurer et/ou évaluer les éléments caractéristiques de la fertilité initiale du sol (pH, teneur en matière organique, azote, rapport quantité de carbone sur quantité d'azote (C/N), capacité d'échange cationique (CEC) et bases échangeables, teneur en P et en K, ...). Si des mesures sont trop coûteuses, utiliser des données de relevés effectués sur des sites soumis à des conditions semblables. La fertilité du sol peut aussi être évaluée en observant sa coloration marron foncé, liée à la présence de matière organique. L'abondance et la forme des agrégats de sol ou des complexes argilo-humiques témoignent d'une activité biologique importante et d'une bonne circulation de l'air et de l'eau. La diversité des plantes et le niveau de production de biomasse végétale peut aussi renseigner. Enfin, certaines plantes indiquent les caractéristiques des sols : la Canche flexueuse, par exemple, révèle une faible teneur en nutriments.

Caractériser les risques d'érosion

- évaluer les risques de pertes d'engrais par ruissellement d'eau ou par lessivage en profondeur. La forme et la surface des bassins versants, les couverts végétaux, les chemins habituels de l'eau et la structure des sols sont des indications utiles.

Gérer la fertilisation

- éviter l'utilisation de fertilisants minéraux sur des sols très drainants et caillouteux : ils sont facilement lessivés par les eaux et emportés en profondeur sous forme soluble ou solide ;
- ne pas utiliser de fertilisants minéraux à proximité de zones humides ou tourbeuses ;

- déterminer le type de fertilisation et, si possible, la quantité de matière organique souhaitable et le nombre d'unités fertilisantes en azote, phosphore et potassium adaptées aux sites et aux exigences des plantes. Il est conseillé de prendre en compte les caractéristiques des sols non perturbés situés à proximité du site à ensemer ;
- demander au fournisseur une fiche technique décrivant les fertilisants proposés ;
- fertiliser avec une fumure de plus de 1000 kg/ha pour stimuler la croissance du couvert végétal ;
- privilégier des fertilisations organiques dont la teneur en éléments recherchés est élevée (nutriments N > ou égal à 4%, P > ou égal à 4%, K > ou égal à 4%, ...). L'analyse du rapport entre les quantités de carbone et d'azote (rapport C/N) est utile pour ne pas bouleverser les processus de maintien de la fertilité du sol. Si la fertilisation a lieu pendant le semis, ou juste avant, un rapport C/N inférieur ou égal à 15 sera recherché afin que les plantules ne manquent pas d'azote. L'apport d'une quantité de carbone trop élevée par rapport aux quantités d'azote entraîne une chute temporaire des concentrations d'azote disponible pour les plantes dans le sol. Ce dernier est alors mobilisé par les populations de micro-organismes qui se développent pour décomposer la nouvelle source de carbone organique. Ce phénomène, appelé « faim d'azote », entraîne une indisponibilité temporaire en azote minéral dans le sol. Il doit être évité en période de semis car cette carence pénalise fortement le développement des plantules.

Sources : Krautzer *et al.* (2006), Lignier & Rosset (2012), Salomon (2007).

Créer un environnement favorable à la survie et à la croissance des plantules.

Avant leur germination, les semences sont exposées à de fortes variations climatiques et soumises à d'importantes forces érosives. Les plantules le sont tout autant. Il est capital de les protéger. La déclivité et la longueur des pentes sont les deux principaux paramètres à prendre en compte pour déterminer les techniques et le matériel adaptés.

INTÉRÊTS

Les agents fixateurs organiques font adhérer les semences et les engrais au substrat. Un paillage manuel protège le sol et les semences de l'érosion provoquée par l'impact des gouttes d'eau et par le ruissellement. Il est avantageux d'utiliser du foin ou de la paille provenant d'une exploitation agricole proche. Du bois raméal fragmenté (BRF) peut aussi s'avérer intéressant pour améliorer la stabilité du sol et des semis. Dans ce cas, il doit être épandu

plusieurs mois avant le semis de manière à ce que les semences puissent germer sur un substrat riche en humus. Les filets en toile de jute ou de coco assurent une meilleure protection des semis contre l'érosion hydrique. Ils peuvent être décisifs sur certains talus car ils stabilisent les semences, favorisent le développement des plantules en limitant les amplitudes thermiques et hydriques et conservent l'humidité à la surface du sol.



Fig. 61 – Effet de l'utilisation d'un filet sur l'implantation d'un semis. Sur la partie droite du talus, la pose d'un filet en toile de jute a favorisé le développement et la fixation des plantes semées.



Fig. 62 – Fixation d'un semis avec un filet en toile de coco et un grillage. Le filet fixe le sol et les graines. Il offre de meilleures conditions de croissance aux plantules.

Les mulchs de fibres de bois contenant des fibres longues collantes dénomés matrices fibrillaires (cf. : Glossaire) permettent de former une membrane organique qui favorise le maintien des semences au sol, leur offre un environnement protecteur et des conditions de croissance favorables. Ils épousent les irrégularités du substrat à ensemercer. Ils peuvent être incorporés au mélange de semences et de fertilisants et être projetés à l'hydroseeder. Cette technique d'installation d'un mulch de protection du sol par projection hydraulique s'appelle hydromulching. Son application est moins longue et moins coûteuse que celle de filets en toile de jute ou de coco. La durée de protection des sols et des semis par les mulchs dépend des produits et des doses utilisés. Elle peut varier de 3 à 18 mois.

CONDITIONS OPTIMALES

Ces techniques sont adaptées à des sites exposés à l'érosion et à des conditions hydriques et thermiques contrastées. Les substrats doivent être si possible préparés pour une bonne adhésion des produits utilisés. Le paillage manuel convient aux zones sensibles à l'érosion due à l'impact des gouttes de pluie sur le sol. Très léger et non fixé au sol, il est instable sur les sites très pentus et ne convient pas à des sites soumis à des vents forts ou à des ruissellements. Les filets en toile de jute ou de coco sont adaptés à des sites soumis à d'intenses processus d'érosion

du fait de la pente et du ruissellement. Des mulchs de fibres de bois renforcées de fibres longues collantes sont tout aussi efficaces sur des sites très exposés à l'érosion. Ils sont particulièrement adaptés à des sols irréguliers et difficiles d'accès. Ces mulchs peuvent être directement appliqués à l'hydroseeder lors du semis. Il convient d'adapter les quantités utilisées et le nombre de projections à prévoir par site en fonction des niveaux de protection recherchés et des caractéristiques de l'équipement disponible. L'objectif est d'obtenir une « bouillie » d'intrants adaptée qui ne soit pas trop visqueuse pour être projetée à l'hydroseeder. Pour qu'un mulch soit efficace, il doit être en contact étroit avec les semences et recouvrir complètement le substrat. Afin de favoriser la mise en œuvre d'intrants adaptés, il est recommandé de faire mentionner les caractéristiques des mulchs attendues dans les dossiers de consultation des entreprises (DCE) et dans les cahiers des clauses techniques préparatoires (CCTP).

Equipements nécessaires

- produits utilisés, cuve ou bac pour réaliser les mélanges ;
- épandeur à fumier ou fourche pour le paillage manuel ;
- agrafes et marteau pour fixer les filets de toile de jute ou de coco ;
- hydroseeder pour projeter des mulchs à fibres longues.



Fig. 63 – Plantules protégées par un mulch de fibres de bois longues, 5 semaines après semis

MISE EN ŒUVRE

Utiliser des agents fixateurs

- utiliser de préférence un fixateur organique biodégradable (gomme de guar, extraits d'algues ou de plantain...) sur des substrats peu exposés à l'érosion hydrique et/ou lorsque la durée de fixation recherchée est de l'ordre de 3 mois ;
- utiliser des fixateurs synthétiques (famille des polymères et copolymères) si la durée de fixation recherchée est de 4 à 12 mois ;
- demander aux fournisseurs les fiches techniques des produits ;
- respecter les doses indiquées par le fournisseur afin de ne pas nuire à la capacité de germination des semences et de levée des plantules ;
- ou adapter les produits et les doses en fonction des substrats, exposition et pentes.

Épandre du bois raméal fragmenté avant semis afin de protéger et d'améliorer les sols

- épandre une couche de 3 à 8 cm d'épaisseur en fonction des besoins du substrat en matière organique et la laisser se décomposer ;
- semer directement sur le BRF lorsque l'épaisseur des fragments de bois n'exède pas 2 cm du fait de leur décomposition en humus ;
- favoriser si possible une germination et une levée rapide et homogène des plantes en remuant superficiellement la couche de BRF et d'humus juste après le semis.

Installer et fixer un paillage naturel (paille, foin)

- utiliser cette technique de préférence sur des pentes faibles, à l'abri du vent et des écoulements d'eau ;
- ameubler le substrat en surface juste avant l'épandage du paillage ;
- épandre juste après le semis avec une pailleuse, un épandeur à fumier et/ou une fourche, une couche de paille ou de foin de 3 à 4 cm d'épaisseur (300 à 600 g/m²) laissant passer la lumière ;
- arroser ou passer un rouleau sur la paille ou le foin juste après leur épandage afin de favoriser leur fixation biologique au sol ;
- déposer des morceaux de bois, des agrafes ou du grillage dessus en différents endroits si le site est compacté en surface et/ou exposé aux vents et aux ruissellements d'eau.

Installer des filets en toile de jute ou de coco

- consulter les recommandations d'utilisation propres aux différents produits existants ;
- mettre en place les filets de protection, les agraffer sur les talus ou sur les zones de fortes pentes présentant des phénomènes d'érosion superficielle. S'il n'est pas possible d'en poser sur tout le talus, ces filets peuvent être installés en haut de celui-ci (sur l'épaule) pour enrayer l'érosion régressive et stabiliser les bourrelets.

Utiliser un mulch de fibres de bois à l'hydroseeder

- consulter les présentations des différents produits existants (caractéristiques des matériaux constitutifs, propriétés et effets sur les conditions de développement des semis...) ;
- sélectionner les produits avec les propriétés adaptées aux objectifs de protection du sol et des semis définis en fonction des conditions écologiques du site (cf. : Fig. 62 et Tab. 7). Sur terrains pentus ou exposés à l'érosion hydrique, il est fortement conseillé d'utiliser des matrices fibrillaires ;
- ajuster le dosage en semences, en engrais et en mulch en fonction des caractéristiques du site et de la période d'ensemencement en évitant de rendre le mélange trop visqueux pour sa projection ;
- lorsque de fortes concentrations de mulch sont indispensables, l'application du mélange de revégétalisation peut nécessiter plusieurs projections ;
- projeter, du bas vers le haut des talus ou des pentes à stabiliser, le mélange de semences, de fertilisants et de mulch en une ou plusieurs fois ;
- après les premières projections, vérifier l'épaisseur et la consistance du mulch au sol ainsi que l'homogénéité du mélange afin d'ajuster les dosages.

Sources: Haselwandter (1997), Lignier & Rosset, (2012), Magnin (2003), www.eurotec.fr, www.hydroseeding-scheier.com, www.profileeivs.com, Rickson (1995).

Type de mulch	Composition	Matériel pour l'application	Capacité de rétention en eau (%)	Longueur des principales fibres (mm)
Matrice fibrillaire à haute performance (Coco Flex ET-FGM)	51,5 % de fibres de bois de feuillus, 21 % de fibres de coco, 7% de fibres de renforcement biodégradables, 10 % de liants et stabilisateurs, 10% d'humidité	Machine de projection hydraulique avec une large buse	1500	
Matrice fibrillaire à haute performance (Flexterra® HP-FGM™)	75% de fibres de bois de feuillus, 9 % de fibres de renforcement biodégradable synthétiques, 5% d'agents fixateurs et fluidifiant, 5% d'activateur de croissance, 5% de céramique poreuse	Hydroseeder (hydromulching)	1700	2 à 10
Matrice fibrillaire (FLEX GUARD® FRM...)	82 % fibres de bois de feuillus, 5 % de fibres synthétiques, 9 % d'agents fixateurs organiques, 12% d'humidité et 3% d'autres composants	Hydroseeder (hydromulching)		
Matrice fibrillaire (Euro Mat FGM...)	75% fibres de bois de feuillus, 9% de fibres de renforcement et 10% d'agents fixateurs organiques	Hydroseeder (hydromulching)	900 - 1200	2 à 13
Matrice fibrillaire (SOIL GUARD® BFM, SCHEIER® BFM...)	>88% de fibres de bois de feuillus, < 9% d'agents fixateurs organiques et d'activateurs minéraux du sol	Hydroseeder (hydromulching)	1000	
Matrice fibrillaire Euro Mat EFM	77 % fibres végétales (Pinus Silvestris), 17 % agents stabilisants, 5 % d'activateurs de croissance	Hydroseeder (hydromulching)	1100	2 à 10
Matrice fibrillaire (Euro Mat BFM EC ^{1,2} , Scheier® BFM...)	65% de fibres de bois (Pinus Silvestris), 26 % de fibres de cellulose recyclée, 9 % d'agents fixateurs et d'activateurs de croissance	Hydroseeder (hydromulching)	1300	2 à 10
Mulch fibres de bois (HYDRO-MULCH « UE » ^{1,2} , Scheier HM+...)	> 95 % de fibres de bois longues homogènes, 0 à 3% d'agents fixateurs	Hydroseeder (hydromulching)	700 à 1000	2 à 10
Mulch fibres de bois + cellulose (Hydro-Mulch «3A» ^{1,2} ...)	Mélange de fibres de bois et de fibres de cellulose recyclée	Hydroseeder (hydromulching)	700 à 1100	2 à 10
Mulch de cellulose (Cellulose+ Tack, SCHEIER RCP PLUS®)	95% de fibres de cellulose recyclée et 3% de fixateur organique	Hydroseeder (hydromulching)	1000	

Tab. 7 – Caractéristiques des principaux mulchs disponibles sur le marché avec les préconisations d'utilisation

Sources : Fiches de présentation des produits des fournisseurs.

1 – Produits élaborés en France

2 – Produits utilisables en Agriculture biologique

Capacité à épouser les micro-reliefs	Cohésion du mulch	Durée de protection contre l'érosion (mois)	Dosage préconisé (kg/ha)	Eau à apporter par kg de produit (l)	Prix moyen par kg
-	++	18	3400 - 4500	22	3,8
++	++	18	3400 - 4500	22	3,7
++	++	> 24	2700 - 3400	22	
++	++	18	3400 - 4000	22	3,7
++	++	> 9	3400 - 4500	22	4
++	+	6 à 24	3400 - 4000	13	2,9
++	+	6 à 24		7	
	+	6 à 12	2500 - 3400	7	
	-	2 à 6	400 - 1300		1,6
		<1 mois	250 - 1000		

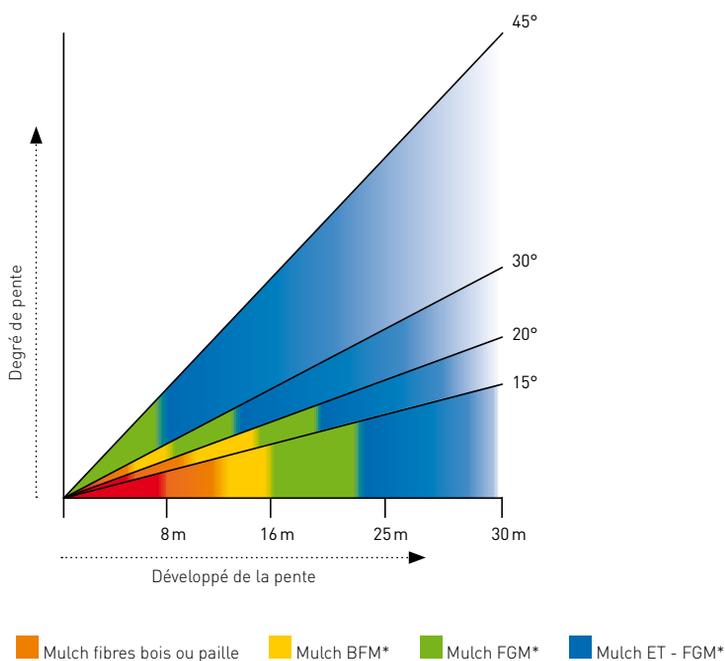


Fig. 64 – Pailleuse utilisée pour ensemercer un talus routier avec du foin vert

Principaux critères de choix d'un mulch	Effets sur les principales conditions de réussite du semis		
	Germination des semences	Protection du substrat et des semis contre l'érosion	Développement des plantules
Capacité de rétention en eau (%)	++	+	++
Longueur et caractéristiques des principales fibres (mm)	+	++	+
Capacité à épouser les micro-reliefs du sol	++	++	++
Cohésion du mulch	++	++	+
Durée de protection contre l'érosion (mois)	-	++	++

Très intéressant	++	Intéressant	+	Moyennement intéressant	-	Peu intéressant	--
------------------	----	-------------	---	-------------------------	---	-----------------	----

Tab. 8 – Principaux critères de choix d'un mulch



* voir Tab. 9

Fig. 65 – Spectre d'utilisation de différents types de mulch en fonction de la longueur et du degré de la pente à traiter

D'après le guide technique européen de l'hydroseeding (Lignier & Rosset, 2012).

Déterminer des techniques opérationnelles en fonction du contexte local.

Il n'y a pas de méthode de semis préférentielle. Chacune présente des avantages et des inconvénients selon la configuration du terrain. Le semis par épandage de foin vert riche en semences est une pratique très agroécologique qui peut être réalisée par les acteurs locaux sur des terrains peu pentus. Le semoir mécanique permet une régularité du semis mais il ne peut être utilisé qu'en zone plane. Le semis à l'hydroseeder permet de semer efficacement des zones plus pentues et irrégulières en intégrant dans la « bouillie » projetée des mulchs de fibres de bois et/ou des adjuvants fixateurs ainsi que des fertilisants. Avant tout semis mécanisé, il est important de bien nettoyer les machines afin d'éviter d'introduire sur le site revégétalisé des semences indésirables résiduelles. Pour chaque méthode de semis, il sera important de bien ajuster la dose utilisée en fonction des mélanges de semences, du niveau de compaction et de matière organique de la couche superficielle du sol et de son exposition à l'érosion et aux variations climatiques.

INTÉRÊTS

Le semis à l'hydroseeder permet d'installer rapidement et efficacement un couvert végétal. Les semences sont projetées dans un mélange d'eau, de fertilisants, d'agents fixateurs et/ou de mulchs de fibres de bois. Cette solution favorise l'adhérence des semences au sol et crée des conditions favorables à leur développement. Le mulch, protecteur et biodégradable, améliore les sols de mauvaise qualité. Bien que représentant une charge de travail plus conséquente, les semis par transfert de foin vert sont très intéressants d'un point de vue écologique. Cette technique repose sur l'utilisation de ressources végétales, de matériels et de savoir-faire localement présents dans les zones où les éleveurs fauchent des prairies.

Un semoir mécanique est adapté à des sols plans, peu pentus, grumeleux. Son usage permet de bien répartir les semences et simultanément de répandre de l'engrais. Les semoirs centrifuges ne sont pas conseillés, le vent pouvant emporter les semences très légères. Le semis manuel à la volée peut donner de bons résultats sur des sols peu exposés à l'érosion et grumeleux en surface, et ceci à moindre coût.

CONDITIONS OPTIMALES

Sur des surfaces planes en zone d'élevage, le recours aux semis par épandage de foin vert nécessite d'organiser les travaux de manière à ce que le substrat de la parcelle receveuse soit préparé juste avant la fauche. L'utilisation d'un hydroseeder avec une capacité suffisante et la présence d'un point d'eau à faible distance permettent d'améliorer la productivité du travail. L'ensemencement est alors possible dans un rayon de plus de 40 mètres, en fonction de la longueur et de la portée de la lance à eau. Sur des sols peu pentus, compactés et modérément exposés à l'érosion, l'introduction d'un simple agent fixateur dans le mélange de semences suffit à le faire adhérer. Pour des zones escarpées où la préparation du sol est difficile, voire impossible, l'utilisation de mulchs de fibres de bois renforcées de fibres longues collantes s'avère nécessaire. L'usage d'un semoir mécanique est possible sur des sites peu pentus, sans irrégularités topographiques, si les sols sont fins, grumeleux et secs. Le semis manuel à la volée est intéressant sur les sols relativement fertiles et grumeleux en surface.

Equipements nécessaires

- hydroseeder pour semis hydraulique ;
- fourche, épandeur à fumier ou pailleuse pour le semis par transfert de foin vert ;
- semoir mécanique simple ou pneumatique ;
- semoir combiné à une herse rotative ;
- semoir à dents. Les dépôts de semences doivent être effectués entre les dents et le rouleau plombeur.

MISE EN ŒUVRE

Le semis par transfert de foin vert (cf. : fiche 9)

- étaler le foin sur 3 à 8 cm d'épaisseur sur le site à revégétaliser. Pour obtenir rapidement une couverture végétale dense, le volume de foin épandu doit permettre un semis de graines supérieur ou égal à 2 g/m² (cf. fiche 9).

Le semis à l'hydroseeder

- choisir les agents fixateurs ou les mulchs de fibres de bois les plus adaptés au site, à la pente, au substrat receveur, à l'exposition à l'érosion ;
- mêler eau, semences, fertilisants, agents fixateurs et/ou mulchs dans le réservoir à agitation mécanique de l'hydroseeder ;
- adapter les dosages de la cuve de manière à éviter que le mélange soit trop visqueux pour être projeté lorsque les besoins en intrants sont importants ;
- régler la buse et la pression de l'hydroseeder pour réaliser un ensemencement suffisant et homogène du site. La vitesse d'arrosage peut être adaptée au dosage de semence.

Le semis au semoir mécanique

- régler le semoir en fonction des doses et des tailles de semences ;
- ajuster la profondeur de semis pour une bonne levée de l'ensemble des espèces du mélange de semences ;
- bien mélanger les semences avec les fertilisants ou des matériaux inertes (sable, semoule...) pour maîtriser la dose de semis utilisée, la taille des semences sauvages étant souvent plus petite que celle des plantes cultivées ;
- en cas de fertilisation minérale lors du semis, régler le semoir pour un apport adapté de fertilisants à proximité des semences.

Le semis manuel à la volée

- estimer le nombre de poignées de semences pour une surface donnée, ceci pour respecter le dosage recommandé ;
- semer à la volée de façon homogène ;
- recouvrir les semences d'une fine épaisseur de terre.

Sources : Krautzer *et al.* (2006), Lignier & Rosset, (2012).

Type de traitement	Dosage moyen pour une surface considérée de 10 000 m ²				Volume de fournitures (m ³)	Quantité d'eau pour le mélange (litre)	Surface traitée par cuve (m ²)	Nombre de remplissage de cuve à prévoir	Tps d'application (nbre de cuves x tps de gestion d'une cuve) (h)
	Mélange de semences (kg)	Amendement ou engrais organiques	Agents fixateurs (kg)	Mulch à fibres de bois et fibres collantes (kg)					
Hydroseeding sans apport de mulch	133	760	30		2,5	2000	2000	4,0	6
Hydroseeding	133	760	30	600	4	9880	1682	5,9	8
Hydromulching avec application d'une membrane anti-érosion	250	760	Contenu dans le mulch	3400	15	57000	300	33,3	45

Tab. 9 – Données pour adapter les dosages, les surfaces à traiter et prévoir le temps de mise en œuvre d'un semis avec un hydroseeder de 2000 l



Fig. 66 – Semis à l'hydroseeder

Ajuster les produits, leur dosage et les périodes de semis aux conditions écologiques des sites.

Pour réussir, un semis doit être réalisé à la bonne période avec un mélange d'intrants approprié aux besoins des plantes et aux conditions écologiques locales. Les acteurs de la revégétalisation doivent disposer d'une certaine expérience pratique pour déterminer les intrants et les dosages adaptés. Conscient de cette nécessité, plusieurs d'entre eux font appels aux conseils des entreprises de revégétalisation ou de fournisseurs d'intrants. Etant donné le prix conséquent de certains intrants, l'utilisation de doses trop faibles est souvent constatée. Les deux grilles de détermination des types et quantités d'intrants utilisables dans certaines conditions écologiques présentées ci-après ont pour but de présenter des combinaisons d'intrants qui ont fait leurs preuves dans le cadre d'expérimentations animées par le Conservatoire botanique. Les préconisations de la fiche 19 a sont adaptées pour des sites peu pentus (< 30%) alors que celles de la fiche 19 b sont plus appropriées pour des sites pentus (> 30%). Comme toutes « recettes » standards, elles comportent de nombreuses limites. Elles peuvent cependant aider des personnes peu expérimentées à composer des mélanges mieux adaptés à l'altitude et à les semer à des périodes favorables. A terme, il serait préférable que les acteurs de la revégétalisation soient en mesure de déduire les intrants adaptés en mobilisant des connaissances et principes agronomiques.

Sources : Lignier & Rosset (2012), Compte-rendus de suivis des expérimentations et rapports annuels présentant les résultats des travaux menés dans cadre du programme Ecovars^{3D}
www.ecovars.fr

Période de semis et intrants préconisés sur terrain peu pentu

	Altitude	Sol pauvre		Sol peu fertile	
		Site chaud ensoleillé	Site frais/ombragé	Site chaud ensoleillé	Site frais ombragé
Périodes de semis favorables	1000 - 1700 m	mars ou sept	mars, avr, août, sept	mars, avr, août, sept	mars, avr, mai, août, sept
	1700 - 2400 m	avril ou sept	avril, août, sept	avril, août, sept	avril à août, sept
Dosage agents fixateurs	1000 - 1700 m	5 kg/ha	5 kg/ha	5 kg/ha	5 kg/ha
	1700 - 2400 m	5 à 10 kg/ha	5 à 10 kg/ha	5 à 10 kg/ha	5 à 10 kg/ha
Dosage mulch¹ à fibres de bois	1000 - 1700 m	1000 kg/ha	500 kg/ha	800 kg/ha	250 kg/ha
	1700 - 2400 m	1500 kg/ha	800 kg/ha	1000 kg/ha	500 kg/ha
Dosage fertilisants² (kg/ha)	1000 - 1700 m	1500 kg/ha	2500 kg/ha	1000 kg/ha	1500 kg/ha
	1700 - 2400 m	1500 kg/ha	2500 kg/ha	1000 kg/ha	1500 kg/ha
Exemples de mélanges de semences adaptés³	1000 - 1700 m	Semences récoltées sur pelouses ou prairies « semi-naturelles »			
		90 kg/ha	70 kg/ha	90 kg/ha	60 kg/ha
		Semences des marques « Végétal local » ou « Pyrégraine de nèou »			
		110 kg/ha	100 kg/ha	100 kg/ha	80 kg/ha
	1700 - 2400 m	Semences récoltées <i>in situ</i> ou d'origine locale garantie + 2 espèces exogènes			
		90 kg/ha	70 kg/ha	80 kg/ha	60 kg/ha
		Semences récoltées <i>in situ</i> sur pelouses et prairies « semi-naturelles »			
		125 kg/ha	80 kg/ha	100 kg/ha	70 kg/ha
		Mélange de semences des marques « Végétal local » ou « Pyrégraine de nèou »			
		150 kg/ha	100 kg/ha	120 kg/ha	100 kg/ha
		Semences récoltées <i>in situ</i> ou d'origine locale garantie + 2 espèces exogènes			
		125 kg/ha	80 kg/ha	100 kg/ha	70 kg/ha

Fig. 67 – Proposition de clé de détermination des types et des quantités d'intrants à utiliser sur terrains peu pentus

1 – Mulch de fibres de bois visant principalement à maintenir de l'humidité au sol.

2 – Fertilisants 100% organique ou organo-minéral (N=5, P=5, K=5).

3 – L'utilisation de semences récoltées localement limite les risques d'introduction de plantes exogènes.



Fig. 68a – Semis à 125 kg/ha d'un mélange de semences locales récoltées à la brosseuse [Superbagnères, 06/10/17]. L'objectif était d'évaluer les performances des semences locales sur des substrats dégradés par d'anciens terrassements.



Fig. 68b – Implantation de la végétation un an après le semis (au premier plan, le 17/10/18).



Fig. 69a – Croissance des plantules 3 semaines après un semis de 100 kg/ha de semences de prairie de fauche récoltée à la brosseuse [Barèges, 29/09/15].



Fig. 69b – Végétation de la prairie de fauche reconstituée 4 ans après le semis (08/08/19).



Fig. 70a – Etat du substrat lors du semis de 125 kg/ha de 5 espèces de la marque « Pyrégraine de nèou » [Grand-Tourmalet, 13/10/16].



Fig. 70b – Développement des plantules deux ans après semis (21/09/18).

Période de semis et intrants préconisés sur talus et terrains pentus (30 à 100 %)

	Altitude	Sol pauvre		Sol peu fertile	
		Site chaud ensoleillé	Site frais/ombragé	Site chaud ensoleillé	Site frais ombragé
Période de semis	1000 - 1700 m	mars, avril ou sept	mars, avr, août, sept	mars, avr, août, sept	mars, avr, mai, août, sept
	1700 - 2400 m	avril ou sept	avril, mai, août, sept	avril, mai, août, sept	avril à août, sept
Dosage mulch à fibres de bois renforcées¹	1000 - 1700 m	3000 kg/ha	2500 kg/ha	2000 kg/ha	2000 kg/ha
	1700 - 2400 m	3500 kg/ha	3500 kg/ha	2500 kg/ha	2500 kg/ha
Dosage fertilisants organiques²	1000 - 1700 m	2 x 1000 kg/ha	2 x 1000 kg/ha	2 x 500 kg/ha	2 x 1000 kg/ha
	1700 - 2400 m	2 x 1000 kg/ha	2 x 1000 kg/ha	2 x 500 kg/ha	2 x 1000 kg/ha
Exemples de mélanges de semences adaptés³	1000 - 1700 m	Semences récoltées sur pelouses ou prairies « semi-naturelles »			
		125 kg/ha	100 kg/ha	100 kg/ha	80 kg/ha
		Semences des marques « Végétal local » ou « Pyrégraine de nèou »			
		125 kg/ha	100 kg/ha	100 kg/ha	80 kg/ha
	1700 - 2400 m	Semences récoltées <i>in situ</i> ou d'origine locale garantie + 2 espèces exogènes			
		125 kg/ha	100 kg/ha	100 kg/ha	60 kg/ha
		Semences récoltées <i>in situ</i> sur pelouses et prairies « semi-naturelles »			
		150 kg/ha	125 kg/ha	125 kg/ha	100 kg/ha
		Mélange « Pyrégraine de nèou »			
		200 kg/ha	150 kg/ha	150 kg/ha	125 kg/ha
Semences récoltées <i>in situ</i> ou d'origine locale garantie + 2 espèces exogènes					
150 kg/ha	125 kg/ha	125 kg/ha	100 kg/ha		

Fig. 71 – Proposition de clé de détermination des types et des quantités d'intrants à utiliser sur terrains pentus

1 – Mulch à fibres longues renforcées pour créer des membranes de protection: ces mulchs sont intéressants car ils peuvent protéger le sol et les plantules de l'érosion plusieurs mois.

2 – Fertilisants 100% organique ou organo-minéral (N=5, P=5, K=5). Il est conseillé de prévoir une fertilisation en 2 temps.

3 – L'utilisation de semences récoltées localement limite les risques d'introduction de plantes exogènes.



Fig. 72a – Talus avant restauration écologique avec 100 kg/ha de semences récoltées à la brosseuse et du mulch à fibres de bois longues (Andorre, Soldeu el Tarter, 07/10/15).



Fig. 72b – Talus restauré 9 mois après le semis (07/07/16).



Fig. 73a – Un mélange composé de 50% de semences récoltées à la brosseuse, de 25 % de seigle et 25 % de Vesce de Cerdagne (Font-Romeu, 25/07/17).



Fig. 73b – Talus revégétalisé 10 mois après semis (06/08/18).



Fig. 74a – Semis de 125 kg/ha d'un mélange de 5 espèces de la marque «Pyrégraine de nèou» (Grand-Toumalet, 13/10/16).



Fig. 74b – Talus revégétalisés deux ans après semis (21/09/18).

Protéger du piétinement et du pâturage trop précoce.

Le pâturage et le piétinement des zones fraîchement semées peuvent faire échouer une revégétalisation. Les troupeaux de bovins et d'ovins apprécient les jeunes pousses. Ils peuvent endommager les zones revégétalisées. Une protection temporaire est donc indispensable. Elle réduira aussi les passages des randonneurs sur les couverts végétaux.

INTÉRÊTS

Une jeune plante, souvent très appétente, est sensible au fait d'être broutée. De plus, elle supporte difficilement le piétinement par les animaux et les randonneurs, ses racines ne sont pas encore assez développées. Une protection lui est profitable.

CONDITIONS OPTIMALES

Pour envisager la mise en défens d'un site, l'adhésion des éleveurs aux objectifs de restauration écologique du site est indispensable. Des concertations doivent donc être animées le plus tôt possible afin de présenter l'intérêt de cette mesure visant à reconstituer des ressources fourragères plus conséquentes deux à trois ans après les semis. Sur les sites fréquentés par les troupeaux, une mise en défens est nécessaire pendant une année ou plus sur sol pauvre et exposé à l'érosion.

Equipements nécessaires

- piquet en bois ou en fer,
- clôture électrique ou en grillage,
- fil de fer, tenaille, clou, marteau, masse
- batterie pour alimenter la clôture électrique et bâche de protection. Des modèles de batterie alimentés par des panneaux solaires sont intéressants (il peut être important de mettre en place un système anti-vol).

MISE EN ŒUVRE

- négocier la mise en défens des zones revégétalisées avec les éleveurs et les groupements pastoraux, en visant une reconstitution de la productivité en fourrage de la pelouse ou de la prairie ;
- expliquer aux usagers du site les précautions à prendre ;
- adapter le modèle de clôture en fonction du temps et des objectifs de l'installation ;
- utiliser des plaquettes signalétiques pour que les gallinacés évitent de heurter les clôtures ;
- mettre en défens le site la première année après semis. Prolonger la mise en défens si la végétation présente toujours des signes de fragilité après un an ;
- communiquer auprès des randonneurs sur la mise en défens (signalétique sur les zones sensibles, communications sur les sites touristiques...).

Sources : Syndicat mixte d'aménagement du Dessoubre (2015)



Fig. 75 – Clôture de protection d'une végétation subalpine

Évaluer les résultats des semis et en cas de taux de couverture insuffisant, procéder à un réensemencement.

Le taux de recouvrement végétal d'un site permet d'évaluer la réussite d'une opération de revégétalisation. Il constitue un indicateur synthétique. En fonction des objectifs du suivi, ce paramètre peut être complété par d'autres, plus difficiles à quantifier, comme la composition floristique et la production de biomasse de la végétation, les caractéristiques du sol, l'appétence pour les animaux, la conservation de la neige... Il est généralement admis par les scientifiques et les gestionnaires qu'un taux de recouvrement végétal de 70 à 80 % est efficace contre l'érosion en montagne.

INTÉRÊTS

Le suivi des parcelles permet d'évaluer l'efficacité des travaux de revégétalisation et d'adapter la gestion du site si nécessaire. Les deux niveaux de suivi suivants peuvent être développés :

- un suivi simple basé sur l'évaluation des taux de recouvrement végétal par le gestionnaire. Il permet de vérifier le succès de l'opération, et de mieux ajuster si besoin les techniques pour de futures revégétalisations ;
- un suivi plus complexe dont l'objectif est de comprendre le fonctionnement des systèmes sols-plantes restaurés. Ces travaux réalisables par des spécialistes peuvent permettre de déterminer les facteurs influençant la réussite des revégétalisations.

CONDITIONS OPTIMALES

Pour le suivi simple

L'estimation du recouvrement peut se faire en évaluant le taux de recouvrement végétal du site à l'aide de quadrats ou de transects. Une année après les semis, la revégétalisation est considérée comme réussie lorsque :

- le semis recouvre plus de 75 % de la surface ensemencée non rocheuse lorsque les milieux

environnants sont constitués de pelouses, de landes ou de forêts. Le nombre de plantules observées par décimètre carré (dm²) doit alors être supérieur à 15 ;

- la différence entre les taux de recouvrement obtenus et ceux observés à proximité des sites restaurés est inférieure à -10% lorsque les milieux à restaurer sont composés d'éboulis et de rochers.

Pour les suivis et études analytiques

Un protocole de suivi/évaluation doit être adapté aux objectifs de suivi et au type de végétation étudiée. Il est alors important de se renseigner sur les méthodes de suivi développées et/ou d'échanger avec des personnes expérimentées dans ce domaine. Cette démarche favorise l'identification de compromis opérationnel pour la mise en œuvre de suivis. Des systèmes d'échantillonnage basés sur des suivis de placettes fixes facilitent l'obtention de données quantitatives sur plusieurs années. La caractérisation de la couverture végétale et des substrats à revégétaliser avant le semis est importante pour la compréhension des trajectoires des systèmes sols-plantes restaurés. Lorsque cela est possible, il est intéressant de suivre des parcelles non revégétalisées ou restaurées diffé-

remment afin de comparer les résultats obtenus. Les caractéristiques des végétations ciblées comme objectif de restauration écologique peuvent aussi être déterminées à partir de parcelles de référence non perturbées à proximité du site.

Equipements nécessaires

Pour le suivi simple :

- quadrats de mesure des taux de recouvrement végétaux ;
- décamètres et tiges de fer pour les relevés des points de contacts de la tige avec des végétaux le long de transects.

Pour les suivis et études analytiques, il faut aussi :

- fiches préremplies pour faciliter la saisie de données ;
- outils de prélèvement et d'analyse d'échantillons de plantes et de sols ;
- guides d'identification de la flore locale ;
- GPS, logiciels de traitement des données.

MISE EN ŒUVRE

Pour les suivis simples :

- effectuer des relevés en utilisant des quadrats (Fig. 76) ou en relevant des points de contacts avec des végétaux le long de transects (Fig. 77) en différents endroits représentatifs de la parcelle ;
- si la méthode des quadrats est choisie, mesurer le recouvrement végétal sur au moins 5 quadrats de 0,25 m² ;
- si la méthode du transect avec points contacts est choisie, faire un ou des transects représentatifs de la diversité des sites. Sur ces transects, disposer une tige de fer perpendiculairement au sol à intervalles réguliers et noter si elle est en contact avec des plantes ou seulement avec des éléments minéraux. Il est recommandé de positionner la tige de fer au sol sur au moins 50 points de la parcelle de manière à obtenir un pourcentage de recouvrement végétal de la parcelle proche de la réalité.

Pour les suivis et études analytiques :

- consulter des références bibliographiques pour ajuster le protocole aux objectifs de la restauration écologique (réduction de l'érosion des sols, maintien de la biodiversité...) et aux moyens disponibles ;
- déterminer les paramètres à suivre et des protocoles de mesure. Si l'objectif prioritaire est de limiter l'érosion des sols, le suivi permet

de vérifier l'état de la couverture végétale et sa capacité à fixer le sol et améliorer sa fertilité. Si l'objectif est de créer des associations de plantes diversifiées et caractéristiques des milieux, les suivis consisteront à inventorier les contributions des différentes plantes de la formation végétale. Lorsque l'objectif consiste à implanter des parcelles fourragères ou à améliorer les propriétés des sols, des mesures de biomasses aériennes et racinaires sont utiles. La combinaison des deux méthodes est parfois intéressante pour compléter des informations obtenues ;

- définir un plan d'échantillonnage en tenant compte de la diversité des situations rencontrées sur la zone revégétalisée (taille des parcelles de suivi, localisation et périodicité des mesures) ;
- évaluer annuellement ou plus régulièrement les évolutions du taux de recouvrement végétal et des autres paramètres retenus pour le suivi ;
- sur des jeunes végétations de pelouses subalpines, des suivis à l'aide de quadrats sont intéressants car ils permettent d'obtenir des valeurs des paramètres suivis par unité de surface. Il est alors recommandé de disposer sur la parcelle des quadrats à plusieurs endroits représentatifs afin de procéder à une évaluation visuelle des taux de recouvrement des végétaux et des autres paramètres suivis ;
- sur des végétations plus hautes de prairie, le recours à des inventaires par points contacts le long de transects est plus adapté pour déterminer les contributions relatives des différentes espèces au recouvrement du sol. Il est alors recommandé de réaliser des transects sur des lignes en travers de la parcelle pour estimer la contribution des plantes et autres paramètres suivis au recouvrement du sol ;
- si l'objectif est de mieux adapter les mélanges de semences de revégétalisation proposés dans des conditions écologiques et de chantier données, il est intéressant de déterminer les espèces semées qui s'implantent rapidement et recouvrent durablement le sol ;
- si l'objectif est d'évaluer les intérêts écologiques des associations de plantes réimplantées, il est intéressant de comparer les compositions des associations de plantes reconstituées par rapport à celles des formations végétales naturelles des milieux à restaurer. Ces études peuvent être

complétées par des évaluations relatives des fonctionnements des communautés végétales et des services écosystémiques qu'elles fournissent.

Ces études analytiques sur les intérêts écologiques des restaurations écologiques nécessitent de :

- procéder à un inventaire des plantes permettant d'obtenir soit le taux, soit la contribution relative au recouvrement des différentes espèces présentes dans les parcelles (évaluation à l'aide de quadrats ou de relevés point contact sur une ligne de transect) ;
- utiliser ces données pour calculer des indices d'Ellenberg et de Shanon (cf. : Glossaire) et comparer les valeurs ;
- faire des regroupements d'espèces par famille ou par groupes fonctionnels (poacées, autres mono-

cotylédones, fabacées et autres dicotylédones ou compétitrices, tolérante au stress, rudérales) ;

- analyser les différences de proportions des groupes fonctionnels et évaluer leurs potentiels effets sur le fonctionnement et les trajectoires des végétations et des sols ;
- 3 ans après les semis, évaluer si les végétations créées ont une structure et un fonctionnement écologique proche de celles naturellement présentes sur le site ;
- évaluer si les pratiques et les mélanges de semences utilisés en restauration écologique peuvent être mieux ajustés.

Sources : Betoni [2015], Burylo [2011], Bussery (1989), Cornelissen et al. [2003], Nizan [2016], Huc *et al.* [2018], Grime [1973], Grime (1987), Vicenç *et al.* [2019], Westoby (1998).



Fig. 76 – Inventaire des plantes dans un quadrat sur pelouse subalpine



Fig. 77 – Inventaire botanique par point-contact sur prairie de fauche

Une tige en fer est plantée à intervalle régulier sur la ligne de transect. Les espèces qui touchent la tige plusieurs fois en un point donné ne sont citées qu'une seule fois. Lorsque des dizaines de points contacts sont réalisés, cette technique permet d'avoir la contribution d'une espèce végétale au recouvrement végétal de la parcelle (%).

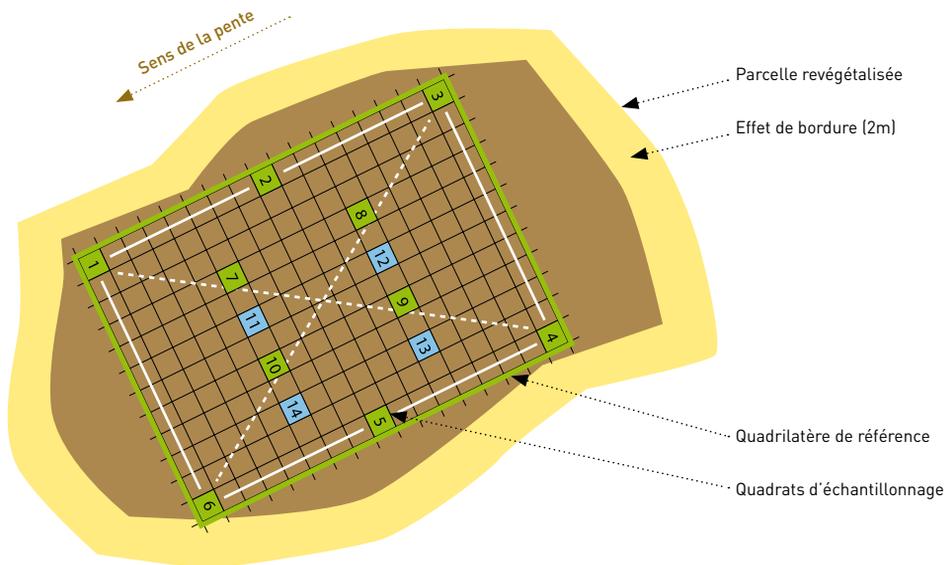


Fig. 78 – Localisation des quadrats de suivi sur une parcelle revégétalisée

En vert, localisation des quadrats pour le suivi des végétations et de la surface du sol. En bleu, localisation des quadrats utilisés pour les prélèvements de biomasse végétale et d'échantillons de sols. Ces 4 quadrats sont déplacés chaque année pour éviter de prélever des zones perturbées lors des précédents échantillonnages.



Fig. 79 – Quadrats utilisés (50 cm x 50 cm = 0,25 m²)

Ils sont repositionnés chaque année au même endroit grâce à des agrafes implantées dans le sol.

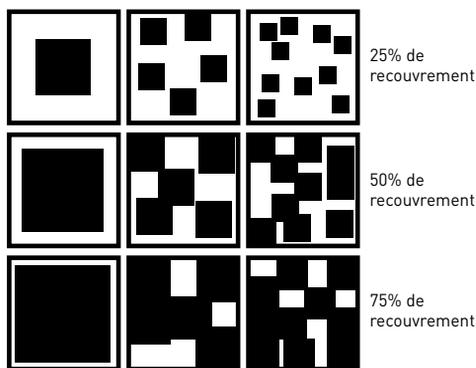


Fig. 80 – Grille d'estimation des recouvrements végétaux

Le recouvrement végétal de chaque espèce est déterminé à partir des observations réalisées sur les mailles des quadrats (10 x 10 cm). Le niveau de précision utilisé lors des évaluations est de l'ordre du ¼ de maille.

Révéler aux habitants, aux professionnels, aux touristes, le sens des investissements.

La perception d'un aménagement réalisé en montagne et de la revégétalisation qui l'accompagne diffère selon la position des publics. Un randonneur considérera le tout comme une atteinte à l'environnement, un skieur pourra être indifférent, un élu local en attendra une performance technique, un éleveur verra la chose comme une ressource perdue, etc. Dans tous les cas, ces publics sont en demande d'information. Les travaux peuvent être bien intentionnés, mais en les réalisant sans en expliciter le sens on s'expose à des incompréhensions. En commençant par des mises en défens contestées ou non respectées...

INTÉRÊTS

Dans un premier temps, une communication peut révéler le sens des opérations de revégétalisation et favoriser l'adhésion de divers acteurs. Elle permet ensuite la construction auprès du public (habitants du territoire, touristes et randonneurs l'été, skieurs l'hiver, etc.) d'une image juste des opérations de revégétalisation : existence de pratiques de revégétalisation, complexité des interventions, nécessité de revégétaliser avec des espèces sauvages provenant des Pyrénées, objectifs des protections mises en place, etc. À terme, les démarches de communication peuvent contribuer à un changement des regards sur l'impact des activités humaines et sur des solutions fondées sur la Nature. Elles peuvent aussi bénéficier à l'image des territoires de montagne et à celle des acteurs du tourisme.

CONDITIONS OPTIMALES

La réflexion sur une stratégie de communication doit intervenir dès l'origine des projets d'aménagement et de revégétalisation.

MISE EN ŒUVRE

- identifier les publics qui seront confrontés aux travaux d'aménagement et de revégétalisation (élus locaux, éleveurs, techniciens, habitants, touristes, randonneurs, skieurs...) et préciser les objectifs de communication généraux ou spécifiques à chaque cible (compréhension des enjeux de la revégétalisation, information sur le chantier et les techniques mises en œuvre, sensibilisation et comportements, image de marque des acteurs de la revégétalisation, etc.) ;
- élaborer un discours adapté et le traduire de façon créative sur les supports de communication sélectionnés (relations presse, lettre d'information, signalétique...) ;
- veiller à concevoir une communication en cohérence avec les intentions de la revégétalisation (respect de l'environnement, intégration paysagère de la signalétique, etc.).

Sources : Henry *et al.* (2011).



Fig. 82 – Végétation obtenue un an après un transfert de foin vert sur une banquette de carrière

4 | **Plantes sauvages des Pyrénées profitables en revégétalisation**

Il est tout d'abord recommandé d'identifier des espèces dont le potentiel d'utilisation est important. L'abondance et la répartition des plantes dans les milieux aménagés constituent des critères importants de sélection. Dans les Pyrénées où les conditions de milieux sont variées, plusieurs espèces caractéristiques des principales communautés végétales affectées par les chantiers peuvent être utilisées.

En général, il est pertinent d'utiliser des semences d'espèces qui ont de fortes capacités d'adaptation à différentes conditions écologiques. Les espèces pionnières et/ou qui tolèrent des sols pauvres et secs et d'importantes variations de températures sont très intéressantes.

Cependant, le choix des espèces dépend des objectifs de revégétalisation. Ces derniers peuvent consister à recréer des habitats naturels proches de ceux qui préexistaient, à recouvrir rapidement les sols pour les protéger de l'érosion, à fournir des pâturages de qualité, etc. En règle générale, la sélection des espèces végétales multipliées résulte de la recherche d'un équilibre entre des impératifs écologiques et des considérations techniques et économiques. Parmi les critères d'évaluation des plantes, citons :

- la capacité d'adaptation aux conditions édapho-climatiques des sites à revégétaliser ;
- l'intérêt écologique (conservation de la flore et de la faune, fertilité des sols...) ;
- la rapidité de croissance ;
- la stabilisation des sols ;
- la résistance à la coupe, au pâturage et au piétinement ;
- la valeur fourragère et l'appétence ;
- la facilité de collecte ;
- la facilité de multiplication (itinéraires techniques, longueur du cycle, rendements) ;
- la facilité de tri et de stockage, conservation de la capacité germinative ;
- l'importance et les fonctions écologiques de l'espèce dans un mélange de semences locales ;
- l'équilibre entre l'intérêt écologique de la plante, le coût de production et son prix de vente potentiel.

Les fiches suivantes décrivent les principales caractéristiques biologiques des plantes multipliées et utilisées en revégétalisation. Leurs techniques de culture sont disponibles sur www.ecovars.fr ; elles sont destinées à des agriculteurs ou à des multipliateurs de semences.

Brize moyenne | *Briza media* L.

Une herbe frêle, optimale lorsque le pâturage est extensif, stabilisant la couche d'humus.



Fig. 83 – Brize moyenne

La Brize moyenne est présente de l'étage montagnard inférieur à l'étage subalpin. Elle préfère les sols basiques mais s'implante aussi sur des sols légèrement acides, pauvres en nutriments. Son système racinaire très superficiel explore principalement la couche d'humus. L'es-pèce fournit un fourrage apprécié mais peu abondant, et elle ne supporte pas le pâturage intensif. Sur pelouses et prairies sans fertilisation, elle est

stimulée par les fauches d'entretien.

La Brize moyenne est une graminée vivace, de taille moyenne, à rhizome rampant émettant des stolons. Elle peut être confondue avec la Brize mineure ou Petite amourette : panicules lâches, épillets ovoïdes qui pendent et s'animent au moindre souffle de vent. Cette plante fleurit de mai à juillet et fructifie de juin à septembre.

DESCRIPTION BOTANIQUE	
Famille	Graminées
Taille	De 30 à 60 cm, peut atteindre 1 m
Tiges	Dressées
Feuilles	Tronquées, à limbe assez court et rugueux et à ligule courte, comme coupée en travers
Inflorescences et fleurs	Panicules lâches et étalées. Epillets en forme ovoïde (entre 4 et 7 mm de longueur), pendants à l'extrémité de rameaux très fins
Graines	Petites graines à l'intérieur des cônes des glumelles Poids de 1 000 graines : de 0,5 à 0,7 g
DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE	
Région	Europe et Asie, sur l'ensemble de la chaîne des Pyrénées
Altitude/étage	De l'étage inférieur jusqu'à la base de l'étage subalpin
AUTO-ÉCOLOGIE	
Tempérament	Espèce héliophile, mésoxérophile à hygrophile
Sol (roche mère, pH)	Sol alcalin (rendzines) à moyennement acide
Sol (humidité)	Sol sec à humide (très large amplitude hydrique)
Sol (humus, fertilité chimique)	Mull carbonaté, mull à moder riche en humus
Sol (texture)	Sol argileux, limoneux ou limono-sableux
Communautés végétales	Prairies, pelouses mésophiles, tourbières basses alcalines, oligotrophes à meso-eutrophes (<i>Arrhenatheretalia elatioris</i> , <i>Agrostio-Arrhenatheretea</i>), pelouses à dominance d'hémicryptophytes, mésoxérophiles à xérophiles, parfois sur substrats carbonatés ou basiques (<i>Festuca-Brometa</i>), pelouses calcicoles subalpines (<i>Festuco-Seslerietea</i>)

Sources : Bolòs & Vigo (2001), Coste (1937a), Doré (1995), Krautzer *et al.* (2004), Saule (2018), Villar *et al.* (2001).

Canche flexueuse | *Avenella flexuosa* (L.) Drejer, *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin.

Une vivace à efficacité limitée contre l'érosion, mais acceptant des sols déficients en nutriments.



Fig. 84 – Canche flexueuse

Peu compétitive et adaptée aux sols pauvres, la Canche flexueuse colonise souvent les sols bruns sur roche mère acide (granite, schistes, grès...). Son feuillage et son système racinaire sont peu développés ; ils n'assurent pas une protection optimale contre une érosion des sols provoquée par la pluie et le ruissellement.

La Canche flexueuse est une graminée de taille faible à moyenne qui se développe en touffes gazonnantes. Elle est reconnaissable à ses tiges dressées, ses feuilles filiformes lisses, sa ligule tronquée et ses panicules très lâches, composées de petits épillets violacés. Elle fleurit de mai à août et fructifie de juin à septembre.

DESCRIPTION BOTANIQUE	
Famille	Graminées
Taille	De 30 à 80 cm
Tiges	Dressées, grêles, très peu feuillées
Feuilles	Enroulées, filiformes à section hexagonale sous la loupe, à ligule courte, large de 2 mm et tronquée. Vertes, devenant rougeâtres, non rugueuses de la pointe à la base
Inflorescences et fleurs	Panicules très lâches et composées d'épillets teintés de violet et de blanc de 5 mm environ, disposés sur de longs rameaux flexueux qui se resserrent près de l'axe après la floraison. Chaque épillet contient deux fleurs bisexuées à glumelle inférieure accompagnée d'une touffe de poils et portant, près de la base du dos, une arrête coudée dépassant nettement le haut de l'épillet
Graines	Fruit de l'enveloppe de 2,5 à 3,5 mm de long et de 0,6 à 0,9 mm de large Poids de 1 000 graines : 0,5 - 0,7 g

DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE	
Région	Europe, jusqu'à l'hémisphère austral, euro-sibérienne. Présente sur l'ensemble de la chaîne des Pyrénées
Altitude/étage	De l'étage planitiaire à l'étage subalpin

AUTO-ÉCOLOGIE	
Tempérament	Espèce hémihéliophile (optimum en ourlet)
Sol (roche mère, pH)	Sol acide et décalcifié
Sol (humidité)	Sol sec à frais
Sol (humus, fertilité chimique)	Oligomull à mor, sols bruns acides, podzols
Sol (texture)	Sol limoneux ou sableux
Communautés végétales	Pelouses préforestières et lisières sur sols acides oligotrophes (<i>Melampyro-Holcetea</i>), pelouses acidiphiles subalpines et alpines (<i>Festucion eskiae</i> , <i>Nardion strictae</i>), pelouses acidiphiles oligotrophes (<i>Violion caninae</i>), pelouses à dominance d'hémicryptophytes, mésoxérophiles à xérophiles, parfois sur substrats basiques (<i>Chamaespartio-Agrastidenion</i>)

Sources : Bolòs & Vigo (2001), Coste (1937a), Krautzer *et al.* (2004), Saule (2018), Villar *et al.* (2001).

Crételle des près | *Cynosurus cristatus* L.

Une graminée passe-partout.



Fig. 85 – Crételle des près

Plante vivace cespiteuse, la Crételle des près peut pousser sur divers types de sols avec de bonnes réserves minérales et hydriques. Résistante au pâturage intensif, elle protège durablement les sols contre l'érosion. Cette plante

fournit un fourrage de bonne qualité. Graminée vivace aux panicules en forme d'épis, d'un vert clair, la Crételle des près fleurit de juin jusqu'en août et fructifie de juillet à septembre.

DESCRIPTION BOTANIQUE

Famille	Graminées
Taille	De 30 à 80 cm
Tiges	Dressées, assez grêles, nues dans le haut
Feuilles	Un peu rude à limbe plat allongé et aigu, assez étroit (3 mm au plus). Ligule courte (0,5 – 1,5 mm de long) et membraneuse, tronquée.
Inflorescences et fleurs	Panicule spiciforme, étroite, longue, dense, verte, à rameaux très courts. Epillets de deux sortes : les uns à 3-7 fleurs bisexuées dont la glumelle inférieure est munie d'une arête très courte, les autres stériles formés de glumelles allongées et aiguës sans arête, mais dont la carène est accentuée par une aile rugueuse.
Graines	Poids de 1 000 graines : 0,5 - 0,7 g

DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE

Région	Europe et Caucase
Altitude/étage	Depuis l'étage inférieur jusqu'à l'étage subalpin

AUTO-ÉCOLOGIE

Tempérament	Espèce héliophile, mésoxérophile à mésophile
Sol (roche mère, pH)	pH alcalins, modérément acide (pH 5 à 7)
Sol (humidité)	Sol plutôt humide
Sol (humus, fertilité chimique)	Humus riche en nutriments
Sol (texture)	Limono-argileux
Communautés végétales	<i>Veronico serpyllifoliae</i> – <i>Cynosurenalia cristati</i> <i>Arrhenatheretalia</i> , <i>Bromion erecti</i> , <i>Galio-Alliarietalia</i> , <i>Cynosurion cristati</i> , <i>Cynosuro-Trifolietum repentis</i> , <i>Merendero-Cynosuretum</i> .

Sources : Bolòs & Vigo (2001), Krautzer *et al.* (2004), Rameau *et al.* (1993), Saule (2018), Villar *et al.* (2001).

Fétuque des neiges | *Festuca niphobia* (St-Yves) Kerguélen

Une graminée répandue dans les parties centrales et orientales des Pyrénées.



Fig. 86 - Fétuque des neiges

Cette fétuque, fréquemment appelée *Festuca airoides* par les pyrénéistes, pousse sur sols siliceux moyennement humides et bien exposés. Elle colonise des pelouses plus ou moins rocailleuses et des pâturages, à proximité des crêtes ventées. Ses touffes épaisses et dressées, en font une plante intéressante pour la protection

des sols et le développement des communautés végétales aux étages alpin et subalpin.

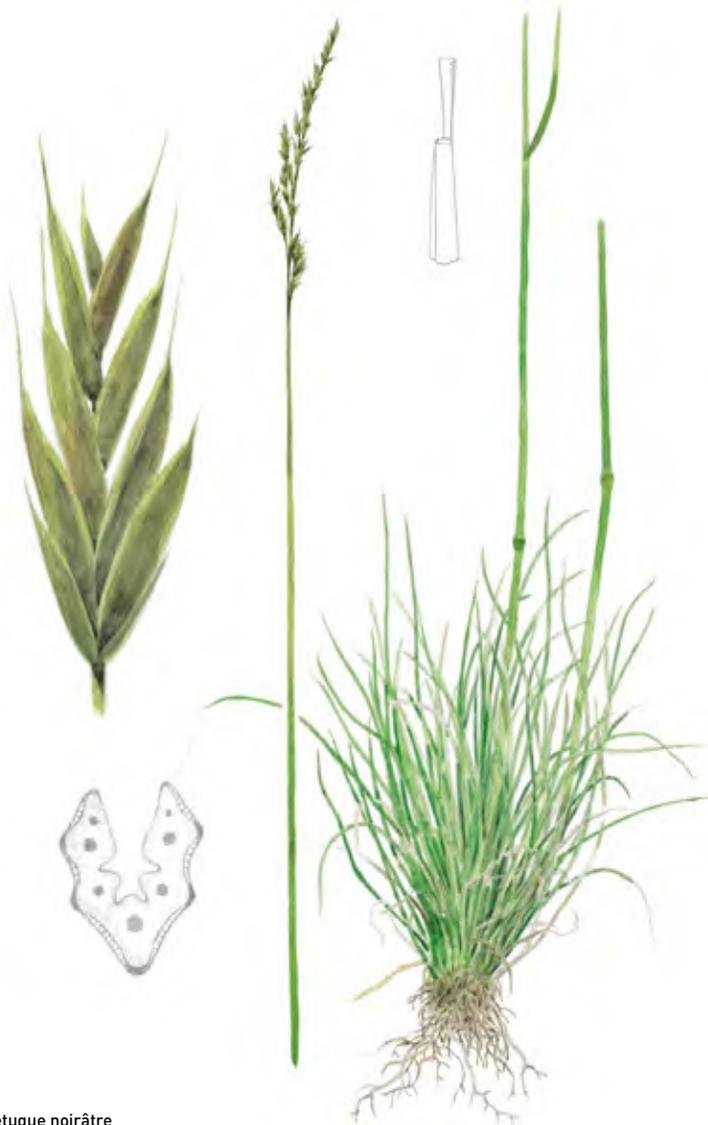
Cette graminée est une plante vivace et cespiteuse, de faible taille. Ses feuilles filiformes, rigides, plus ou moins piquantes au niveau de l'apex, sont de couleur verte ou glaucescentes. La Fétuque des neiges fleurit de juillet à août et fructifie de juillet à septembre.

DESCRIPTION BOTANIQUE	
Famille	Graminées
Taille	Faible, de 10 à 25 cm
Tiges	Lisses et tendues
Feuilles	Fines (0,5 à 0,6 mm d'épaisseur), rigides et généralement arqué, peu piquantes, vertes à glaucescentes, à section plus ou moins elliptique.
Inflorescences et fleurs	Inflorescences courtes 2 à 5 mm, denses, dressées dépassant peu les feuilles. Les épillets sont verts, teintés de violet. La glumelle inférieure, glabre ou scabriusculée, parfois ciliée aux marges mesure 3,5 à 4,5 mm.
Graines	Poids de 1000 graines : 0,7 à 1 g, moyenne de 0,8 g
DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE	
Région	Endémique du Massif central et de la partie centro-occidentale des Pyrénées
Altitude/étage	Etage subalpin et alpin (1500 à 2600 m)
AUTO-ÉCOLOGIE	
Tempérament	Espèce héliophile, pionnière sur des crêtes et pentes modérées exposées au vent et vite déneigées (cryophile).
Sol (roche mère, pH)	Sol siliceux à pH acide reposant sur granites ou grès, plus rarement sur roche carbonatée à humus brut. Sol moyennement à bien drainé (espèce mésophile)
Sol (humidité)	
Sol (humus, fertilité chimique)	Sol pauvre en humus et en nutriments
Sol (texture)	Sableux ou plus ou moins rocailleux
Communautés végétales	Pelouses acidophiles ouvertes, alpines, cryophiles, mésohydriques (<i>Festucion airoidis</i> Braun-Blanquet 1948) (<i>Festucion eskiae</i> Braun-Blanquet 1948).

Sources : Bolòs & Vigo (2001), Portal (1999), Villar *et al.* (2001)

Fétuque noirâtre | *Festuca nigrescens* L.

Une graminée peu exigeante, appréciant le soleil et le sec, profitable aux troupeaux.



| Fig. 87 – Fétuque noirâtre

Acidophile, oligotrophile et peu exigeante en nutriments, la Fétuque noirâtre est présente sur tous types de roche, de l'étage montagnard à l'étage alpin. Elle préfère cependant les stations ensoleillées et plutôt sèches. Elle pousse plus lentement dans les prairies

et pelouses très humides. Très bonne espèce fourragère, la Fétuque noirâtre supporte bien le pâturage.

Graminée vivace cespiteuse de taille moyenne, elle forme des touffes d'un vert franc. Elle fleurit de mai à août et fructifie de juillet à septembre.

DESCRIPTION BOTANIQUE

Famille	Graminées
Taille	30-60 cm peut atteindre 90 cm
Tiges	Minces, érigées ou géciculées, lisses et sans poils
Feuilles	Vertes à section polygonale, molles, à gaines soudées et entières jusqu'au sommet ; feuilles caulinaires planes mais très étroites, ligule très courte
Inflorescences et fleurs	Panicules dressées, étroites ou lancéolées de 10 cm au plus, épillets de 8 à 9 mm de long, verts ou violacés. Glumelle inférieure ciliée au bord supérieur, à arête légèrement supérieure à sa demi longueur
Graines	Poids de 1 000 graines : de 1 à 1,4 g, moyenne de 1,2 g

DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE

Région	Endémique des Pyrénées et des montagnes cantabriques
Altitude/étage	De l'étage montagnard à l'étage alpin

AUTO-ÉCOLOGIE

Tempérament	Espèce héliophile, mésoxérophile à mésohygrophile
Sol (roche mère, pH)	Pousse sur tout type de roche, neutre à acide, pH : 5,5 à 6,8
Sol (humidité)	Sol à bonne réserve en eau mais peu humide et non engorgé
Sol (humus, fertilité chimique)	Oligomull à moder, plus ou moins riche en bases et en éléments nutritifs
Sol (texture)	Limons sableux ou purs
Communautés végétales	Pelouses acidiphiles montagnardes à subalpines [<i>Nardetea strictae</i>] incluant principalement <i>Nardion</i> , <i>Festucion eskiae</i> , <i>Galio-Festucion</i> , <i>Agrostion curtisii</i> , <i>Violion caninae</i> , <i>Nardon-Juncion</i>

Sources : Bolòs & Vigo (2001), Coste (1937a), Krautzer *et al.* (2004), Portal (1999), Rameau *et al.* (1993), Saule (2018), Villar *et al.* (2001).

Pâturin alpin | *Poa alpina* L.

Une excellente fourragère, pionnière et précoce, dotée d'un système racinaire stabilisant les sols.



Fig. 88 - Pâturin alpin

Le Pâturin alpin pousse naturellement sur des sols secs ou humides, légèrement acides et riches en humus. Il est tolérant à des niveaux de nutriments élevés et au froid. Sur les sols terrassés avec un humus peu acide, il est une plante pionnière. Il stabilise bien les sols grâce à ses puissantes racines. Il produit des touffes denses,

résistantes au pâturage, très appréciées des animaux, et ceci rapidement.

Cette graminée vivace est constituée de touffes de taille faible à moyenne et de rhizomes. Entourées de gaines foliaires, ses tiges ressemblent légèrement à celles de petits poireaux longilignes. Le Pâturin alpin fleurit de mai à juin et fructifie de juin à août.

DESCRIPTION BOTANIQUE

Famille	Graminées
Taille	De 10 à 40 cm
Tiges	Erigées ou coudées, glabres avec deux à quatre nœuds
Feuilles	Feuilles étroites et allongées, glauques, à limbe plan de 3 à 12 cm de longueur et de 2,5 à 5 mm de largeur, aplati et élargi, avec des pointes se rétrécissant soudainement Souche à gaines épaisses constituées des restes des feuilles des années précédentes
Inflorescences et fleurs	Panicules de 1 à 5 cm avec 1 à 2 ramifications inférieures, minces et flexueuses, portant des épillets oblongs et ovoïdes de 3-6 mm, réunissant 5 à 10 fleurs violettes, panachées de blanc et de vert
Graines	Graines avec enveloppes de 2 à 4 mm de longueur et de 0,6 mm de largeur et d'épaisseur, lancéolées, ovales et pointues Poids de 1 000 graines : 0,4-0,5 g, moyenne de 0,47 g

DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE

Région	Répandu dans tout l'hémisphère nord. Sur l'ensemble de la chaîne des Pyrénées
Altitude/étage	De l'étage montagnard jusqu'à l'étage alpin

AUTO-ÉCOLOGIE

Tempérament	Espèce pionnière héliophile (supportant la mi-ombre)
Sol (roche mère, pH)	Riche en humus et peu acide, pH entre 5,6 et 7,2
Sol (humidité)	Sec ou humide
Sol (humus, fertilité chimique)	Mull à moder, moyennement fertile, résiste à des niveaux élevés de nutriments
Sol (texture)	Limoneux, limono-argileux
Communautés végétales	Prairies, plus rarement pelouses subalpines mésophiles ou mésohygrophiles eutrophes (<i>Poion alpinae</i>), pelouses à dominance d'hémicryptophytes subalpines sur substrats carbonatés ou basiques (<i>Festucio-Seslerieta</i>), pelouses acidiphiles subalpines et alpines (<i>Nardion strictae</i>)

Sources : Bolòs & Vigo (2001), Bussery (1989), Krautzer *et al.* (2004), Rameau (1993), Saule (2018), Villar *et al.* (2001).

Laïche toujours verte | *Carex sempervirens* Vill. subsp *sempervirens*

Une cyperacée peu exigeante des hautes montagnes calcaires.



Fig. 89 – Laïche toujours verte

Plante vivace à souche gazonnante très tenace, la Laïche toujours verte est caractéristique des pelouses rocailleuses fraîches, des ombrées montagnardes ou subalpines ou des pelouses alpines et subalpines exposées, sur calcaire. Il existe une sous-espèce se développant sur granite (*Carex sempervirens* subsp. *granitica*

(Braun-Blanq.) Vicioso = *Carex sempervirens* subsp. *pseudotrística* (Domin) Pawl.) aux feuilles plus larges et à gaines pourpres.

De taille faible à moyenne, cette plante cespiteuse à tiges feuillées à la base est intéressante pour la stabilisation des sols. Elle fleurit de mai à août et fructifie de juillet à septembre.

DESCRIPTION BOTANIQUE	
Famille	Cyperacées
Taille	De 10 à 40 cm
Tiges	Tiges subtrigones, feuillées seulement à la base, lisses
Feuilles	Feuilles allongées d'un vert franc, assez étroites (4 mm de larges au plus), rude, à gaine brun clair, plus courte que la tige
Inflorescences et fleurs	Epis mâle solitaire, oblong, brun pâle. Les épis femelles au nombre de 2 ou 3 sont pedunculés, un peu lâches, toujours dressés. Glumes brunes lancéolées, bractées engainantes, foliacées, souvent plus courtes que les pédoncules ; écailles brunâtres, lancéolées ; 3 stigmates ; utricules bruns ferrugineux, oblongs-lancéolés (5-6 mm), peu nervés, dépassant l'écaille
Graines	Poids de 1 000 graines : de 1 à 1,4 g, moyenne de 1,2 g
DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE	
Région	Montagnes du centre et du sud de l'Europe, de l'ouest et du centre de l'Asie
Altitude/étage	De l'étage montagnard à l'étage alpin (1500 à 2500 m)
AUTO-ÉCOLOGIE	
Tempérament	Espèce mésohygrophile de milieux plus ou moins ombragés mais aussi frais et ensoleillés
Sol (roche mère, pH)	Pousse sur des substrats plus ou moins rocailleux au pH calcaire à neutre
Sol (humidité)	Sol légèrement humide et non engorgé
Sol (humus, fertilité chimique)	Sol plus ou moins pauvres en humus et en éléments nutritifs
Sol (texture)	Sol de texture argilo-limonneuse ou substrat rocailleux (lapiaz)
Communautés végétales	Habitat de pelouses subalpines calcaires (lapiaz), <i>Carici-Kobresietea</i>

Sources : Bolòs & Vigo (2001), Rameau *et al.* (1993), Saule (2018), Villar *et al.* (2001).

Anthyllide des Pyrénées | *Anthyllis vulneraria* subsp. *boscii*
Kerguélen

Une légumineuse sobre en nutriments, au solide système racinaire, appréciant les stations chaudes.



Fig. 90 – Anthyllide des Pyrénées

L'Anthyllide des Pyrénées est adaptée aux milieux calcaires ou légèrement acides. Les zones semi-arides et pierreuses lui conviennent bien, de même que les talus exposés. Elle est présente de l'étage montagnard jusqu'à la base de l'étage alpin. Elle protège le sol efficacement, son système racinaire étant développé, ses tiges et ses feuilles étant étalées. Cette légumineuse n'exige que peu de nutriments. Elle fixe

l'azote de l'air du sol et le libère lors de la décomposition de ses tissus morts. Cet azote peut alors profiter à d'autres plantes de son entourage ou bénéficier aux micro-organismes du sol. Cette plante a des tiges aériennes assez courtes, légèrement ligneuses à la base, couchées, rampantes puis dressées, portant des feuilles composées et des fleurs de couleur rose fuchsia. Elle fleurit de mai à août et fructifie de juillet à octobre.

DESCRIPTION BOTANIQUE	
Famille	Fabacées
Taille	De 5 à 50 cm
Tiges	Couchées ou redressées, simples ou rameuses, pubescentes
Feuilles	Composées imparipennées (8 à 14 paires de folioles lancéolées et une foliole terminale plus grande que les autres, en particulier sur les feuilles inférieures)
Inflorescences et fleurs	Inflorescences denses rose fuchsia, rougeâtres ou blanches, munies à la base d'une bractée verte, découpée en folioles disposées en éventail et portées par un long pédoncule. Calice enflé, velu, qui se dilate après la floraison, avec un bord oblique muni de deux lèvres : la supérieure à deux dents et l'inférieure à trois dents
Graines	Graines assez plates, oblongues acuminées, tronquées à l'apex, striées dans la longueur, de couleur gris argent. Longueur : 1,4 à 2,5 mm ; largeur : 0,8 mm ; épaisseur : 0,3 mm environ Poids de 1000 graines : de 2,7 à 3,9 g
DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE	
Région	Europe et Afrique du Nord. Ensemble de la chaîne pyrénéenne
Altitude/étage	De l'étage montagnard jusqu'à l'étage subalpin
AUTO-ÉCOLOGIE	
Tempérament	Espèce orophyte, héliophile, mésoxérophile à mésophile
Sol (roche mère, pH)	Sol basique à légèrement acide ; pH : 5,5 et 7,5
Sol (humidité)	Sol à réserve en eau faible ou légèrement déficitaire
Sol (humus, fertilité chimique)	Mull, moyennement à peu fertile
Sol (texture)	Argiles de décarbonatation, limons
Communautés végétales	Pelouses calcicoles subalpines (<i>Seslerietalia caerulea</i>), pelouses atlantiques à subatlantiques à dominance d'hémicryptophytes, xérophiles à mésoxérophiles sur substrats carbonatés ou basiques (<i>Brometalia erecti</i>)

Sources : Bolòs & Vigo (2001), Bussery (1989), Krautzer *et al.* (2004), Rameau (1993), Saule (2018), Villar *et al.* (2001).

Lotier alpin | *Lotus alpinus* (DC.) Schleich. ex Ramond

Une légumineuse polyvalente, acceptant les sols rocailloux et secs, qui améliore la fertilité des sols.



| Fig. 91 – Lotier alpin

Le Lotier alpin est commun en altitude, sur les pelouses ou les talus. Il pousse sur des sols acides comme sur des sols calcaires. Peu exigeant en eau, il s'implante facilement sur des sols rocailleux et secs. Son système racinaire articulé autour d'un pivot, très développé en profondeur, ramifié, protège les sols de l'érosion, tout comme son port rampant. Le Lotier fixe l'azote de l'air comme la plupart des légumineuses. Il le restitue ensuite au sol et facilite ainsi la colo-

nisation végétale du milieu par d'autres plantes autochtones.

Cette plante vivace de petite taille, stolonifère, glabre forme un tapis végétal. Le Lotier alpin se distingue du Lotier corniculé par ses fleurs unitaires, jaunes teintées de roux et de pourpre foncé sur les extrémités. Certains auteurs considèrent qu'il en est un écotype. Il fleurit de juin à août et fructifie de juillet à octobre.

DESCRIPTION BOTANIQUE	
Famille	Fabacées
Taille	De 5 à 15 cm
Tiges	Simple ou rameuses, entièrement herbacées. Ses stolons couchés donnent des rejets de souche
Feuilles	Feuilles découpées en folioles réduites (moins de 7 mm)
Inflorescences et fleurs	Ombelles simples. Fleurs unitaires, jaunes avec des teintes rouges et pourpre foncé sur les extrémités
Graines	Le fruit est une gousse allongée rectiligne Poids de 1 000 graines : 0,8 à 1,2, moyenne 1,1 g
DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE	
Région	Alpes et Pyrénées
Altitude/étage	De l'étage subalpin à l'étage alpin (1 500 m à 2 980 m)
AUTO-ÉCOLOGIE	
Tempérament	Espèce orophile, héliophile, mésoxérophile à mésophile
Sol (roche mère, pH)	Sol acide à basique ; pH : 5,5 et 7,5
Sol (humidité)	Sol à réserve en eau souvent déficitaire
Sol (humus, fertilité chimique)	Sol plus ou moins évolué et fertile, voire pauvre en nutriments
Sol (texture)	Rochers, limons ou argiles plus ou moins caillouteux
Communautés végétales	Pelouses acidiphiles subalpines et alpines (<i>Caricetea curvulae</i>), pelouses calcicoles subalpines (<i>Seslerietalia caeruleae</i>), prairies, plus rarement pelouses, subalpines mésophiles ou mésohygrophiles eutrophes (<i>Poaion alpinae</i>)

Sources : Coste (1937b), Gauthier (1997), Rameau *et al.* (1993), Saule (2018), Villar *et al.* (1997).

Trèfle alpin | *Trifolium alpinum* L.

Une fourragère bien enracinée, libérant de l'azote utile aux pelouses d'altitude.



Fig. 92 – Trèfle alpin

Le Trèfle alpin est présent dans les pelouses d'altitude des montagnes granitiques. Il ne tolère pas les sols calcaires. Il accompagne souvent le Gispet dans des formations de pente, ou le Nard lorsque les sols sont plus profonds et plus riches en matière organique. Son système racinaire puissant et son port rampant sont efficaces contre l'érosion. Comme les autres légumineuses, il fixe l'azote de l'air et le libère lorsque ses tissus morts se décomposent. Cet azote profite

alors aux plantes qui l'entourent ou bénéficie aux micro-organismes du sol.

Les tiges du Trèfle alpin sont très courtes. Elles portent de grandes fleurs de couleur rose vif ou pourpre. Les rhizomes sont épais et ligneux, souvent ramifiés. Ils émettent des fascicules de feuilles trifoliolées, longuement pétiolées. Les restes fibreux à la base des tiges sont ceux des feuilles des années précédentes. Le Trèfle alpin fleurit de juin à août.

DESCRIPTION BOTANIQUE	
Famille	Fabacée
Taille	Faible à moyenne (4 à 20 cm)
Tiges	Plante acaule, feuilles et pédoncules naissant de la souche
Feuilles	Composées de folioles allongées, lancéolées, longues de 2 à 7 cm, glabres, à bord entier et munies de stipules soudées
Inflorescences et fleurs	Grande inflorescence composée de 3 à 12 fleurs de couleur rose vif ou pourpre, rarement blanche, longues de 1,5 à 2 cm, pédicellées, odorantes. Pédoncules longs et dressés. Gousses généralement aplaties et assez larges contenant deux graines
Graines	Semences ovoïdes à rondes, 2,5 mm de long, 2 mm de large et 1,5 mm d'épaisseur. Radicule dépassant visiblement. Tégument épais, brun verdâtre à brun légèrement brillant ou terne Poids de 1 000 graines : de 4,1 à 4,5 g, moyenne de 4,3 g

DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE	
Région	Endémique des montagnes du centre et du sud de l'Europe
Altitude/étage	De l'étage montagnard jusqu'à l'étage alpin

AUTO-ÉCOLOGIE	
Tempérament	Orophyte, héliophile
Sol (roche mère, pH)	Sol légèrement à franchement acide sur roche siliceuse et/ou granitique
Sol (humidité)	Sol humide bien drainé
Sol (humus, fertilité chimique)	Sol riche en matière organique
Sol (texture)	Limono-argileux, limoneux, pierreux
Communautés végétales	Pelouses acidiphiles subalpines et alpines (<i>Caricetea curvulae</i> , <i>Festucion eskiae</i> , <i>Nardion strictae</i>)

Sources : Bolòs & Vigo (1984) Coste (1937b), Doré [2000], Krautzer et al. (2004 et 2006), Krautzer *et al.* (2006), Peratoner *et al.* (2007), Saule (1991), Thébaud & Ettlicher (1987), Villar *et al.* (1997).

Achillée millefeuille | *Achillea millefolium* L.

Une vivace à germination rapide, couvrant bien les sols drainés et résistante au piétinement.



Fig. 93 – Achillée millefeuille

L'Achillée millefeuille a une grande capacité d'adaptation, depuis l'étage inférieur jusqu'à l'étage subalpin. Elle préfère les sols légèrement acides à neutres, moyennement fertiles. Les sols très humides, mal aérés et tourbeux ne lui conviennent pas. Elle germe rapidement mais sa croissance est modérée. Ses racines forment un réseau dense, favorisant l'infiltration de l'eau et limitant ainsi l'érosion des sols. L'Achillée millefeuille résiste à la coupe et au piétinement ;

le bétail la consomme modérément. Les rhizomes de cette plante vivace émettent des stolons. Les tiges sont de taille moyenne à élevée, dressées et plus ou moins velues. L'inflorescence en corymbe est composée de capitules ovoïdes formés de fleurs en tube jaune, entourés de ligules blanches, rosées ou pourprées. L'Achillée millefeuille fleurit de juin à septembre et produit de nombreuses graines de juillet à début novembre.

DESCRIPTION BOTANIQUE	
Famille	Astéracées
Taille	De 20 à 120 cm
Tiges	Dressées, simples ou rameuses, plus ou moins velues, parfois laineuses
Feuilles	Velues, parfois laineuses, devenant glabres, deux fois divisées, à divisions primaires très nombreuses sur 2 rangs (plus de 15 paires en général), presque égales ou de longueur légèrement décroissante du bas vers le haut de la feuille. Feuilles de la base et des rejets pétiolées
Inflorescences et fleurs	Capitules ovoïdes composés de fleurs en tube jaunes, entourées de ligules blanches, rosées ou pourprées, en petit nombre (5 le plus souvent) et aussi larges que longues, rapprochées en corymbe très dense et relativement plan. Réceptacle garni d'écaillés entre les fleurs. Bractées de l'involucre brunes et velues, à marge pâle
Graines	Graines très petites (de 1,4 à 2,5 mm de longueur, de 0,8 mm de largeur et de 0,3 mm d'épaisseur), assez plates, oblongues acuminées, tronquées à l'apex, de couleur gris argent, légèrement striées dans la longueur Poids de 1000 graines : de 0,15 à 0,25 g, moyenne de 0,18 g
AUTO-ÉCOLOGIE	
Tempérament	Espèce héliophile, mésohygrophile à mésoxérophile
Sol (roche mère, pH)	Sol à pH basique à moyennement acide
Sol (humidité)	Sol légèrement humide et bien aéré
Sol (humus, fertilité chimique)	Mull à moder, sol moyennement fertile
Sol (texture)	Limoneux, graveleux ou rocailleux
Communautés végétales	Prairies, plus rarement pelouses mésophiles ou mésophiles à mésohygrophiles, mésotrophes à eutrophes (<i>Arrhenatheretea elatioris</i>), pelouses acidiphiles oligotrophes (<i>Nardetea strictae</i>), pelouses à dominance d'hémicryptophytes, parfois sur substrats carbonatés ou basiques (<i>Festuco-Brometea</i>), pelouses calcicoles subalpines (<i>Seslerietalia caeruleae</i>)

Sources : Coste (1937b), Krautzer *et al.* (2004), Rameau *et al.* (1993), Saule (2018), Villar *et al.* (2001).

Œillet à delta | *Dianthus deltoides* L.

Une plante peu exigeante, bien recouvrante et mellifère.



Fig. 94 – Œillet à delta

L'Œillet à delta est une plante vivace de taille médiocre (30 cm au plus) qui constitue un gazon assez lâche, d'où s'élèvent les tiges florifères.

L'espèce est présente sur l'ensemble de la chaîne pyrénéenne, dans des pelouses à Nard, à Fétuque paniculée, à Gispet, à Laîche courbe, etc., depuis

l'étage montagnard jusqu'à l'étage alpin.

Cette plante peu exigeante en eau et en nutriments constitue une ressource alimentaire intéressante pour divers insectes. Elle contribue aussi à colorer de rose les pelouses subalpines de juillet à septembre.

DESCRIPTION BOTANIQUE	
Famille	Caryophyllacées
Taille	Médiocre, de 10 à 30 cm au plus
Tiges	Couchées puis redressées, simples ou rameuses couvertes de petits poils sur le haut
Feuilles	Allongées et aiguës, glabres dans le bas et des feuilles planes et obtuses.
Inflorescences et fleurs	Fleurs roses, solitaires ou en petit nombre et espacées. Les écailles du calicule, à pointe fine, atteignent le milieu du calice qui est pubescent ; les pétales étroits, non contigus, à gorge poilue marquée d'une ligne pourpre ou blanche et piqué de blanc en V renversé, sont dentés à l'extrémité.
Graines	Petites, arrondies, noires
	Poids de 1 000 graines : 0,4 à 0,6 g, moyenne de 0,5 g
DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE	
Région	Europe et Asie, assez commune en zones montagneuses.
Altitude/étage	De l'étage montagnard jusqu'à l'étage alpin, (de 1 500 à 2 300 m)
AUTO-ÉCOLOGIE	
Tempérament	Espèce héliophile, supportant la demi-ombre, pionnière
Sol (roche mère, pH)	Siliceuses
Sol (humidité)	Assez sec à légèrement humide (espèce mésoxérophile à mésophile)
Sol (humus, fertilité chimique)	Mull acide à moder ; sols moyennement riches en bases et en éléments nutritifs ; pH acide
Sol (texture)	Limoneux, limono-argileux, graveleux ou rocailleux
Communautés végétales	Pelouses acidiphiles à Nard, à Fétuque paniculée, à Gispet etc., <i>Nardion</i> , <i>Chamaespartio-Agrostidenion</i> , <i>Festucion eskiae</i>

Sources : Bolòs & Vigo (1995), Rameau *et al.* (1993), Saule (2018), Villar *et al.* (2001).

Plantain lancéolé | *Plantago lanceolata* L.

Une plante pionnière acceptant les sols soumis à la sécheresse ou en excès d'humidité.



Fig. 95 – Plantain lancéolé

Le Plantain lancéolé est très présent de l'étage collinéen jusqu'à l'étage subalpin. Il apprécie les sols peu acides et riches en humus. Résistant à la sécheresse et aux inondations ponctuelles, il peut coloniser des sites perturbés, exposés à de fortes amplitudes thermiques et hydriques. Le Plantain lancéolé est doté d'un système racinaire fort qui lui permet d'explorer le sol en profondeur. Il contribue ainsi à stabiliser les couches superficielles du sol. Grandes et plus ou moins étalées sur le sol, les feuilles assurent une protection contre l'érosion provoquée par la pluie

et le ruissellement. Elles constituent un fourrage de qualité moyenne.

Plante vivace de taille moyenne, à rhizome, le Plantain lancéolé est composé de feuilles en rosette basale, lancéolées, plus ou moins dressées, structurées par 3 à 7 nervures. Au bout d'une hampe dressée, nue et à 5 angles, l'inflorescence consiste en un épi allongé, portant des fleurs ovoïdes dont les étamines jaunes pâles et saillantes sont insérées sur les lobes de la corolle. Le Plantain lancéolé fleurit d'avril à octobre et fructifie deux à trois semaines plus tard.

DESCRIPTION BOTANIQUE

Famille	Plantaginacées
Taille	Taille moyenne, de 10 à 70 cm
Tiges	Hampe dressée à 5 angles marqués, dépassant largement les feuilles en général
Feuilles	Lancéolées, vertes, plus ou moins couvertes de poils courts, à long pétioles à 3 à 7 nervures, disposées en rosette
Inflorescences et fleurs	Epis de fleurs ovoïdes ou allongés (jusqu'à 5 cm) dépassant longuement les feuilles. Corolle blanchâtre découpée en 5 lobes ovales
Graines	Fruit en capsule ellipsoïde, à déhiscence circulaire, de 3 à 5 mm de long, renfermant une à trois graines. Graines oblongues-ellipsoïdes, de 2,5-3 mm de long, brun jaune à brun foncé, mucilagineuses lorsque humides Poids de 1 000 graines : de 1,6 à 2,2 g, moyenne de 1,9 g

DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE

Région	Europe et Asie. Répandu sur l'ensemble de la chaîne des Pyrénées
Altitude/étage	De l'étage collinéen jusqu'à l'étage subalpin

AUTO-ÉCOLOGIE

Tempérament	Espèce héliophile, (supporte la mi-ombre)
Sol (roche mère, pH)	Sol légèrement acides sur roche siliceuse, granitique
Sol (humidité)	Résiste à la sécheresse et tolère l'asphyxie racinaire
Sol (humus, fertilité chimique)	Mull à moder, sol de fertilité faible à élevée
Sol (texture)	Limoneux, argileux ou rocailleux
Communautés végétales	Prairies, plus rarement pelouses mésophiles ou mésohygrophiles, mésotrophes à eutrophes (<i>Arrhenatheretalia elatioris</i>), pelouses à dominance d'hémicryptophytes, mésoxérophiles à xérophiles, parfois sur substrats carbonatés ou basiques (<i>Mesobromion</i> , <i>Bromion erecti</i>)

Sources : Coste (1937c), Krautzer *et al.* (2004), Saule (2018), Villar *et al.* (2001).

Glossaire

COMMUNAUTÉ VÉGÉTALE (OU COMMUNAUTÉ DE PLANTES) :

Une communauté végétale correspond à un ensemble de plantes qui se développe en un lieu défini par des caractères écologiques homogènes (sol, eau, climat, pente etc.) et éventuellement des pratiques de gestion.

BIODIVERSITÉ : Le terme de biodiversité est issu directement de l'anglais *biodiversity*, néologisme créé en 1985 à partir de la forme *biological diversity*. Il permet de décrire la richesse des formes du vivant de la biosphère (ou d'une partie). Cette richesse de formes s'appréhende à différentes échelles de fonction de l'unité considérée : biomes, paysages, communautés végétales, espèces végétales, gènes (diversité intra-spécifique).

ÉCOSYSTÈME : Un écosystème est un milieu de vie particulier : une mare, une forêt, une prairie, une rivière, etc. Il est caractérisé par les conditions physiques et chimiques (sol, eau, climat local, etc) définissant un lieu de vie ou biotope, par l'ensemble des êtres vivants qu'il héberge (ou biocénose) ainsi que par les relations entre eux et avec le milieu, et par sa dynamique.

ESPÈCE INDIGÈNE : Une espèce est dite indigène (ou native) lorsqu'elle est présente dans un territoire (les Pyrénées par exemple) du fait de processus naturels, sans intervention humaine. La notion d'indigénat fait référence aux aires naturelles des espèces.

FACTEURS ÉCOLOGIQUES : La présence d'une plante ou d'une

communauté végétale en un lieu précis est liée à l'influence de différents facteurs écologiques. Ces derniers conditionnent, favorisent ou limitent son développement. On distingue deux catégories de facteurs écologiques :

- les facteurs abiotiques, c'est-à-dire physiques ou chimiques (sol, climat, topographie, etc) ;
- les facteurs biotiques, liés aux êtres vivants.

Ces êtres vivants agissent sur la plante ou la communauté végétale au travers de relations positives (pollinisation, dissémination, absorption racinaire) ou négatives (consommation, compétition, parasitisme). La gestion par l'homme, considérée comme un facteur biotique (souvent qualifié d'anthropique), peut avoir un effet bénéfique ou, au contraire, néfaste sur la végétation.

HABITAT NATUREL : Conditions physiques et biotiques dans lesquelles se maintient une espèce à l'état spontané. L'habitat est un ensemble indissociable, comprenant un compartiment stationnel, une flore et une faune associées.

HYDROMULCHING : Technique de protection du sol consistant à projeter à l'hydroseeder un mélange d'eau et de mulchs de fibres celluloseuses renforcés de fibres synthétiques et/ou d'agents fixateurs permettant de créer une membrane fibrillaire protectrice. Des semences peuvent être intégrées dans le mélange et se développer à travers la membrane créée.

HYDROSEEDING : Technique de semis consistant à projeter à l'hydroseeder sur le sol un mélange d'eau,

de semences, de fertilisants et de fixateurs dans le but d'implanter un couvert végétal.

INDICE D'ELLENBERG : Cet indice a été conçu au niveau européen par H. Ellenberg pour caractériser les facteurs environnementaux du milieu en fonction de la végétation. Il s'agit d'un indice attribué à un large panel d'espèces végétale pour quantifier leur tolérance à différents paramètres : lumière, température, continentalité, acidité, azote, humidité et salinité. En France, des adaptations ont été publiées par P. Julve en 1998.

INDICE DE SHANON : Cet indice permet de mesurer la diversité spécifique d'un milieu. Il permet de quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité d'un milieu d'étude, et donc d'observer une évolution au cours du temps. La formule de calcul est :

$$H' = \sum_{j=1}^S p_j \ln(p_j)$$

H' : indice de biodiversité de Shannon
i : une espèce du milieu d'étude

S : richesse spécifique

p_i : Proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'espèces (S) dans le milieu d'étude $p_i = n_i/N$ avec n_i nombre d'individus pour l'espèce i et N effectif total (individus de toutes les espèces). Cet indice varie toujours de 0 à $\ln(p_i)$ (ou $\log(p_i)$ ou $\log_2(p_i)$, selon le choix de la base du logarithme)

INDICES SPÉCIFIQUES DES ESPÈCES FOURRAGÈRES : Indices de qualité fourragère attribués à diffé-

rentes plantes de prairies et pelouses allant de 0 à 5. Les valeurs de cet indice synthétique ont été déterminées à partir de calculs tenant de critères tels que la valeur nutritive, la vitesse de croissance, la digestibilité, l'appétabilité etc... sur des espèces de prairies naturelles de plaine. Les valeurs d'indices présentées dans ce document sont celles extrapolées de manière empirique par le CEMAGREF pour les plantes d'altitude considérées comme fourragères.

INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE: «L'ingénierie écologique a vocation à devenir pour l'écologie ce que la médecine est à la biologie». L'objectif est de retrouver une biodiversité perdue, mais aussi d'optimiser les services écologiques qu'un écosystème peut rendre à l'homme.

LESSIVAGE: Transport d'éléments du sol par l'eau de pluie en direction de la nappe phréatique.

MATRICE FIBRILLAIRE: Type de mulch composé d'un mélange de fibres de bois, d'agents fixateurs et de fibres longues collantes assurant une cohésion entre les éléments. Ces produits permettent de créer une membrane perméable qui protège le sol et les semis de l'érosion. Ils sont particulièrement utiles sur les zones pentues et s'appliquent à l'hydroseeder. Ils peuvent assurer le même niveau de protection des sols que des filets en toile de jute et épousent parfaitement les irrégularités topographiques.

ORIGINE DE PRODUCTION: Zone géographique de multiplication des semences.

PLANTE CERTIFIÉE: Une plante certifiée est une espèce ou une variété qui a été inscrite au Catalogue officiel des espèces et variétés. Cette inscription fait suite à l'obtention d'un Certificat d'Obtention Végétale délivré par le groupement national interprofessionnel des semences et plants (GNIS). Ce droit à produire et à commercialiser des semences ne peut être obtenu qu'à condition de démontrer que la nouvelle variété proposée est :

- Distincte : elle présente des différences notables par rapport aux espèces et variétés déjà inscrites,
- Homogène : les plantes sont toutes identiques
- Stable : ses caractéristiques sont toujours les mêmes, quel que soit le lot.

De plus, les espèces et variétés agricoles doivent apporter un progrès par rapport à celles déjà inscrites. Ce progrès peut être d'ordre agronomique, technologique ou environnemental.

PLANTE DITE «SAUVAGE»: Le qualificatif «sauvage» est souvent utilisé comme un argument commercial. Mais il ne signifie pas obligatoirement que les espèces proposées sont de provenance locale. Et surtout, il est fréquent qu'elles aient été sélectionnées et multipliées par l'homme pour certaines de leurs caractéristiques. Elles présentent donc des différences génétiques notables qui peuvent les conduire à nuire à la véritable flore sauvage locale. On s'accorde donc sur l'attribution du qualificatif «sauvage» aux seules espèces indigènes, prélevées et utilisées dans un périmètre proche.

PLANTE PIONNIÈRE: Une plante pionnière est une espèce capable de coloniser un milieu instable, très pauvre en matière organique et aux conditions édaphiques et climatiques difficiles. Au fur et à mesure qu'elles modifieront le milieu, les plantes pionnières seront remplacées par d'autres espèces moins spécialisées ou plus exigeantes. Les espèces pionnières sont donc caractéristiques des milieux transitoires ou aux conditions extrêmes (montagne, falaise, etc.).

PROVENANCE: Zone géographique de prélèvement dans le milieu naturel (pour les semences non certifiées), ou zone d'obtention d'origine des variétés commerciales des semences (semences certifiées).

RÉGION DE MULTIPLICATION DU MATÉRIEL VÉGÉTAL: La région de multiplication est la région où la semence a été multipliée (parfois stockée et commercialisée).

RÉGION D'ORIGINE DU MATÉRIEL VÉGÉTAL: Zone de collecte dans la nature du matériel végétal et des semences mères pour la culture de multiplication.

RÉHABILITATION: C'est l'ensemble des actions entreprises pour permettre à un écosystème de retrouver ses fonctions essentielles et d'évoluer en équilibre avec les paramètres environnementaux. Il existe plusieurs techniques de réhabilitation.

RESTAURATION ÉCOLOGIQUE: La restauration écologique est une nouvelle discipline qui permet d'amorcer

et/ou accélérer l'auto-réparation d'un écosystème qui a subi des dégradations, des dommages voire des destructions. La restauration écologique vise à inverser la tendance de dégradation d'un écosystème afin d'atteindre un état de référence, celui avant dégradation. Pour les milieux moins dégradés, une simple réduction de l'impact des usages sur l'écosystème – restriction de l'accès à la population, baisse d'exploitation des ressources – suffisent le plus souvent ; dans le cas contraire, des manipulations directes sur le biotope – ajout ou suppression d'espèces par exemple – sont envisagées (SER, 2004).

REVÉGÉTALISATION : La revégétalisation est un processus d'installation de plantes herbacées sur des terrains perturbés par l'homme ou suite à une catastrophe naturelle en vue de reverdir et de protéger les sols de l'érosion.

SEMENCES D'ORIGINE LOCALE

OU SEMENCES LOCALES : Les semences d'origine locale sont issues de collectes dans un territoire phytogéographique donné (Pyrénées orientales, Pyrénées occidentales...). Elles proviennent d'espèces indigènes, naturellement présentes dans la zone géographique à revégétaliser.

ZONE DE RÉCOLTE-UTILISATION :

La dénomination « zone de récolte-utilisation » se réfère au fait que l'on collecte des semences pour les multiplier ou les réimplanter directement à une distance proche garantissant des conditions écologiques semblables et conservant la spécificité des habitats naturels. Dans les Pyrénées, pour certaines espèces, deux zones de récolte-utilisation distinctes ont pu être identifiées de part et d'autre de la vallée du Salat : les différences génétiques sont très marquées entre les populations situées à l'est

et celles qui sont à l'ouest. Ces zones sont définies comme des territoires biogéographiques. Elles sont aussi caractérisées par la répartition de certaines espèces et populations végétales. Leur délimitation s'appuie sur divers paramètres : la géologie et la géomorphologie, les composantes du climat, la nature des paysages et la distribution connue des espèces végétales et de leurs populations.

Bibliographie

- Aradottir A., 2012. Turf transplants for restoration of alpine végétation : does size matter ? *Journal of applied ecology*, 49, 439-446.
- Balent G., 1991. Construction of a reference frame for studying the changes in species composition in grassland. *Options Méditerranéennes*, 15, 73-81.
- Balent G. & Barrué-Pastor M., 1986. Pratiques pastorales et stratégies foncières dans le processus de déprise de l'élevage montagnard en vallée d'Oô (Pyrénées centrales). *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-ouest*, 57, 403-447.
- Bellini E., 2015. Sols et constructions. Etat de la technique et des pratiques. Connaissance de l'environnement n° 1508, Office fédéral de l'environnement, Berne. 113 p.
- Berthelin J., Valentin C., Munch J.-C. (ed.), 2018. Soils as a Key Component of the Critical Zone 1. Functions and Services. Volume 1, Wiley-ISTE, 340 p.
- Bissardon M, Guibal L, Rameau J.C., 1997. Corine biotopes. Version originale. Types d'habitats français. ENGREF, Nancy, 217 p.
- Blaschke H., 1991. Multiple mycorrhizal associations of individual calcicole host plants in the alpine grass-heat zone. *Springler-Verlag, Mycorrhiza* 1, vol 1, 31-34.
- Bolòs O. de & Vigo J., 1984. Flora dels països catalans. Ed. Barcino, Barcelona, vol 1, 736 p.
- Bolòs O. de & Vigo J., 1995. Flora dels països catalans. Ed. Barcino, Barcelona, vol 3, 1238 p.
- Bolòs O. de & Vigo J., 2001. Flora dels països catalans. Ed. Barcino, Barcelona, vol 4, 749 p.
- Burylo M., 2011. Relations entre les traits fonctionnels des espèces végétales et leurs fonctions de protection contre l'érosion dans les milieux marneux restaurés de montagne. Thèse de doctorat de l'Université de Grenoble. Unité de recherche sur les écosystèmes montagnards du Cemagref, 266 p.
- Bussery M. P., 1989. Bases écologiques pour l'utilisation de *Poa alpina* L. dans la revégétalisation des terrains perturbés de l'étage alpin. Thèse Université Grenoble I, spécialité biologie, 196 p.
- Cano L., 2000. Revégétalisation des espaces perturbés dans les Pyrénées : approche écologique et expérimentale en vue de l'utilisation d'espèces pionnières autochtones. Mémoire de D.E.S.U., Université Paul Sabatier, Toulouse III, 58 p.
- Coste H., 1937a. Flore descriptive et illustrée de la France, de la Corse et des contrées limitrophes. Ed. Flahaut. C.H., lib. sci. et tech. Albert Blanchard, Paris, vol. 3, 807 p.
- Coste H., 1937b. Flore descriptive et illustrée de la France, de la Corse et des contrées limitrophes. Ed. Flahaut. C. H., lib. sci. et tech. Albert Blanchard, Paris, vol. 1, 416 p.
- Coste H., 1937c. Flore descriptive et illustrée de la France, de la Corse et des contrées limitrophes. Ed. Flahaut, CH., Lib. sci. et tech. Albert Blanchard Paris, vol. 2, 627 p.
- Chambers J. C., 1997. Restoring alpine ecosystems in the western United States : environmental constraints, disturbance characteristics and restoration success. *In* : Restoration ecology and sustainable development, Urbanska K. M., Webb N. R., Edwards P. J. (eds), Cambridge University Press, 161-187.
- Choler, P., Michalet, R., & Callaway, R.M., 2001. Facilitation and competition on gradients in alpine plant communities. *Ecology*, 82, 3295-3308.
- Clair M., Gaudillat V., Michez N., Poncet R. & Poncet L., 2017. HABREFv4.0, référentiel des typologies d'habitats et de végétation pour la France. Guide méthodologique. Rapport UMS PatriNat 2017-100. AFB/CNRS/MNHN, Paris, 64 p.
- Cornelissen J.H.C., Lavorel S., Garnier E., Diaz, S., Buchmann N., Gurvich D.E., Reich P.B., Steege H etr, Morgan H.D., Van de Heijden M.G.A., Pausas J.G. et Poorter H., 2003. A handbook of protocols dor standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51, 335-380.
- Cornier T., Toussaint B., Duhamel F., Blondel C., Henry E., Mora F., 2011. Guide pour l'utilisation d'arbres et d'arbustes pour la végétalisation à

- vocation écologique et paysagère en région Nord-Pas de Calais – Centre régional de phytosociologie / Conservatoire botanique national de Bailleul, pour le Conseil régional Nord-Pas de Calais et la DREAL Nord-Pas de Calais, Bailleul, 48 p.
- Corriol G. (coord.), 2013. Liste rouge de la flore vasculaire de Midi-Pyrénées. CBN des Pyrénées et de Midi-Pyrénées, 16 p.
- Corriol G., Prud'homme F., Enjalbal M., 2010. Essais de clé typologique des groupements végétaux de Midi-Pyrénées. III. Prairies (*Agrostio - Arrhenatheretea*). Actes du 3^{ème} colloque naturaliste de Midi-Pyrénées, Toulouse, novembre 2009. Ed. Nature Midi-Pyrénées, p. 143-153.
- Cruz P., Theau J.-P., Lecloux E., Jouany C., Duru M., 2010. Typologie fonctionnelle de graminées fourragères pérennes : une classification multi-traités. *Fourrages*, 201, 11-17.
- Daget P., Poissonet, J., 1969. Analyse phytologique des prairies. Applications agronomiques, Ed. CNRS-CEPE Montpellier, Document 48, 67 p.
- De Row A., Ribolzi O., Douillet M., Hatsadong, T., 2018. Weed seed dispersal via runoff and eroded soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 265 : 488-502.
- Devillers P., Devillers-Tersuren J., Ledant J. -P., coll., 1991. Corine biotopes manual. Habitats of the European Community. Data specifications. Part 2. EUR 12587/3 EN. European Commission, Luxembourg, 300 p.
- Dinger F., 1997. Végétalisation des espaces dégradés en altitude. Ed. Cemagref, Grenoble, 144 p.
- Dinger F., Bédécarrats A., 2001. Etude de l'évolution et du fonctionnement des sols reconstitués en altitude au niveau des pistes de ski, ainsi que de la dynamique de reconquête de ces espaces par les espèces natives. Le cas des stations savoyardes. *In* : Recréer la nature : réhabilitation, restauration et création d'écosystèmes. Principaux résultats scientifiques et opérationnels, Chapuis J. L., Barre V., Barnaud G. (eds). MATE/MNHN, Paris, 135-142.
- Dorée A., 1995. Flore pastorale de montagne. tome 1 : Les graminées. Cemagref, groupement de Grenoble. Ed. Cemagref, Saint-Martin-d'Hères, 207 p.
- Dorée A., 2000. Flore pastorale de montagne, tome 2 : Les légumineuses et autres plantes fourragères, Cemagref, groupement de Grenoble. Ed. Cemagref, Saint-Martin-d'Hères, 227 p.
- Dupin B., Durand B. & Fromin N. (en cours de publication). When local seeds play at home.
- Dutoit T. 2012. Espoirs et limites de l'ingénierie écologique. *Le Courrier de la Nature*, 270, 22-29.
- Gruber M., 1985. Les prairies de fauche des *Arrhenatheretea* Br. – Bl. 1947 des Hautes-Pyrénées. *Bull.Soc. Linn.Prov.*, 37 : 101-108.
- Euro-Tec, 2011. Euro-Seeding®, mulch cellulosique, hydro-mulch, www.eurotec.fr, 2 p.
- Feucht B., Rieger E., Tamegger C., Janhn F., Jongepierová I., 2012. Agricultural production of seeds from regional provenance. *In* : Practical handbook for seed harvest and ecological restoration of species-rich grasslands, Scotton M., Kirmer A., Krautzer B. (eds), 33-38.
- Fischesser B., Dupuis-Tate M. F., 1996. Le guide illustré de l'écologie. 319 p.
- Florineth F., 1992. Establishment of greens in high altitudes in southern Tyrol. *Rasen-Turf-Gazon*, 3 : 74-80.
- Fons F., Gargadennec A., Rapior S. 2008. Culture of plantago species as bioactive components resources : a 20-year review and recent applications. *Acta botanica gallica*, 155 (2), 277-300.
- Gauthier P., 1997. Variation altitudinale, écologique et génétique, et recherche de la différenciation écotype chez deux espèces végétales alpines : *Lotus alpinus* (DC.) Schleicher et *Dactylis glomerata* L. Thèse, Université Paul Valéry, Montpellier III, 139 p.
- Golinska B., Golinski P., Chalupová P., 2012. Selection of donor sites. *In* : Practical handbook for seed harvest and ecological restoration of species-rich grasslands, Scotton M, Kirmer A., Krautzer B. (eds.), 8-12.
- Grime, J.P., 1973. Competitive exclusion in herbaceous vegetation. *Nature*, 242, 344-347.
- Grime, J.P., 1974. Vegetation classification by reference to strategies. *Nature*, 250, 26-31.
- Grime, J.P. 1987. Dominant and subordinate components of plant communities: Implications for succession, stability and diversity. *In* : Colonization, Succession and Stability, Gray A.J., Crawley M.J. & Edwards P.J. (eds.), Blackwell, Oxford, 413-428.
- Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E., Li, Y., 2005. Impact of plant roots on

- the resistance of soils to erosion by water: a review. *Prog. Phys. Geogr.*, 29, 189-217.
- Haselwandter K., 1997. Soil microorganisms and restoration ecology. *In* : Restoration ecology and sustainable development. Urbanska K. N., Webb N. R., Edwards P. J. (eds), Cambridge University Press., 33-64.
- Henry E., Cornier T., Duhamel F., Blondel C., 2011. Guide pour l'utilisation de plantes herbacées pour la végétalisation à vocation écologique et paysagère en région Nord-Pas de Calais. Centre régional de phytosociologie / Conservatoire botanique national de Bailleul, pour le Conseil régional Nord-Pas de Calais et la DREAL Nord-Pas de Calais, Bailleul, 56 p.
- Huc S., Arlandis J., Dupré la Tour A., Rouillon A., Spiegelberger T., 2018. SEM'LESALPES. Des semences d'origine locale pour la restauration de milieux ouverts en montagne alpine. Conservatoire botanique national alpin, Gap, 106 p.
- Isselin F. & Bédécarrats A., 2004. Microtopography and disturbances can enhance biodiversity restoration on ski trails. *In* : Proceedings of the 16th International conference on ecological restoration, Victoria, British Columbia, pp 24-26.
- Jouglet, J.P., 1999. Les végétations des alpages des Alpes françaises du Sud. Guide technique pour la reconnaissance et la gestion des milieux pâturés d'altitude, ATEN, Cemagref Editions, 205 p.
- Jouglet J.P., Bornard A., Dubost M., 1999. Eléments de pastoralisme montagnard. Tome 1 : Végétation. Equipements. Etudes Cemagref, IRSTEA Grenoble, 168 p.
- King, E.G. & Whisenant, S. 2009. Thresholds in Ecological and Link-Social Ecological System : Application to Restoration. *In* : New Models for Ecosystem Dynamics and Restoration. Hobbs R.J., Suding K.N., Society for Ecological Restoration International (eds.), Washington : Island Press.
- Kirmer A., Mann S., Stolle M., Krautzer B., Graiss W., Haslgrübler P., Sevcikova M., Scotton M., 2012. Techniques for the establishment of species-rich grasslands. *In* : Practical handbook for seed harvest and ecological restoration of species-rich grasslands. Scotton M., Kirmer A., Krautzer B. (eds.) 43-58.
- Koch E-M., Spiegelberger T., Barrel A., Bassignana M., Curtaz, A., 2014. ALP'GRAIN. Les semences locales dans la restauration écologique en montagne. Production et utilisation de mélanges pour la préservation. IRSTEA Grenoble, 96 p.
- Krautzer B., Graiss W., Haslgrübler P., Golinski P., 2012. Site assessment and preparation on receptor sites. *In* : Practical handbook for seed harvest and ecological restoration of species-rich grasslands. Scotton M., Kirmer A., Krautzer B. (eds.), 39-43.
- Krautzer B., Peratoner G., Bozzo F., 2004. Site specific grasses and herbes. Seed production and use for restoration of mountain environments. FAO, Rome, 111 p.
- Krautzer B., Wittmann H., Peratoner G., Graiss W., Partl C., Parente G., Venerus S., Rixen C., Streit M., 2006. Site-specific high zone restoration in the alpine region: the current technological development. Federal Research and Education Centre (HBLFA), Raumberg-Gumpenstein, Irdning, Austria, 135 p.
- LaI, R., 2010. Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security. *Bioscience*, 60, 708-721.
- Lambertin M., 2016. Les Alpes - La phytosociologie et le pastoralisme. Edition L'Harmattan, 605 p.
- Le Bagousse-Pinguet Y., Maalouf J-P., Touzard B., Michalet, R. 2014. Importance, but not intensity of plant interactions relates to species diversity under the interplay of stress and disturbance. *Oikos*, 123 : 777-785.
- Lignier C. & Rosset O., 2012. Le guide européen de l'hydroseeding, première édition. Editions Kreaten, Dardilly, 180 p.
- Lumaret R., 1999. Invasion of natural pastures by a cultivated grass (*Dactylis glomerata* L.) in Galicia (Spain); process and consequence on plant-cattle interactions. *In* : Biological Invasions in Europe and the Mediterranean Basin, Kluwer Acad. Press, Dordrecht, 389-395
- Malaval S., 2011. Native seed production for Pyrenean habitats: seed propagation and harvesting in semi-natural grassland. *In* : Using species rich semi-natural grassland to obtain seed for the restoration of degraded areas. Scotton M., Dal Buono C., Timoni A. (eds.) Conference proceedings. Department of Environmental Agronomy and Crop production, University of Padova, Italy, 50-57.
- Malaval S., Lauga B., Regnault-Roger C., Largier G., 2010. Combined definition of seed transfer guidelines for ecological restoration in the French Pyrenees. *Applied Vegetation Science*, 13, 113-124.

- Mézard M., 2017. Les prairies de fauche de montagne, entre abandon et restauration. Rapport de stage de license professionnelle GAEMP, Université Jean Jaurès, 51 p.
- Michalet R., Schöb C., Lortie C.J., Brooker, R.W., Callaway R.M., 2014. Partitioning net interactions among plants along altitudinal gradients to study community responses to climate change. *Functional Ecology*, 28, 75-86.
- Ministère de l'équipement, des transports et du logement, 1999. Marchés publics de travaux, Cahier des Clauses Techniques Générales. Fascicule n° 35. Aménagements paysagers : Aires de sports et de loisirs de plein air. Circulaire N° 99-25.
- Nannipieri P., Ascher J., Ceccherini M.T., Landi L., Pietramellara G., Renella G., 2003. Microbial diversity and soil functions. *Eur. J. Soil Sci.*, 54, 655-670.
- Nizan P.A., 2016. Etude des processus de revégétalisation avec des semences d'origine locale dans les Pyrénées. Mémoire de diplôme d'ingénieur agronome. Ecole nationale supérieure d'Agronomie de Toulouse. 74 p.
- Ozenda P., 1994. Végétation du continent européen. Delachaux et Niestlé, Lausanne, XIII-271 p.
- Ozenda P., 2002. Perspectives pour une géobiologie des montagnes. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, Collection Biologie, 195 p.
- Perry D.A., Amaranthus M.P., Borchers J.G., Brainerd R.E., 1989. Bootstrapping in Ecosystems, Internal interactions largely determine productivity and stability in biological systems with strong positive feedback, *Bioscience*, 39 (4), 230-237.
- Peratoner G., 2003. Organic seed propagation of alpine species and their use in ecological restoration of ski runs in mountain regions. Dissertation Universität Kassel, Witzenhausen, Germany, 238 p.
- Peratoner G., 2006. Extreme sites and their restoration requirements. *In* : Proceedings of the conference soil-bioengineering : Ecological Restoration with native plants and seed material, Autriche, Krautzer B., Hacker E. (eds). Raumberg-Gumpenstein, 37-42.
- Peratoner G., Rainer G.J., Günter S., 2007. Growth of *Trifolium alpinum* : Effects of soil properties, symbionts and pathogens. Elsevier, Ecological engineering, 30, 349-355.
- Portal R., 1999. *Festuca* de France, Robert Portal, Vals-près-le-Puy, France, 371 p.
- Portal R., 2005. *Poa* de France, Belgique et Suisse, Robert Portal, Vals-près-le-Puy, France, 300 p.
- Rameau J.C., Mansion D., Dumé G., Lecomte A., Tunbal J., Dupont P. & Keller R., 1993. Flore forestière française, guide écologique illustré, tome 2, montagnes. Institut pour le développement forestier, France, 2421 p.
- Rey F., 2009, L'écologie de la restauration au service de l'Ingénierie écologique : Application au contrôle de l'érosion en montagne. IRSTEA, Unité de recherche Ecosystèmes Montagnards, Grenoble, 17 p.
- Rickson R.J., 1995. Simulated vegetation and geotextiles. *In* : Slope stabilisation and erosion control : a bio-engineering approach, Morgan R.P.C & Rickson R.J., London, 95-131.
- Salomon D., 2007. Aménagements et techniques de revégétalisation en milieu alpin (impacts écologiques sur le processus d'humification et d'agrégation des sols anthropiques (piste de ski), comparaison avec les sols naturels). Thèse Université de Savoie, Chambéry, BU sciences 407 p.
- Saule M., 2018. Nouvelle Flore illustrée des Pyrénées. Editions du Pin à crochets, 1379 p.
- Scotton M., Piccinin L., Dainese M. & Sancin F., 2009. Seed production of an *Arrhenatherion eliatoris* hay-meadow in the eastern Italian Alps. *Grass and forage Science*, 64, 208-2018.
- Scotton M., Rieger E., Feucht B., Tamegger C., Jahn F., Ševčíková M., Semanová I., Krautzer B., Graiss W., Haslgrübler P., Kirmer A. & Stolle M., 2012. Techniques for harvesting seeds and plant material in species-rich grassland. *In* : Practical handbook for seed harvest and ecological restoration of species-rich grasslands. Scotton M., Kirmer A., Krautzer B. (eds.), 21-42.
- Soussana J.F., Lutfalla S., Ehrhardt F., Rosenstock T., Lamanna C., Havlík P., Richards M., Wollenberg E.L., Chotte J.L., Torquebiau E., Ciais P., Smith P., Lal R., 2019. Matching policy and science: Rationale for the '4 per 1000 – soils for food security and climate' initiative. *Soil & Tillage Research*, 188, 3-15.
- Steinfiel D, Riley S, Wilkinson K, Landis T, Riley L., 2007. Roadside Revegetation : An integrated approach to establishing native plants. Umatilla National Forest, U.S. Forest Service, 2517 S.W. Hailey Ave, Pendleton, OR 97801. Final Report, 2007, 423 p.

- Syndicat mixte d'aménagement du Dessoubre et de Valorisation du Bassin Versant., 2015. Commune de Saint-Hyppolyte. Mise en défens d'une pâture riveraine du Dessoubre aval et pose de trois pompes à nez pour l'abreuvement du bétail, 11 p.
- Swab R.M., Lorenz N., Byrd S., Dick R., 2017. Native vegetation in reclamation : Improving habitat and ecosystem function through using prairie species in mine land reclamation. *Ecological Engineering* 108, 525-536.
- Thébaud G., Etlicher B., 1987. Les nardaias à *Trifolium alpinum* des Monts du Forez et leur biotope à congrère tardive. *Acta botanica gallica*, tome 144, fascicule 2, 217-230.
- UICN France, FCBN, AFB, MNHN, 2018. La Liste rouge des espèces menacées en France. Chapitre Flore vasculaire de France métropolitaine. Comité français de l'UICN, Fédération des CBN, Agence française pour la biodiversité, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 32 p.
- Urbanska K.M., 1988. High altitude revegetation research in the Swiss Alps : experimental establishment and performance of native plant populations in machine - graded ski runs above the timberline. *In* : Proceedings high altitude revegetation workshop n°8, Keammer W.R., Brown L.F. (eds). Colorado water resources research Institute information series, 59, pp 115-128.
- Urbanska K.M., 1997. Restoration ecology research above timberline: colonization of safety islands on a machine-graded alpine ski run. *Biodiversity and Conservation*, 6 (2) : 1655-1670.
- Valentin C. (ed.), 2018. Soils as a Key Component of the Critical Zone. 5. Degradation and Rehabilitation, Soil and Geochemistry. Wiley & ISTE, 264 p.
- Vicenç C., Ortiz O., Josep M. A., 2019. RESTOQUARRY : Indicators for self-evaluation of ecological restoration in open-pit mines. *Ecological Indicators*, 102, 437-445.
- Villar L., Sesé J.A., Ferrández J.V., 1997. Atlas de la flora des Pireneo aragonés. Ed. CPNA-IEA, Zaragoza et Huesca, vol. I, 648 p.
- Villar L., Sesé J.A., Ferrández J.V., 2001. Atlas de la flora des Pireneo aragonés. Ed. CPNA-IEA, Zaragoza et Huesca, vol. II, 790 p.
- Westoby (1998). A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme. *Plant and Soil*, 199, 213-227.
- Wipf, S., Rixen, C., Fischer, M., Schmid, B., Stoeckli, V. 2005. Effects of ski piste preparation on alpine vegetation : Ski piste preparation and alpine vegetation. *J. Appl. Ecol.* 42, 306-316.

Liste des figures

Fig. 1 – Papillon blanc veiné noir dans une prairie de fauche maigre	4
Fig. 2 – Trèfle alpin	7
Fig. 3 – Paysages pyrénéen en automne	9
Fig. 4 – Etagement de la végétation sur un versant nord sur sol siliceux des Pyrénées centrales	10
Fig. 5 – Fonctionnement du programme Ecovars de 2013 à 2019	11
Fig. 6 – Iris des Pyrénées	12
Fig. 7 – Partenaires mobilisés et surfaces restaurées avec des semences locales	13
Fig. 8 – Sites revégétalisés avec des semences locales de 2012 à 2018	13
Fig. 9 – Paysage du vallon d'Ens	14
Fig. 10 – Carte des recouvrements végétaux des pistes de ski et des enjeux environnementaux	17
Fig. 11 – Pâturage ovin sur une estive proche du pic d'Anie	19
Fig. 12 – Zones humides à l'étage subalpin	21
Fig. 13 – Piste carrossable sur la station de ski du Grand Tourmalet	23
Fig. 14 – Structure d'un sol avant terrassement et après reconstitution	25
Fig. 15 – Talus et piste de ski très dégradés par l'érosion hydrique	29
Fig. 16 – Cunettes de dérivation de l'eau sur une piste de ski	29
Fig. 17 – Epandage d'une couche de terre végétale avant semis	31
Fig. 18 – Rainures réalisées par le passage des chenilles d'une pelle mécanique	32
Fig. 19 – Recouvrement végétal d'une parcelle 5 ans après un semis sur sol chenillé	32
Fig. 20 – Lézards des Pyrénées de Bonnal	33
Fig. 21 – Fructification des graminées d'une pelouse subalpine à Nard raide	34
Fig. 22 – Dépôts de plaques de pelouse à Gispet	37
Fig. 23 – Pelouses à Gispet restaurée par replaquage deux ans après	37
Fig. 24 – Lande à rhododendrons reconstituée par replaquage 2 ans après	37
Fig. 25 – Estive riche en épis de graminées intéressante pour une récolte à la brosseuse	39
Fig. 26 – Nardaie à l'étage subalpin	41
Fig. 27 – Prairie maigre de fauche	43
Fig. 28 – Prairie de fauche mésophile fertilisée	45
Fig. 29 – Ramassage du foin à la fourche	47
Fig. 30 – Aspect du mélange de foin vert après épandage	48
Fig. 31 – Proportions des différents groupes de plantes dans les mélanges de semences obtenus par transfert de foin vert (Hautes-Pyrénées)	49
Fig. 32 – Développement des plantules après le transfert de foin vert d'une végétation de prairie de fauche de montagne	50
Fig. 33 – Localisation des sites de récoltes de semences à la brosseuse	51
Fig. 34 – Mélange de semences obtenu à la brosseuse	53
Fig. 35 – Proportions des différents groupes de plantes dans les mélanges de semences obtenus à la brosseuse (Hautes-Pyrénées)	54
Fig. 36 – Proportions des différents groupes de plantes dans les mélanges de semences obtenus à la brosseuse (Pyrénées-Orientales)	55
Fig. 37 – Récolte de semences sur une pelouse de Peyragudes	55
Fig. 38 – Récolte de semences à la moissonneuse-batteuse	57
Fig. 39 – Proportions des différents groupes de plantes dans les mélanges de semences obtenus à la moissonneuse-batteuse (Hautes-Pyrénées)	58
Fig. 40 – Couverture végétale obtenue un an après un semis de graines récoltées à la brosseuse suivi d'un épandage de foin sec	61
Fig. 41 – Pie grièche méridionale	62

Fig. 42 – Fétuque des neiges	65
Fig. 43 – Sites d'étude des performances techniques et écologiques de différents mélanges de semences	67
Fig. 44 – Recouvrements végétaux sur le site expérimental de Font-Romeu sur sol fertile, 9 mois après les semis [24/06/16]	67
Fig. 45 – Evolution des taux de recouvrement végétaux en fonction du type de mélange de semences (Observations réalisées sur 2,5 m ² , 10 quadrats de 0,25 m ²)	68
Fig. 46 – Fonte de neige plus précoce sur une tâche de terre	69
Fig. 47 – Recouvrement végétal du site après la fonte des neige	69
Fig. 48 – Evolution du nombre total d'espèces inventoriées sur les parcelles	70
Fig. 49 – Comparaison des contributions d'espèces de différents milieux dans les recouvrements végétaux obtenus avec des semences locales ou exogènes	71
Fig. 50 – Comparaison des contributions d'espèces de différents milieux dans les recouvrements végétaux obtenus avec des semences locales ou exogènes	72
Fig. 51 – Comparaison des contributions d'espèces de différents milieux dans les recouvrements végétaux obtenus avec des semences locales ou exogènes	73
Fig. 52 – Comparaison des contributions d'espèces de différents milieux dans les recouvrements végétaux obtenus avec des semences locales ou exogènes	74
Fig. 53 – Comparaison des surfaces couvertes par des ravines sur parcelle semées avec des semences locales ou exogènes	75
Fig. 54 – Les pistes de ski peuvent constituer une ressource fourragère intéressante	77
Fig. 55 – Réunion de chantier au Grand-Tourmalet	79
Fig. 56 – Modalités de gestion d'un chantier favorables à la restauration écologique du site	80
Fig. 57 – Système racinaire d'une Fétuque noirâtre	83
Fig. 58 – Système racinaire d'un Trèfle alpin	83
Fig. 59 – Plantes adaptées pour la restauration de pelouses subalpines	84
Fig. 60 – Crételle des près	86
Fig. 61 – Effet de l'utilisation d'un filet sur l'implantation d'un semis	91
Fig. 62 – Fixation d'un semis avec un filet en toile de coco et un grillage	91
Fig. 63 – Plantules protégées par un mulch de fibres de bois longues, 5 semaines après semis	92
Fig. 64 – Pailleuse utilisée pour ensemençer un talus routier avec du foin vert	96
Fig. 65 – Spectre d'utilisation de différents types de mulch en fonction de la longueur et du degré de la pente à traiter	97
Fig. 66 – Semis à l'hydroseeder	100
Fig. 67 – Proposition de clé de détermination des types et des quantités d'intrants à utiliser sur terrains peu pentus	102
Fig. 68a – Semis à 125 kg/ha d'un mélange de semences locales récoltées à la brosseuse [Supebagnères, 06/10/17]	103
Fig. 68b – Implantation de la végétation un an après le semis (au premier plan, le 17/10/18)	103
Fig. 69a – Croissance des plantules 3 semaines après un semis de 100 kg/ha de semences de prairie de fauche récoltée à la brosseuse [Barèges, 29/09/15]	103
Fig. 69b – Végétation de la prairie de fauche reconstituée 4 ans après le semis [08/08/19]	103
Fig. 70a – Etat du substrat lors du semis de 125 kg/ha de 5 espèces de la marque «Pyrégraine de nèou» [Grand-Tourmalet, 13/10/16]	103
Fig. 70b – Développement des plantules deux ans après semis [21/10/18]	103
Fig. 71 – Proposition de clé de détermination des types et des quantités d'intrants à utiliser sur terrains pentus	104
Fig. 72a – Talus avant restauration écologique avec 100 kg/ha de semences récoltées à la brosseuse sur nardaie sèche et du mulch à fibres de bois longues	105
Fig. 72b – Talus restauré 9 mois après le semis [07/07/16]	105
Fig. 73a – Substrat avant semis de 150 kg/ha d'un mélange composé de 50% de semences récoltées à la brosseuse, de 25 % de seigle et 25 % de Vesce de Cerdagne [Font-Romeu, 25/07/17]	105

Fig. 73b – Talus revégétalisé 10 mois après semis (06/08/18)	105
Fig. 74a – Semis de 125 kg d'un mélange de 5 espèces de la marque « Pyrégraine de nèou »	105
Fig. 74b – Talus revégétalisés deux ans après semis (21/09/18)	105
Fig. 75 – Clôture de protection d'une végétation subalpine	107
Fig. 76 – Inventaire des plantes dans un quadrat sur pelouse subalpine	110
Fig. 77 – Inventaire botanique par point-contact sur prairie de fauche	110
Fig. 78 – Localisation des quadrats de suivi sur une parcelle revégétalisée	111
Fig. 79 – Quadrats utilisés (50 cm x 50 cm = 0,25 m ²)	111
Fig. 80 – Grille d'estimation des recouvrements végétaux	111
Fig. 81 – Plan d'ensemble des aménagements réalisés sur le parking du cirque de Troumouse	113
Fig. 82 – Végétation obtenue un an après l'épandage de foin vert sur une banquette de carrière	114
Fig. 83 – Brize moyenne	116
Fig. 84 – Canche flexueuse	118
Fig. 85 – Crételle des près	120
Fig. 86 – Fétuque des neiges	122
Fig. 87 – Fétuque noirâtre	124
Fig. 88 – Pâturin alpin	126
Fig. 89 – Laîche toujours verte	128
Fig. 90 – Anthyllide des Pyrénées	130
Fig. 91 – Lotier alpin	132
Fig. 92 – Trèfle alpin	134
Fig. 93 – Achillée millefeuille	136
Fig. 94 – Œillet à delta	138
Fig. 95 – Plantain lancéolé	140
Fig. 96 – Visite de sites restaurés avec les partenaires du programme	153
Fig. 97 – Silène des rochers	173

Liste des tableaux

Tab. 1 – Performances techniques et environnementales des récoltes par transfert de foin vert	49
Tab. 2 – Performances techniques et environnementales des récoltes à la brosseuse	54
Tab. 3 – Performances techniques et environnementales des récoltes à la moissonneuse-batteuse	58
Tab. 4 – Résumé des avantages et inconvénients des différentes pratiques	60
Tab. 5 – Exemple de mélanges adaptés à l'étage subalpin	85
Tab. 6 – Exemple de mélanges de semences proposés entre 1000 et 1700 m d'altitude	87
Tab. 7 – Caractéristiques des principaux mulchs présents sur le marché (Source : Fiches de présentation des produits des fournisseurs)	95
Tab. 8 – Principaux critères de choix d'un mulch	97
Tab. 9 – Données pour adapter les dosages, les surfaces à traiter et prévoir le temps de mise en œuvre d'un semis avec un hydroseeder de 2000 L	100
Tab. 10 – Espèces inventoriées sur nardaie sèche du subalpin en zone centro-occidentale	155
Tab. 11 – Espèces inventoriées sur nardaie du subalpin en zone orientale	156
Tab. 12 – Espèces inventoriées sur prairie maigre de fauche des Pyrénées centro-occidentales	157
Tab. 13 – Espèces inventoriées sur une ancienne prairie de fauche maigre dans les Pyrénées-Orientales	158
Tab. 14 – Espèces inventoriées sur prairies de fauche fertilisées en zone centro-occidentale	160
Tab. 15 – Espèces observées dans les prairies de fauche des Pyrénées orientales	162
Tab. 16 – Principales espèces récoltées par transfert de foin vert dans les Pyrénées centro-occidentales	164

Tab. 17 – Principales espèces récoltées à la brosseuse dans les Pyrénées centro-occidentales	165
Tab. 18 – Principales espèces récoltées à la brosseuse dans les Pyrénées orientales	166
Tab. 19 – Principales espèces récoltées à la moissonneuse-batteuse dans les Pyrénées centro-occidentales	167
Tab. 20 – Contribution des plantes inventoriées sur le semis de semences locales sur sol pauvre au recouvrement végétal (Site des Angles)	168
Tab. 21 – Contribution des plantes inventoriées sur le semis de semences exogènes sur sol pauvre au recouvrement végétal (Site des Angles)	170
Tab. 22 – Contribution des plantes inventoriées sur le semis de semences locales sur sol peu fertile au recouvrement végétal (Site du Grand-Tourmalet)	171
Tab. 23 – Contribution des plantes inventoriées sur le semis de semences exogènes sur sol pauvre au recouvrement végétal (Site du Grand Tourmalet)	172
Tab. 24 – Contribution des plantes inventoriées sur le semis de semences locales sur sol peu fertile au recouvrement végétal (Site de Font-Romeu)	174
Tab. 25 – Contribution des plantes inventoriées sur le semis de semences exogènes sur sol pauvre au recouvrement végétal (Site de Font-Romeu)	176



Fig. 96 – Visite de sites restaurés avec les partenaires du programme

Annexe 1a

Tab. 10 – Espèces inventoriées sur nardaie sèche du subalpin en zone centro-occidentale
 1 – Cruz *et al.* [2010].
 2 – Daget *et al.* (1969), et Jouglet *et al.* (1999) cf. glossaire.

Espèces	Contribution au recouvrement végétal (%)	Somme de degrés jours pour floraison 1 (°C)	Maturité des semences (Barèges, alt: 1900 m)												Indices de qualité fourragère 2	
			Juil.		Août				Sept.				Oct.			
			3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2		
Nardus stricta L.	11,71	1998														0
Festuca eskia Ramond ex DC.	11,46															
Festuca rubra L.	11,04	1029,6														2
Agrostis capillaris L.	7,00	1787,8														3
Festuca nigrescens Lam.	5,59															2
Avenella flexuosa (L.) Drejer	4,59	1290,6														1
Poa alpina L.	4,59															2
Carex caryophylla Latourr.	2,69															0
Carex pulicaris L.	0,76															0
Luzula campestris (L.) DC.	0,76															0
Trifolium alpinum L.	3,82															3
Lotus corniculatus L.	1,28															3
Trifolium pratense L.	0,64															4
Trifolium repens L.	0,46															4
Iris latifolia (Mill.) Voss	5,59															0
Scorzoneroides pyrenaica (Gouan) Holub	4,59															0
Calluna vulgaris (L.) Hull	3,30															0
Plantago alpina L.	3,30															1
Conopodium majus (Gouan) Loret	2,69															0
Galium verum L.	2,69															0
Potentilla erecta (L.) Räusch.	2,42															2
Achillea millefolium L.	0,95															0
Alchemilla alpigena Buser	0,76															0
Dianthus deltoides L.	0,76															0
Galium saxatile L.	0,76															0
Gentiana verna L.	0,76															0
Jasione montana L.	0,76															0
Polygala vulgaris L.	0,76															0
Thymus polytrichus A.Kern.	0,76															0
Veronica chamaedrys L.	0,76															0
Pilosella officinarum Vaill.	0,67															0
Cerastium fontanum Greuter & Burdet	0,64															0
Ranunculus bulbosus L.	0,64															0
Total général	100															

Annexe 1b

Tab. 11 – Espèces inventoriées sur nardaie du subalpin en zone orientale

1 – Cruz *et al.* (2010).

2 – Daget *et al.* (1969), et Jouglet *et al.* (1999) cf. glossaire.

Espèces	Contribution au recouvrement végétal (%)	Somme de degrés jours pour floraison ¹ (°C)	Maturité des semences (Font-Romeu, alt: 1900 m)												Indices des valeurs pastorales ²	
			Juil.		Août				Sept.				Oct.			
			3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2		
<i>Nardus stricta</i> L.	41,84	1998														0
<i>Festuca</i> (groupe <i>rubra</i>)	23,01	1029,60														2
<i>Koeleria pyramidata</i> (Lam.) P.Beauv.	2,93															1
<i>Phleum pratense</i> L.	2,09	1761,80														5
<i>Poa</i> sp.	1,67	1202,20														4
<i>Agrostis capillaris</i> L.	1,26	1797,80														3
<i>Avenella flexuosa</i> (L.) Drejer.	0,42	1290,30														1
<i>Carex nigra</i> (L.) Reichard.	7,53															0
<i>Carex brizoides</i> L.	6,69															0
<i>Luzula campestris</i> (L.) DC.	3,35															0
<i>Trifolium repens</i> L.	1,26															4
<i>Cytisus oromediterraneus</i> Rivas Mart., T.E.Díaz, Fern. Prieto, Loidi & Peñas	0,42															0
<i>Bistorta officinalis</i> Delarbre	1,26															0
<i>Veronica chamaedrys</i> L.	1,26															0
<i>Cerastium arvense</i> L.	0,84															0
<i>Galium verum</i> L.	0,84															0
<i>Ranunculus acris</i> L.	0,84															0
<i>Armeria alliacea</i> (Cav.) Hoffmanns. & Link	0,42															0
<i>Conopodium majus</i> (Gouan) Loret.	0,42															0
<i>Dianthus deltoides</i> L.	0,42															0
<i>Narcissus poeticus</i> L.	0,42															0
<i>Neotinea ustulata</i> (L.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase	0,42															0
<i>Pedicularis</i> sp.	0,42															0
Total général	100															

Annexe 2a

Tab. 12 – Espèces inventoriées sur prairie de fauche maigre des Pyrénées centro-occidentales
 1 – Cruz *et al.* [2010].
 2 – Daget *et al.* (1969), et Jouglet *et al.* (1999) cf. glossaire.

Espèces	Contribution au recouvrement végétal (%)	Somme de degrés jours pour floraison (°C)	Maturité des semences (Gavarnie-Gèdre, alt: 1600 m)												Indices de qualité fourragère ²		
			Juillet				Août				Sept.						
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
Festuca rubra L.	27,36	1029,6															2
Anthoxanthum odoratum L.	10,03	765,4	=====														1
Trisetum flavescens (L.) P.Beauv.	7,29	1428		=====													3
Dactylis glomerata L.	1,52	1058,5	=====														5
Poa pratensis L.	0,91	1029,6	=====														4
Agrostis capillaris L.	0,30	1797,8						=====									3
Helictotrichon sedenense (Clarion ex DC.) Holub	0,30																
Phleum pratense L.	0,30	1761,8						=====									5
Lotus corniculatus L.	1,52							=====									3
Trifolium repens L.,	1,22				=====												4
Lathyrus pratensis L.	0,91							=====									3
Vicia sativa L.	0,61				=====												4
Vicia sepium L.	0,61				=====												3
Ononis L.	0,30																0
Trifolium campestre Schreb.	0,30							=====									2
Trifolium dubium Sibth.	0,30							=====									
Trifolium pratense L.	0,30			=====													4
Achillea millefolium L.	12,16											=====					2
Plantago lanceolata L.	9,42			=====													2
Rhinanthus pumilus (Sterneck) Soldano	5,78			=====													0
Veronica chamaedrys L.	3,95				=====												0
Dianthus deltoides L.	3,04				=====												0
Arenaria serpyllifolia L.	2,74				=====												0
Galium verum L.	2,43				=====												0
Ranunculus polyanthemophilus W.Koch & H.E.Hess	2,13			=====													0
Silene vulgaris (Moench) Garcke	0,91			=====													0
Rumex acetosa L.	0,61			=====													0
Cerastium arvense L.	0,30																0

Espèces	Contribution au recouvrement végétal (%)	Somme de degrés jours pour floraison 1°C	Maturité des semences (Gavarnie-Gèdre, alt: 1600 m)												Indices de qualité fourragère 2
			Juillet				Août				Sept.				
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Conopodium majus (Gouan) Loret	0,30					■	■	■	■						0
Crepis pyrenaica (L.) Greuter	0,30			■	■	■	■								0
Dianthus hyssopifolius L.	0,30			■	■	■	■								0
Hypericum maculatum Crantz	0,30									■	■	■	■		0
Hypochaeris radicata L.	0,30														0
Potentilla sterilis (L.) Garcke	0,30					■	■	■	■						0
Ranunculus repens L.	0,30			■	■	■	■								0
Rumex acetosella L.	0,30			■	■	■	■								0
Total général	100														

Annexe 2b

Tab. 13 – Espèces inventoriées sur une ancienne prairie de fauche maigre dans les Pyrénées-Orientales
 1 – Cruz *et al.* [2010].
 2 – Daget *et al.* (1969), et Jouglet *et al.* (1999) cf. glossaire.

Espèces	Contribution au recouvrement végétal (%)	Somme de degrés jours pour floraison 1 (°C)	Période de maturité des semences (La Llagonne, alt: 1700 m)												Indices de qualité fourragère 2
			Juillet				Août				Sept.				
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Festuca (groupe rubra)	20,22	1029,6													2
Agrostis capillaris L.	10,30	1797,8													3
Koeleria pyramidata (Lam.) P.Beauv.	6,60	1290													1
Dactylis glomerata L.	1,00	1058,5													5
Cynosurus cristatus L.	0,60	1442,3													2
Phleum pratense L.	2,90	1761,8													5
Trisetum flavescens (L.) P.Beauv.	0,30	1428													3
Anthoxanthum odoratum L.	0,21	765,4													1
Briza media L.	0,82	1290,3													1
Nardus stricta L.	0,82	1998*													0
Holcus lanatus L.	0,20	965,9													2
Poa sp.	0,02	1100													4
Carex brizoides L.	10,31														0
Carex nigra (L.) Reichard	0,40														0
Luzula campestris (L.) DC.	0,02														0
Trifolium repens L.	12,40														4
Trifolium pratense L.	2,06														4
Vicia sepium L.	0,40														3
Lathyrus pratensis L.	0,20														3
Cytisus oromediterraneus Rivas Mart., T.E.Díaz, Fern.Prieto, Loidi & Peñas	0,02														0
Ranunculus acris L.	8,22														0
Leontodon hispidus L.	4,95														0
Bistorta officinalis Delarbre.	4,50														0
Taraxacum officinale F.H.Wigg.	3,30														2
Galium verum L.	2,48														0
Pilosella flagellaris (Willd.) Arv.-Touv.	2,40														0
Rhinanthus alectorolophus (Scop.) Pollich	2,06														0

Espèces	Contribution au recouvrement végétal (%)	Somme de degrés jours pour floraison °C	Période de maturité des semences (La Llagonne, alt: 1700 m)												Indices de qualité fourragère ²
			Juillet				Août				Sept.				
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
<i>Achillea millefolium</i> L.	0,82														2
<i>Poterium sanguisorba</i> L.	0,42														2
<i>Saxifraga granulata</i> L.	0,41														0
<i>Conopodium majus</i> (Gouan) Loret	0,21														0
<i>Dianthus carthusianorum</i> L.	0,20														0
<i>Dianthus deltoides</i> L.	0,10														0
<i>Cerastium fontanum</i> subsp. vulgare (Hartm.) Greuter & Burdet	0,11														0
<i>Veronica serpyllifolia</i> L.	0,02														0
Total général	100														

Annexe 3a

Tab. 14 – Espèces inventoriées sur prairies de fauche fertilisées en zone centro-occidentale

1 – Cruz *et al.* [2010].

2 – Daget *et al.* (1969), et Jouglet *et al.* (1999) cf. glossaire.

Espèces	Contribution au recouvrement végétal (%)	Somme de degrés jours pour floraison 1 (°C)	Maturité des semences (Gavarnie Gèdre, alt: 1600 m)												Indices de qualité fourragère 2
			Juillet				Août				Sept.				
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Dactylis glomerata L.	11,26	1058,5	██████████												5
Trisetum flavescens (L.) P.Beauv.	10,26	1428					██████████								3
Anthoxanthum odoratum L.	8,88	765,4	██████████												1
Cynosurus cristatus L.	8,76	1442,3					██████████								2
Festuca rubra L.	5,50	1029,6	██████████												2
Poa trivialis L.	5,13	1202,2	██████████												4
Agrostis capillaris L.	4,63	1797,8					██████████				██████████				3
Poa pratensis L.	1,88	1029,6	██████████												4
Arrhenatherum elatius (L.) P.Beauv. ex J.Prestl & C.Prestl	1,50	1290,3	██████████												3
Bromus hordeaceus L.	1,25						██████████								1
Agrostis stolonifera L.	0,63						██████████				██████████				3
Helictotrichon sedenense (Clarion ex DC.) Holub	0,13		██████████												
Phleum pratense L.	0,13	1761,8					██████████								5
Carex pilulifera L.	0,13						██████████				██████████				0
Trifolium repens L.	4,63						██████████				██████████				4
Trifolium pratense L.	2,88		██████████				██████████				██████████				4
Lathyrus linifolius (Reichard) Bässler	0,13						██████████								3
Ranunculus gouanii Willd.	7,26						██████████								0
Plantago lanceolata L.	4,25		██████████				██████████								2
Viola cornuta L.	3,00														0
Taraxacum officinale section ruderale	2,38		██████████												0
Conopodium pyrenaicum (Loisel.) Miègev.	2,00						██████████								0
Rumex acetosa L.	2,00						██████████				██████████				0
Veronica chamaedrys L.	1,50						██████████				██████████				0
Narcissus poeticus L.	1,38														0
Cerastium arvense L.	1,13		██████████				██████████								0
Galium verum L.	1,13						██████████								0

Espèces	Contribution au recouvrement végétal (%)	Somme de degrés jours pour floraison ¹ (°C)	Maturité des semences (Gavarnie Gèdre, alt: 1600 m)												Indices de qualité fourragère ²
			Juillet				Août				Sept.				
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
<i>Alchemilla xanthochlora</i> Rothm.	0,75													0	
<i>Rhinanthus pumilus</i> (Sterneck) Soldano	0,63													0	
<i>Tragopogon pratensis</i> L.	0,63													0	
<i>Achillea millefolium</i> L.	0,50													2	
<i>Centaurea nigra</i> L.	0,50													0	
<i>Crocus nudiflorus</i> Sm.	0,38													0	
<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke	0,38													0	
<i>Tractema umbellata</i> (Ramond) Speta	0,38													0	
<i>Campanula scheuchzeri</i> Vill. subsp. <i>scheuchzeri</i>	0,31													0	
<i>Cerastium fontanum</i> subsp. <i>vulgare</i> (Hartm.) Greuter & Burdet	0,25													0	
<i>Iris latifolia</i> (Mill.) Voss	0,25													0	
<i>Poterium sanguisorba</i> L.	0,25													2	
<i>Asphodelus albus</i> Mill.	0,13													0	
<i>Centaurea decipiens</i> subsp. <i>debeauxii</i> (Godr. & Gren.) B.Bock	0,13													0	
<i>Chaerophyllum hirsutum</i> L.	0,13													0	
<i>Crepis pyrenaica</i> (L.) Greuter	0,13													0	
<i>Heraclium sphondylium</i> L.	0,13													0	
<i>Leontodon hispidus</i> L.	0,13													0	
<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.	0,13													0	
<i>Veronica arvensis</i> L.	0,13													0	
<i>Campanula rotundifolia</i> L.	0,10													0	
Total général	100														

Annexe 3b

Tab. 15 – Espèces observées dans les prairies de fauche des Pyrénées orientales

1 – Cruz *et al.* [2010].

2 – Daget *et al.* (1969), et Jouglet *et al.* (1999) cf. glossaire.

Espèces	Contribution au recouvrement végétal (%)	Somme de degrés jours pour floraison 1 (°C)	Maturité des semences (La Llagonne, alt: 1700 m)												Indices de qualité fourragère 2
			Juillet				Août				Sept.				
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Festuca (groupe rubra)	21,11	1029,6	██████████												2
Arrhenatherum elatius subsp. bulbosum (Willd.) Schübler & G.Martens	6,87														
Dactylis glomerata L.	1,47	1058,5	██████████												5
Cynosurus cristatus L.	0,74	1442,3					██████████								2
Briza media L.	0,49	1290,3	██████████												1
Agrostis capillaris L.	1,47	1797,8					██████████				██████████				3
Trisetum flavescens (L.) P.Beauv.	0,49	1428,0					██████████								3
Phleum pratense L.	0,49	1761,8					██████████								5
Koeleria pyramidata (Lam.) P.Beauv.	0,25														1
Anthoxanthum odoratum L.	0,25	765,4	██████████												1
Holcus lanatus L.	0,25	965,9	██████████												2
Poa sp.	0,02	1100,0	██████████				██████████								4
Carex brizoides L.	0,02						██████████								0
Carex nigra (L.) Reichard	0,02						██████████								0
Carex panicea L.	0,02						██████████				██████████				0
Luzula campestris (L.) DC.	0,02		██████████				██████████								0
Trifolium pratense L.	11,78						██████████								4
Lotus corniculatus L.	9,82						██████████				██████████				3
Trifolium repens L.	3,44						██████████				██████████				4
Lathyrus pratensis L.	0,49						██████████				██████████				3
Vicia sepium L.	0,49						██████████								3
Galium verum L.	6,87														0
Rhinanthus alectorolophus (Scop.) Pollich.	6,38						██████████								0
Taraxacum officinale F.H.Wigg.	5,89														2
Achillea millefolium L.	5,40										██████████				2
Plantago lanceolata L.	4,91		██████████												2
Armeria alliacea (Cav.) Hoffmanns. & Link.	2,95														0

Espèces	Contribution au recouvrement végétal (%)	Somme de degrés jours pour floraison 1 (°C)	Maturité des semences (La Llagonne, alt: 1700 m)												Indices de qualité fourragère 2	
			Juillet				Août				Sept.					
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
<i>Dianthus deltoides</i> L.	2,45					■	■	■	■							0
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	1,47						■	■	■							0
<i>Conopodium majus</i> (Gouan) Loret	0,98						■	■	■							0
<i>Ranunculus bulbosus</i> L.	0,98						■	■	■	■						0
<i>Hieracium</i> sp.	0,49						■	■	■	■						0
<i>Hypochaeris radicata</i> L.	0,49						■	■	■	■						0
<i>Veronica chamaedrys</i> L.	0,49						■	■	■	■						0
<i>Cerastium fontanum</i> subsp. vulgare (Hartm.) Greuter & Burdet	0,02		■	■	■											0
<i>Rumex acetosa</i> L.	0,02		■	■	■	■	■									0
<i>Myosotis sylvatica</i> Hoffm.	0,02					■	■	■	■							0
<i>Narcissus poeticus</i> L.	0,02															0
<i>Dianthus carthusianorum</i> L.	0,02				■	■	■	■	■							0
<i>Neotinea ustulata</i> (L.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase	0,02															0
<i>Pedicularis</i> sp.	0,02															0
<i>Viola tricolor</i> L.	0,02															0
<i>Tragopogon pratensis</i> L.	0,02				■	■	■	■	■							0
Total général	100															

Annexe 4

Tab. 16 – Principales espèces récoltées par transfert de foin vert dans les Pyrénées centro-occidentales
% de présence* = masse de l'espèce sur la masse totale du mélange, en % (valeurs moyennes observées sur 2 échantillons de graines de 1 g prélevés dans le foin fauché sur 2 parcelles de chaque type de végétation).

Groupes de plantes	Nardaie subalpine		Ancienne prairie de fauche		Prairie de fauche	
	Espèces	% présence	Espèces	% présence	Espèces	% présence
Poacées	<i>Festuca rubra</i>	45,40	<i>Festuca rubra</i>	59,80	<i>Festuca rubra</i>	27,10
	<i>Festuca nigrescens</i>	29,82	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	6,30	<i>Dactylis glomerata</i>	7,20
	<i>Avenella flexuosa</i>	6,00	<i>Dactylis glomerata</i>	2,64	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	6,20
	<i>Nardus stricta</i>	5,70	<i>Agrostis capillaris</i>	1,20	<i>Agrostis capillaris</i>	3,10
	<i>Festuca eskia</i>	4,60	<i>Poa pratensis</i>	0,07	<i>Poa trivialis</i>	2,60
Sous total		91,52		70,01		46,20
Autres monocotylédones	<i>Carex caryophylllea</i>	0,18			<i>Carex sp</i>	0,30
	<i>Luzula campestris</i>	0,01				
Sous total		0,19				0,30
Fabacées	<i>Lotus corniculatus</i>	0,37	<i>Trifolium pratense</i>	1,40	<i>Trifolium pratense</i>	7,60
	<i>Trifolium pratense</i>	0,06	<i>Lathyrus pratensis</i>	0,90	<i>Trifolium repens</i>	3,40
	<i>Trifolium repens</i>	0,04	<i>Vicia sativa</i>	0,90		
Sous total		0,47		3,20		11,00
Autres dicotylédones	<i>Plantago alpina</i>	2,60	<i>Plantago lanceolata</i>	7,40	<i>Centaurea nigra</i>	0,03
	<i>Conopodium majus</i>	0,29	<i>Rhinanthus angustifolius</i>	6,80	<i>Campanula rotundifolia</i>	0,03
	<i>Achillea millefolium</i>	0,04	<i>Silene vulgaris</i>	3,78	<i>Cerastium arvense</i>	0,02
	<i>Scorzoneroides duboisii</i>	0,03	<i>Achillea millefolium</i>	2,30	<i>Chaerophyllum hirsutum</i>	0,02
	<i>Veronica chamaedrys</i>	0,01	<i>Dianthus deltoides</i>	1,30	<i>Rumex acetosa</i>	0,02
Sous total		2,97		21,58		0,12
% espèces ci-dessus / ensemble des espèces récoltées		92,18		73,21		57,50

Annexe 5a

Tab. 17 – Principales espèces récoltées à la brosseuse dans les Pyrénées centro-occidentales

% de présence = masse de l'espèce sur la masse totale du mélange, en % (valeurs moyennes observées sur 2 échantillons de graines de 1 g prélevés sur des mélanges obtenus sur 2 parcelles de chaque type de végétation).

Groupes de plantes	Nardaaie subalpine		Ancienne prairie de fauche		Prairie de fauche	
	Espèces	% présence	Espèces	% présence	Espèces	% présence
Poacées	<i>Festuca rubra</i>	58,60	<i>Festuca rubra</i>	76,50	<i>Festuca rubra</i>	28,41
	<i>Festuca nigrescens</i>	28,20	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	5,10	<i>Trisetum flavescens</i>	12,30
	<i>Avenella flexuosa</i>	4,10	<i>Trisetum flavescens</i>	3,40	<i>Dactylis glomerata</i>	8,10
	<i>Festuca eskia</i>	3,50	<i>Poa pratensis</i>	1,55	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	4,80
	<i>Nardus stricta</i>	3,10	<i>Dactylis glomerata</i>	0,90	<i>Poa trivialis</i>	4,10
Sous total		97,50		87,45		57,71
Fabacées	<i>Lotus corniculatus</i>	0,10	<i>Trifolium pratense</i>	2,30	<i>Trifolium pratense</i>	2,80
	<i>Trifolium pratense</i>	0,06	<i>Vicia sativa</i>	1,90	<i>Vicia sepium</i>	2,20
			<i>Vicia sepium</i>	0,80		
Sous total		0,16		4,20		5,00
Autres dicotylédones	<i>Plantago alpina</i>	1,05	<i>Silene vulgaris</i>	2,50	<i>Centaurea nigra</i>	3,90
	<i>Dianthus deltoides</i>	0,47	<i>Rhinanthus angustifolius</i>	1,50	<i>Leontodon</i> sp	3,40
	<i>Conopodium majus</i>	0,38	<i>Plantago lanceolata</i>	1,20	<i>Ranunculus gouanii</i>	2,60
	<i>Jasione montana</i>	0,30	<i>Dianthus deltoides</i>	0,80	<i>Silene vulgaris</i>	2,93
	<i>Scorzoneroides duboisii</i>	0,30	<i>Rumex acetosella</i>	0,50	<i>Crepis</i> ou <i>Leontodon</i>	1,95
Sous total		2,50		6,50		14,78
% espèces ci-dessus / ensemble des espèces récoltées		97,66		91,65		62,71

Annexe 5b

Tab. 18 – Principales espèces récoltées à la brosseuse dans les Pyrénées orientales

% de présence = masse de l'espèce sur la masse totale du mélange, en % (valeurs moyennes observées sur 2 échantillons de graines de 1 g prélevés sur des mélanges obtenus sur une parcelle de chaque type de végétation).

Groupes de plantes	Nardaie subalpine		Ancienne prairie de fauche		Prairie de fauche	
	Espèces	% présence	Espèces	% présence	Espèces	% présence
Poacées	<i>Festuca rubra</i>	71,00	<i>Festuca rubra</i>	66,10	<i>Festuca rubra</i>	69,69
	<i>Nardus stricta</i>	14,39	<i>Khoeleria pyramidata</i>	4,70	<i>Dactylis glomerata</i>	8,30
	<i>Khoeleria pyramidata</i>	2,70	<i>Dactylis glomerata</i>	4,60	<i>Cynosurus cristatus</i>	3,20
	<i>Poa sp.</i>	1,44	<i>Nardus stricta</i>	3,60	<i>Holcus lanatus</i>	1,30
	<i>Avenella flexuosa</i>	1,40	<i>Cynosurus cristatus</i>	2,40	<i>Arrhenaterum elatius</i>	1,06
Sous total		90,93		81,40		83,55
Autres monocotylédones	<i>Carex nigra</i>	1,44	<i>Carex brizoïdes</i>	1,50	<i>Carex brizoïdes</i>	0,10
	<i>Carex brizoïdes</i>	1,20	<i>Carex nigra</i>	1,49	<i>Carex nigra</i>	0,10
Sous total		2,64		2,99		0,20
Fabacées	<i>Trifolium repens</i>	0,01	<i>Lathyrus pratense</i>	0,50	<i>Trifolium pratense</i>	1,06
			<i>Trifolium pratense</i>	0,30	<i>Lathyrus pratense</i>	0,80
			<i>Vicia sepium</i>	0,09	<i>Vicia sepium</i>	0,40
					<i>Lotus corniculatus</i>	0,05
Sous total		0,01		0,89		2,26
Autres dicotylédones	<i>Dianthus deltoïdes</i>	1,50	<i>Ranunculus acris</i>	1,30	<i>Plantago lanceolata</i>	5,30
	<i>Ceraiste arvense</i>	0,80	<i>Conopodium majus</i>	1,20	<i>Rhynantus alectorolophus</i>	2,12
	<i>Polygonum bistorta</i>	0,02	<i>Polygonum bistorta</i>	0,86	<i>Dianthus carthusianorum</i>	1,59
	<i>Veronica chamaedris</i>	0,01	<i>Rhynantus alectorolophus</i>	0,80	<i>Dianthus deltoïdes</i>	0,53
			<i>Ceraiste fontanum</i>	0,48	<i>Tragopogon pratensis</i>	0,09
Sous total		2,32		4,64		9,64
% espèces ci-dessus / ensemble des espèces récoltées		95,45		86,93		93,26

Annexe 5c

Tab. 19 – Principales espèces récoltées à la moissonneuse-batteuse dans les Pyrénées centro-occidentales
% de présence = masse de l'espèce sur la masse totale du mélange, en % (valeurs moyennes observées sur 2 échantillons de graines de 1 g prélevés sur des mélanges obtenus sur 2 parcelles de chaque type de végétation).

Groupes de plantes	Ancienne prairie de fauche		Prairie de fauche	
	Espèces	% présence	Espèces	% présence
Poacées	<i>Festuca rubra</i>	67,10	<i>Festuca rubra</i>	26,40
	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	5,60	<i>Dactylis glomerata</i>	14,30
	<i>Trisetum flavescens</i>	3,00	<i>Festuca nigrescens</i>	11,70
	<i>Dactylis glomerata</i>	2,20	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	8,70
	<i>Poa pratensis</i>	1,20	<i>Cynosorus cristatus</i>	1,60
Sous total		79,10		62,70
Fabacées	<i>Vicia sepium</i>	3,10	<i>Trifolium pratense</i>	2,80
	<i>Trifolium pratense</i>	3,00	<i>Trifolium repens</i>	2,20
	<i>Trifolium repens</i>	1,10	<i>Lathyrus montanus</i>	0,01
	<i>Lotus corniculatus</i>	0,70		
Sous total		7,90		5,01
Autres dicotylédones	<i>Plantago lanceolata</i>	2,30	<i>Plantago lanceolata</i>	1,30
	<i>Rhinanthus angustifolius</i>	0,32	<i>Rumex acetosa</i>	0,80
	<i>Silene vulgaris</i>	2,30	<i>Leontodon</i> sp	0,77
	<i>Achillea millefolium</i>	0,50	<i>Viola cornuta</i>	0,76
	<i>Dianthus deltoïdes</i>	0,01	<i>Conopodium pyrenaicum</i>	0,62
Sous total		5,42		4,25
% espèces ci-dessus / ensemble des espèces récoltées		92,42		71,96

Annexe 6a

Tab. 20 – Contribution des plantes inventoriées sur le semis de semences locales sur sol pauvre au recouvrement végétal (Site des Angles)

	Composition du mélange de semences	Contribution N+1 (%)	Contribution N+2 (%)	Contribution N+3 (%)	Contribution N+4 (%)	Contribution moy. [%]	Contribution moy. espèces semées (%)	Contribution moy. espèces colonisatrices (%)	Contribution moy. espèces pélouses subalpines (%)
<i>Achillea millefolium</i> L.	6,2	5,8	5,6	10,0	7,7	7,3	7,3		
<i>Atocion rupestre</i> (L.) B.Oxelman		0,6	0,2	0,4	0,4	0,4		0,4	
<i>Agrostis capillaris</i> L.			1,0			0,2		0,2	0,2
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	1,1								
<i>Bistorta officinalis</i> Delarbre	0,6								
<i>Briza media</i> L.	1,5								
<i>Carex brizoides</i> L.	1,2								
<i>Carex nigra</i> (L.) Reichard	0,2								
<i>Cirsium eriophorum</i> (L.) Scop.				0,4	0,4	0,2		0,2	
<i>Conopodium majus</i> (Gouan) Loret	0,2								
<i>Dactylis glomerata</i> L.	1,6	1,1	0,8	1,3	1,8	1,2	1,2		
<i>Dianthus deltoides</i> L.	0,0								
<i>Festuca eskia</i> Ramond ex DC.		8,1	1,8	0,2	0,2	2,6		2,6	2,6
<i>Festuca nigrescens</i> L.	60,7	60,3	66,8	53,6	56,3	59,2	59,2		59,2
<i>Galium verum</i> L.	0,3								
<i>Hypochaeris radicata</i> L.		1,7	0,2			0,5		0,5	
<i>Koeleria pyramidata</i> (Lam.) P.Beauv.	3,6								
<i>Leontodon hispidus</i> L.			0,2			0,0		0,0	
<i>Lolium perenne</i> L.	5,0	5,3	3,1	1,9	1,9	3,0	3,0		
<i>Nardus stricta</i> L.	2,6								
<i>Phleum pratense</i> L.	0,8								
<i>Pilosella lactucella</i> (Wallr.) P.D.Sell & C.West		1,7				0,4		0,4	0,4
<i>Pinus uncinata</i> Ramond ex DC.									
<i>Plantago lanceolata</i> L.	0,1	0,6	5,0	2,3	1,4	2,3	2,3		
<i>Poa pratensis</i> L.	1,1	1,1	0,6			0,4	0,4		
<i>Ranunculus acris</i> L.	1,3								
<i>Rhinanthus minor</i> L.	0,7								
<i>Rumex acetosa</i> L.		1,9				0,5		0,5	

	Composition du mélange de semences	Contribution N+1 [%]	Contribution N+2 [%]	Contribution N+3 [%]	Contribution N+4 [%]	Contribution moy. [%]	Contribution moy. espèces semées [%]	Contribution moy. espèces colonisatrices [%]	Contribution moy. espèces pelouses subalpines [%]
Rumex acetosella L.				0,4	0,4	0,2		0,2	0,2
Poterium sanguisorba L.	0,1								
Scorzoneroides pyrenaica (Gouan) Holub	0,3								
Sesamoides pygmaea (Scheele) Kuntze		4,2				1,0		1,0	
Sisymbrium austriacum Jacq.			0,2	0,8	0,6	0,4		0,4	
Murbeckiella pinnatifida (Lam). Rothm.			0,4	0,2	0,2	0,2		0,2	
Spergularia rubra (L.) D. Dietr.		1,1	0,6			0,4		0,4	
Taraxacum officinale F.H.Wigg.	0,0								
Tragopogon pratensis L.	0,0								
Trifolium pratense L.	0,3								
Trifolium repens L.	10,3	4,4	13,7	28,4	28,8	18,8	18,8		
Veronica arvensis L.		2,2				0,6		0,6	
Vicia sepium L.	0,1								
Total	100	100	100	100	100	100	92,4	7,6	62,7
Nb d'espèces	26	15	15	12	12	21	7	14	5

Annexe 6b

Tab. 21 – Contribution des plantes inventoriées sur le semis de semences exogènes sur sol pauvre au recouvrement végétal (Site des Angles)

	Composition du mélange de semences	Contribution N+1 (%)	Contribution N+2 (%)	Contribution N+3 (%)	Contribution N+4 (%)	Contribution moy. (%)	Contribution moy. espèces semées (%)	Contribution moy. espèces colonisatrices (%)	Contribution moy. espèces pelouses subalpines (%)
<i>Achillea millefolium</i> L.	1,0	4,3	2,7	18,9	19,6	11,4	11,4		
<i>Atocion rupestre</i> (L.) B.Oxelman		1,1	1,2	0,3	0,3	0,7		0,7	
<i>Agrostis capillaris</i> L.		1,1	5,1	0,3		1,6		1,6	1,6
<i>Cirsium eriophorum</i> (L.) Scop.				1,0	1,3	0,6		0,6	
<i>Dactylis glomerata</i> L.	15,0	21,4	21,1	25,0	18,0	21,4	21,4		
<i>Festuca eskia</i> Ramond ex DC.		2,7	6,0	8,1	12,2	7,2		7,2	7,2
<i>Festuca rubra</i> L.	25,0	41,7	13,0	18,9	25,0	24,6	24,6		
<i>Hypochaeris radicata</i> L.				0,7	1,3	0,5		0,5	
<i>Linaria repens</i> (L.) Mill.					0,3	0,1		0,1	
<i>Lolium perenne</i> L.	15,0	8,6	45,8	16,2	11,2	20,4	20,4		
<i>Lotus corniculatus</i> L.	5,0								
<i>Phleum pratense</i> L.	15,0	1,1	0,6	1,0	1,5	1,1	1,1		
<i>Pilosella lactucella</i> (Wallr.) P.D.Sell & C.West		1,1	0,6			0,4		0,4	0,4
<i>Plantago lanceolata</i> L.				0,3	0,3	0,1		0,1	
<i>Poterium sanguisorba</i> L.		6,4				1,6		1,6	1,6
<i>Rumex acetosella</i> L.		2,7	1,5	0,6	0,9	1,4		1,4	1,4
<i>Schedonorus arundinaceus</i> (Shreb.) Dumort.	20,0	1,1	1,2	6,6	5,7	3,6	3,6		
<i>Sisymbrium austriacum</i> Jacq.			1,2			0,3		0,3	
<i>Trifolium repens</i> L.	4,0	7,0		2,1	2,6	2,9	2,9		
Total	100	100	100	100	100	100	85	15	12
Nb d'espèces	8	13	12	14	14	18	7	11	18

Annexe 7a

Tab. 22 – Contribution des plantes inventoriées sur le semis de semences locales sur sol peu fertile au recouvrement végétal (Site du Grand-Tourmalet)

	Composition du mélange de semences	Contribution N+1 (%) ¹	Contribution N+2 (%)	Contribution N+3 (%)	Contribution N+4 (%)	Contribution moy. (%)	Contribution moy. espèces semées (%)	Contribution moy. espèces colonisatrices (%)	Contribution moy. espèces pelouses subalpines (%)
Achillea millefolium L.	3		9,0	8,5	2,7	6,8	6,8		
Agrostis capillaris L.			0,1	0,1	0,1	0,1		0,1	0,1
Avenella flexuosa (L.) Drejer	2,3								
Briza media L.	1,2		0,5	0,4	0,4	0,5	0,5		0,5
Carex nigra (L.) Reichard	0,3								
Conopodium majus (Gouan) Loret	0,18								
Crocus nudiflorus Sm.			0,6	0,1	1,2	0,6		0,6	0,6
Dianthus deltoides L.	0,7								
Festuca eskia Ramond ex DC.	4,1		3,3	3,8	4,4	3,8		3,8	3,8
Festuca nigrescens L.	79,1		74,9	72,5	70,0	72,5	72,5		72,5
Galium saxatile L.			0,7	1,3	0,6	0,8		0,8	0,8
Galium verum L.	0,2								
Gnaphalium sylvaticum L.					0,1	0,0		0,0	0,0
Jasione laevis L.	0,3		0,2	0,1	0,1	0,2		0,2	0,2
Lotus corniculatus L.	0,02								
Nardus stricta L.	5,2		3,0	6,8	13,2	7,7	7,7		7,7
Paronychia polygonifolia (Vill.) DC.			0,8	0,6	0,5	0,6		0,6	
Phleum pratense L.	0,1								
Plantago lanceolata L.				0,1		0,0	0,0		
Plantago monosperma Pourr.	0,2								
Poa alpina L.	1,2		0,6	2,9	4,4	2,6		2,6	2,6
Ranunculus pyrenaicus L. subsp. pyrenaicus			0,3	0,1	0,1	0,2		0,2	0,2
Sagina saginoides subsp. pyrenaica (Rouy) Font Quer			0,1	0,1		0,1		0,1	0,1
Atocion rupestre (L.) B.Oxelman			0,5	0,4	0,2	0,4		0,4	
Murbeckiella pinnatifida (Lam.) Rothm.			0,3	0,1	0,1	0,2		0,2	
Spergularia rubra (L.) D. Dietr.			2,6	1,1	0,1	1,3		1,3	
Trifolium alpinum L.			0,7	0,4	0,3	0,5		0,5	0,5
Trifolium repens L.	1,9		1,7	0,3		0,7	0,7		
Veronica fruticans Jacq.			0,1	0,1	1,4	0,5		0,5	
Viola reichenbachiana Jord. ex Boreau					0,1	0,0		0,0	
Total	100		100	100	100	100	88	12	89
Nb d'espèces	16		19	20	19	22	6	16	13

1 – Inventaires non réalisés cette année.

Annexe 7b

Tab. 23 – Contribution des plantes inventoriées sur le semis de semences exogènes sur sol pauvre au recouvrement végétal (Site du Grand Tourmalet)

	Composition du mélange de semences	Contribution N+1 [%] ¹	Contribution N+2 [%]	Contribution N+3 [%]	Contribution N+4 [%]	Contribution moy. [%]	Contribution moy. espèces semées [%]	Contribution moy. espèces colonisatrices [%]	Contribution moy. espèces pelouses subalpines [%]
Achillea millefolium L.	1		3,6	4,2	3,1	3,6	3,6		
Crocus nudiflorus Sm.			0,5			0,2		0,2	0,2
Dactylis glomerata L.	10		10,2	11,6	1,0	7,6	7,6		
Festuca eskia Ramond ex DC.			4,1	3,8	7,3	5,1		5,1	5,1
Festuca rubra L.	30		50,8	51,7	75,3	59,2		59,2	
Gnaphalium sylvaticum L.			0,3	0,9	0,1	0,5		0,5	0,5
Jasione laevis L.				0,2	0,1	0,1		0,1	0,1
Lolium perenne L.	10		10,2	3,3	0,4	4,6	4,6		
Lotus corniculatus L.	1								
Medicago sativa L.	1								
Nardus stricta L.			1,5	1,2	1,5	1,4	1,4		1,4
Onobrychis viciifolia Scop.	10								
Paronychia polygonifolia [Vill.] DC.					0,1	0,0		0,0	
Plantago lanceolata L.			0,3	0,4	0,1	0,3	0,3		
Poa alpina L.				0,2		0,1		0,1	0,1
Poa pratensis L.	5		12,2	12,7	6,6	10,5	10,5		
Ranunculus pyrenaicus L. subsp. pyrenaicus					0,1	0,0		0,0	0,0
Sagina saginoides subsp. pyrenaica [Rouy] Font Quer			0,3			0,1		0,1	0,1
Poterium sanguisorba L.	6								
Schedonorus arundinaceus [Shreb.] Dumort.	25		2,7	4,6	0,7	2,7		2,7	
Murbeckiella pinnatifida [Lam.] Rothm.			1,4			0,5		0,5	
Spergularia rubra [L.] D. Dietr.				0,4	0,5	0,3		0,3	
Trifolium alpinum L.			1,4	4,5	2,5	2,8		2,8	2,8
Trifolium repens L.	1		0,3	0,4	0,1	0,3	0,3		
Veronica fruticans Jacq.			0,3		0,1	0,1		0,1	
Total	100		100	100	100	100	28	72	10
Nb d'espèces	11		16	15	17	21	7	14	9

1 – Inventaires non réalisés cette année.



Fig. 97 – Silène des rochers, *Atocion rupestre* (L.) Oxelman
Cette plante colonise rapidement les pelouses subalpines
acidiclinales dégradées.

Annexe 8a

Tab. 24 – Contribution des plantes inventoriées sur le semis de semences locales sur sol fertile au recouvrement végétal (Site de Font-Romeu)

	Composition du mélange de semences	Contribution N+1 (%)	Contribution N+2 (%)	Contribution N+3 (%)	Contribution N+4 (%)	Contribution moy. (%)	Contribution moy. espèces semées (%)	Contribution moy. espèces colonisatrices (%)	Contribution moy. espèces pelouses subalpines (%)
<i>Achillea millefolium</i> L.	6,2	0,9	0,4	0,8	1,1	0,8	0,8		
<i>Atocion rupestre</i> (L.) Oxelman		0,1	3,9	0,4		1,1		1,1	
<i>Agrostis capillaris</i> L.		0,9	3,7	9,9	9,7	6,0		6,0	6,0
<i>Anemone nemorosa</i> L.				0,1	0,1	0,0		0,0	
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	1,1								
<i>Bistorta officinalis</i> Delarbre	0,6								
<i>Briza media</i> L.	1,5	0,3				0,1	0,1		0,1
<i>Carex brizoides</i> L.	1,2								
<i>Carex nigra</i> (L.) Reichard	0,2								
<i>Coincya monensis</i> subsp. <i>cheiranthos</i> (Vill.) Aedo, Leadlay & Muñoz Garm.		0,2	0,1	0,1	0,2	0,1		0,1	
<i>Conopodium majus</i> (Gouan) Loret	0,2								
<i>Crocus nudiflorus</i> Sm.		0,2	0,0			0,1		0,1	0,1
<i>Cytisus oromediterraneus</i> Rivas Mart. & al.		0,4	0,1	0,2	0,2	0,2		0,2	
<i>Dactylis glomerata</i> L.	1,6	0,3	0,5	0,1	0,1	0,3	0,3		
<i>Dianthus deltoides</i> L.	0,0								
<i>Festuca eskia</i> Ramond ex DC.				1,6	2,1	0,9		0,9	0,9
<i>Festuca nigrescens</i> L.	60,7	91,0	84,7	82,0	76,9	83,6	83,6		83,6
<i>Galium verum</i> L.	0,3								
<i>Koeleria pyramidata</i> (Lam.) P.Beauv.	3,6	0,2	0,0	0,1		0,1	0,1		
<i>Lolium perenne</i> L.	5,0	0,2	0,3			0,1	0,1		
<i>Lotus corniculatus</i> L.		0,3	0,2	0,2	0,2	0,2		0,2	0,2
<i>Meum athamanticum</i> Jacq.		0,9	0,2	0,3	0,4	0,4		0,4	0,4
<i>Murbeckiella pinnatifida</i> (Lam.) Rothm.		0,1	0,0	0,1	0,2	0,1		0,1	
<i>Nardus stricta</i> L.	2,6	0,2	0,6	0,7	1,5	0,8	0,8		0,8
<i>Paronychia polygonifolia</i> (Vill.) DC.		0,2	0,7	0,4	2,8	1,0		1,0	
<i>Phleum pratense</i> L.	0,8								
<i>Pilosella lactucella</i> (Wallr.) P.D.Sell & C.West				0,1	0,1	0,0		0,0	0,0
<i>Plantago lanceolata</i> L.	0,1								
<i>Plantago maritima</i> L.		0,3	0,1			0,1		0,1	
<i>Plantago monosperma</i> Pourr.				0,1	0,3	0,1		0,1	

	Composition du mélange de semences	Contribution N+1 [%]	Contribution N+2 [%]	Contribution N+3 [%]	Contribution N+4 [%]	Contribution moy. [%]	Contribution moy. espèces semées [%]	Contribution moy. espèces colonisatrices [%]	Contribution moy. espèces pelouses subalpines [%]
<i>Poa pratensis</i> L.	1,1	1,1	1,6	0,1	0,3	0,8	0,8		
<i>Poterium sanguisorba</i> L.	0,1	0,1	0,0			0,0	0,0		0,0
<i>Pulsatilla alpina</i> (L.) Delarbre			0,0			0,0		0,0	0,0
<i>Ranunculus acris</i> L.	1,3								
<i>Rhinanthus minor</i> L.	0,7								
<i>Rumex acetosella</i> L.		0,2	0,8	0,3	0,5	0,4		0,4	0,4
<i>Scleranthus perennis</i> L.		0,7	0,1	0,1	0,2	0,3		0,3	
<i>Scorzoneroides pyrenaica</i> (Gouan) Holub	0,3		0,5	0,2	0,2	0,2	0,2		
<i>Sesamoides pygmaea</i> (Scheele) Kuntze			0,2	1,8	2,6	1,2		1,2	
<i>Spergularia rubra</i> (L.) D. Dietr.		1,1	0,6	0,3	0,5	0,6		0,6	
<i>Taraxacum officinale</i> F.H.Wigg.	0,0								
<i>Tragopogon pratensis</i> L.	0,0								
<i>Trifolium alpinum</i> L.			0,0	0,1	0,1	0,1		0,1	0,1
<i>Trifolium pratense</i> L.	0,3								
<i>Trifolium repens</i> L.	10,3								
<i>Veronica fruticans</i> Jacq.		0,2	0,7	0,1	0,1	0,2		0,2	
<i>Vicia sepium</i> L.	0,1								
Total	100	100	100	100	100	100	87	14	93
Nb d'espèces	26	23	26	25	23	31	10	21	13

Annexe 8b

Tab. 25 – Contribution des plantes inventoriées sur le semis de semences exogènes sur sol fertile au recouvrement végétal (Site de Font-Romeu)

	Composition du mélange de semences	Contribution N+1 (%)	Contribution N+2 (%)	Contribution N+3 (%)	Contribution N+4 (%)	Contribution moy. (%)	Contribution moy. espèces semées (%)	Contribution moy. espèces colonisatrices (%)	Contribution moy. espèces pelouses subalpines (%)
Achillea millefolium L.	1,0	2,2	6,2	9,4	7,5	6,3	6,3		
Atocion rupestre (L.) Oxelman			1,0	0,9	0,8	0,7		0,7	
Agrostis capillaris L.		65,6	56,2	35,6	33,7	47,8		47,8	47,8
Alchemilla alpina L.				0,6	0,6	0,3		0,3	
Anemone nemorosa L.		0,6				0,1		0,1	
Carex caryophyllea Latourr.				0,1	0,9	0,2		0,2	0,2
Coincya monensis subsp. cheiranthos (Vill.) Aedo, Leadlay & Muñoz Garm.			0,2	0,1	0,1	0,1		0,1	
Crocus nudiflorus Sm.		0,6		0,1		0,2		0,2	0,2
Cytisus oromediterraneus Rivas Mart. & al.		1,4	0,8	0,3	0,3	0,7		0,7	
Dactylis glomerata L.	10,0	6,7	3,9	3,9	3,3	4,5	4,5		
Festuca eskia Ramond ex DC.			3,2	1,7	4,7	2,4		2,4	2,4
Festuca rubra L.	30,0		5,2	33,6	33,2	18,0	18,0		
Galium pumilum Murray				0,1	0,2	0,1		0,1	0,1
Leucanthemum vulgare Lam.				0,1	0,2	0,1		0,1	
Lolium perenne L.	10,0	0,6	4,1			1,2	1,2		
Lotus corniculatus L.	1,0	1,3	0,8	0,7	1,0	0,9	0,9		0,9
Luzula campestris (L.) DC.				0,7	0,6	0,3		0,3	0,3
Medicago sativa L.	1,0								
Meum athamanticum Jacq.		0,3	1,3	1,5	1,2	1,1		1,1	1,1
Murbeckiella pinnatifida (Lam.) Rothm.			0,4	0,2		0,1		0,1	
Nardus stricta L.			0,1	0,2	0,2	0,1		0,1	0,1
Onobrychis viciifolia Scop.	10,0								
Paronychia polygonifolia (Vill.) DC.		1,3	1,4	1,8	1,9	1,6		1,6	
Pilosella lactucella (Wallr.) P.D.Sell & C.West				0,2	0,2	0,1		0,1	0,1
Pinus uncinata Ramond ex DC.				0,1	0,2	0,1		0,1	
Plantago maritima L.		1,0	4,7	2,3	2,4	2,6		2,6	
Plantago monosperma Pourr.				0,1		0,0		0,0	
Poa pratensis L.	5,0	1,4	0,6	0,1		0,5	0,5		
Poterium sanguisorba L.	6,0	0,6	0,4		0,1	0,3	0,3		0,3
Rumex acetosella L.			0,2		0,3	0,2		0,2	0,2

	Composition du mélange de semences	Contribution N+1 (%)	Contribution N+2 (%)	Contribution N+3 (%)	Contribution N+4 (%)	Contribution moy. (%)	Contribution moy. espèces semées (%)	Contribution moy. espèces colonisatrices (%)	Contribution moy. espèces pelouses subalpines (%)
<i>Schedonorus arundinaceus</i> (Shreb.) Dumort.	25,0	1,4	0,3	0,1		0,4	0,4		
<i>Scleranthus perennis</i> L.			2,0	0,4	0,7	0,8		0,8	
<i>Scorzoneroides pyrenaica</i> (Gouan) Holub		0,8				0,2		0,2	
<i>Sesamoides pygmaea</i> (Scheele) Kuntze			1,5	1,4	1,2	1,0		1,0	
<i>Spergularia rubra</i> (L.) D. Dietr.		7,3	1,4	0,5	0,5	2,4		2,4	
<i>Trifolium alpinum</i> L.		5,9	1,5	0,2	0,4	2,0		2,0	2,0
<i>Trifolium pratense</i> L.		0,8				0,2		0,2	
<i>Trifolium repens</i> L.	1,0								
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.			1,6	1,7	2,1	1,3		1,3	
<i>Veronica fruticans</i> Jacq.		0,3				0,1		0,1	
<i>Veronica officinalis</i> L.			0,4	1,2	1,4	0,8		0,8	
<i>Viola reichenbachiana</i> Jord. ex Boreau			0,8	0,2	0,1	0,3		0,3	
Total	100	100	100	100	100	100	32	68	56
Nb d'espèces	11	19	26	33	29	39	8	31	13

Multiplication de semences sauvages des Pyrénées

UN GUIDE TECHNIQUE DES POTENTIALITÉS

Ce guide est destiné aux semenciers et aux agriculteurs intéressés par la multiplication de semences. Il complète le présent guide en précisant les techniques de multiplication, en fournissant des itinéraires techniques, et en proposant des repères pour la mise en place d'une filière de production.

Il est disponible sur **www.ecovars.fr** ou auprès du Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées.

multiplication de semences sauvages des Pyrénées

UN GUIDE TECHNIQUE
DES POTENTIALITÉS



Le Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées est un acteur scientifique et technique, agréé par le Ministère de l'écologie, géré par des collectivités territoriales dans le cadre d'un syndicat mixte, missionné pour **renforcer la connaissance de la flore sauvage** et pour **accompagner les politiques de conservation des espèces et des habitats naturels**.

Ses botanistes procèdent à des inventaires (général, espèces rares et protégées, champignons, mousses...) qui alimentent une base de données. Celle-ci est ensuite exploitée pour situer les populations végétales, mesurer les évolutions, identifier les menaces. Le Conservatoire n'est pas gestionnaire d'espaces naturels; il apporte un concours technique aux propriétaires, aux collectivités territoriales, à

l'Etat, afin qu'ils mettent en œuvre les mesures de gestion les plus appropriées à la conservation des espèces et des milieux naturels.

Il a initié en 2000 une dynamique pour des pratiques de revégétalisation préservant la flore sauvage et les milieux naturels. Partenaires et financeurs l'ont soutenue dans le cadre des programmes Ecovars, Ecovars 2, Ecovars+ et Ecovars^{3D}. Sa participation au programme «SOS Pradera» de 2016 à 2018 a aussi permis de mener des travaux plus spécifiques sur la restauration écologique de prairies de fauche de montagne.

Pour plus d'informations :

www.cbnpmp.fr
et **www.ecovars.fr**

Initiative transfrontalière de coopération territoriale de la Communauté de travail des Pyrénées (CTP), **l'Observatoire pyrénéen du changement climatique (OPCC)** a pour objectif de suivre et de comprendre les effets du changement climatique dans les Pyrénées pour aider le territoire à s'adapter à ses impacts.

La restauration écologique des prairies et pelouses montagnardes, réalisées à partir de plantes d'origine locale, permet d'implanter des couverts végétaux

adaptés aux conditions d'altitude. Les milieux reconstitués sont alors plus résilients face aux aléas climatiques, particulièrement exacerbés en montagne (orages, gels, sécheresse...). En recréant des milieux stables, aux végétations adaptées aux conditions locales, ces pratiques contribuent à l'atténuation des effets du changement climatique.

Pour plus d'informations :

www.opcc-ctp.org.fr



Contact

Mission de restauration écologique au

Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées

Tél : 05 62 95 85 35

jocelyne.cambecedes@cbnpmp.fr

manuel.delafoulhouze@cbnpmp.fr

 **écovars**



Les acteurs des programmes Ecovars

AMIDEV

Ce bureau d'étude spécialisé dans la protection des milieux est un des promoteurs de l'utilisation de semences locales en revégétalisation. Il est un partenaire clé de la démarche Ecovars.

CNRS-CEFE

Ce laboratoire a cogéré l'étude menée sur les performances environnementales relatives des semences d'origine locale par rapport aux semences exogènes. Il a mis en œuvre tous les travaux sur l'évolution des sols.

Comité de massif

L'Europe, l'Etat, les régions Nouvelle Aquitaine et Occitanie Méditerranée soutiennent politiquement et financièrement Ecovars, de façon coordonnée dans le cadre du Comité de massif, animé par le Commissariat à l'aménagement des Pyrénées.

Conseil départemental des Pyrénées-Atlantiques

Il s'est engagé dans le développement d'une filière de production de semences pyrénéennes en soutenant l'association Estivade et l'association Indigraines. Il a adopté de meilleures pratiques de revégétalisation pour chacun des aménagements, routiers ou touristiques, qu'il entreprend.

Estivade

Cette association d'insertion située près d'Oloron Sainte-Marie a produit de 2009 à 2018 des premières générations de semences locales bénéficiant de la marque Pyrégraine de nèou. Production en agriculture biologique.

Indigraines

Ce groupe de 5 agriculteurs s'est lancé dans la production de semences de la marque « Pyrégraine de nèou » en 2015.

Lycée Adriana

Ce lycée agricole a mené des expérimentations et des productions de plusieurs plantes pyrénéennes.

N'Py

Depuis 2009, les stations de ski pyrénéennes réunies sous cette identité (Peyragudes, Piau-Engaly, le Tourmalet, Luz-Ardiden, Cauterets, Gourette, la Pierre-Saint-Martin) privilégient l'utilisation de semences d'origine locale. Elles intègrent de plus en plus de mesures de restauration écologique dans la gestion de leur chantiers.

La station de ski de Peyragudes a beaucoup contribué au développement de la démarche. Elle a notamment récolté des semences à la brosseuse dans différents secteurs et revégétalisé divers sites avec des semences locales.

Parc naturel régional des Pyrénées catalanes

Il fait émerger une filière de production de semences locales spécifique à la partie orientale du massif pyrénéen.

Stations de ski de Saint-Lary, de Superbagnères, d'Ax 3 Domaines, de Font-Romeu-Pyrénées 2000, des Angles et de Soldeu et Tarter en Andorre.

Ces structures ont expérimenté des mélanges de semences d'origine locale en revégétalisation et souhaitent continuer à en utiliser.

Crédits et remerciements

Ce guide est une nouvelle édition revue et augmentée du guide « *Comment reconstituer la flore en montagne pyrénéenne ? Un guide technique de restauration écologique* » (Dupin B., Malaval S., Couëron G., Cambecèdes J. et Largier G., 2014) publié par le Conservatoire, avec le soutien de l'Union européenne (FEDER programme opérationnel interrégional Pyrénées) de l'État (FNADT Massif des Pyrénées) et des anciennes régions Aquitaine, Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon.

Nouvelle édition

La nouvelle édition a largement bénéficié des travaux de restauration écologique menés par les gestionnaires d'espace, en particulier les domaines skiables, des appuis et suivis réalisés par le Conservatoire et les chercheurs partenaires, des multiplications et des récoltes de semences mises en œuvre par les différents acteurs de la démarche Ecovars. Elle a également bénéficié des résultats du programme SOS PRADERAS co-financé par l'Union européenne (INTERREG SUDOE) et l'État (FNADT Massif des Pyrénées).

Rédaction et coordination : Brice Dupin, avec la participation de Sandra Malaval, **relecture :** Jocelyne Cambecèdes, Gérard Largier et Gilles Corriol, François Prud'homme et Christophe Bergès pour les fiches espèces, **gestion administrative et financière :** Gérard Largier et Karine Borgella, **participation aux suivis de végétation :** Bruno Durand et Catherine Brau-Nogué, **appuis en cartographie :** Anne-Sophie Rudi-Dencausse, **tests de germination :** Véronique Ausset.

Référence à citer : Dupin B. (coord.), Malaval S., Couëron G., Cambecèdes J. et Largier G., 2019. *Restauration écologique de prairies et de pelouses pyrénéennes. Un guide technique pour régénérer les sols et les végéta-*

tions dégradés en montagne. Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées, 153 p.

Remerciements

Le Conservatoire botanique remercie toutes les personnes qui ont contribué à la production de ce document :

- Georges Dantin du bureau d'études Amidev, inspirateur initial de la démarche Ecovars, pour sa mobilisation continue dans cette approche et son impulsion auprès des domaines skiables ;
- l'équipe de la SEMA de Peyragudes, Serge Fouran, Yannick Lorillard et Rémi Michel, pour leurs interventions décisives dans la diffusion de ces pratiques sur le massif ;
- les élus et les équipes du Conseil départemental des Pyrénées-Atlantiques pour leurs contributions régulières à la structuration d'une filière de semences d'origine locale ;
- Daniel Barneix et Laurie Fogel de l'Association Estivade et Cécile Bezombes, agricultrice en Cerdagne, pour toutes les expérimentations de production de semences mises en œuvre ;
- Nathalie Fromin (CEFE-CNRS), Laure Lebraud (Parc naturel régional des Pyrénées catalanes), Pierre-Alexis Nizan (en fin d'études d'ingénieur) et Stéphanie Huc (Conservatoire botanique national alpin) pour leur précieuse implication dans la mise en œuvre des protocoles visant à comparer les performances environnementales des semences locales par rapport aux semences exogènes ;
- Gilles Couëron (chargé de communication du Conservatoire botanique lors de la 1^{ère} édition) et Laure Menanteau (graphiste) pour la pertinence des supports de communication conçus pour la démarche ;
- Lila Righetti pour la traduction de la version espagnole du guide.

Financement

Ce guide est publié dans le cadre du projet OPCC-2 porté par l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique (OPCC) de la Communauté de Travail des Pyrénées (CTP), co-financé par les fonds FEDER (INTERREG POCTEFA) de l'Union Européenne, l'État français (FNADT Massif de Pyrénées) et la Région Occitanie.

De 2003 à 2018, le programme Ecovars, porté par le CBN des Pyrénées et de Midi-Pyrénées, a été co-financé par l'Union européenne, l'État (FNADT Massif des Pyrénées), la Région Nouvelle-Aquitaine, la Région Occitanie et le Département des Pyrénées Atlantiques.



Ce guide a été imprimé pour la version française en 1000 exemplaires
(ISBN 978-2-9571282-0-4, mise en ligne au format .pdf sous le numéro ISBN 978-2-9571282-1-1)
et pour la version espagnole en 500 exemplaires
(ISBN 978-2-9571282-2-8, mis en ligne au format .pdf sous le numéro ISBN 978-2-9571282-3-5).

Dépôt légal, décembre 2019
Imprimerie Péré – 65200 Bagnères-de-Bigorre (France)

écovars



Interreg
POCTEFA



RÉGION
Nouvelle-Aquitaine



ISBN 978-2-9571282-1-1



9 782957 128211