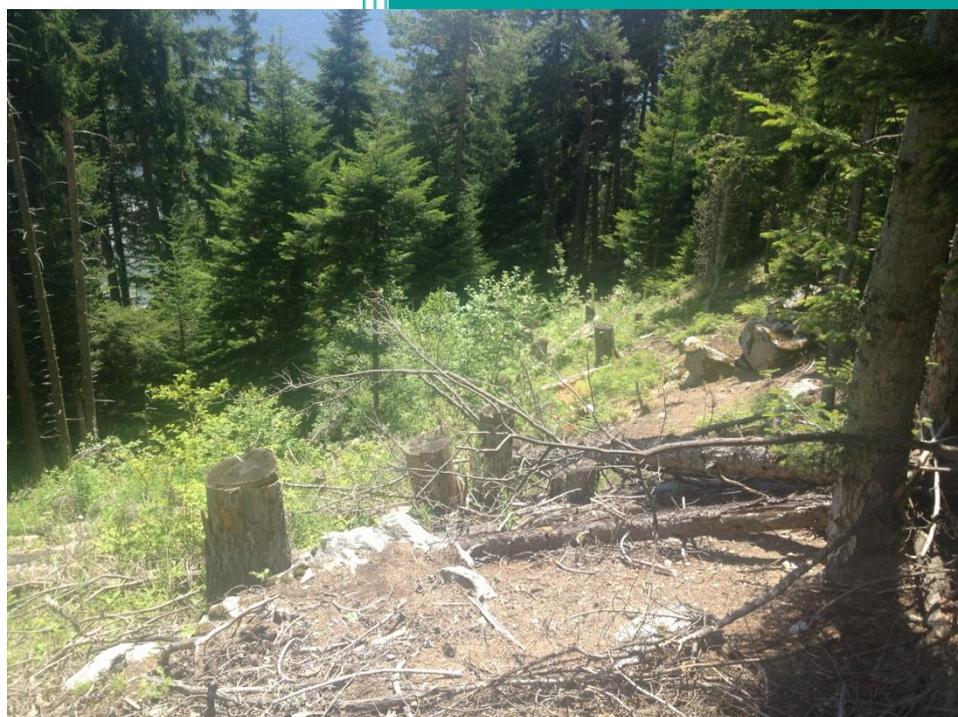


# État des lieux de l'utilisation du bois mort au sol



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES  
DOMINANTE GESTION FORESTIÈRE

## GARET Élie

Service des forêts, des cours d'eau et  
du paysage, canton du Valais, Suisse

Du 06 mars au 06 septembre 2017

Maître de stage : Roland MÉTRAL

Enseignant responsable : Éric  
LACOMBE

Photos de couverture (de gauche à droite et de haut en bas) :

GARET Élie – Bregneux – 2017

GARET Élie – Chibo – 2017

METRAL Roland – Bagnes – 2009

GARET Élie – Evionnaz – 2017

GARET Élie – Bruson – 2017

METRAL Roland – Ovronnaz – 2007

AGROPARISTECH  
Institut des Sciences et Industries  
du Vivant et de l'Environnement

Département de la mobilité, du territoire et de  
l'environnement  
Service des forêts, des cours d'eau et du  
Paysage  
Canton du Valais

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES  
DOMINANTE GESTION FORESTIÈRE

# État des lieux de l'utilisation du bois mort au sol

**GARET Élie**

Stage effectué du 06 mars 2017 au 06 septembre 2017  
Au Service des forêts, des cours d'eau et du paysage de l'arrondissement du Bas-Valais  
Canton du Valais, SUISSE

Maître de stage : Roland MÉTRAL  
Enseignant responsable : Éric LACOMBE



# Résumé

---

Les forêts de protection représentent, aujourd'hui, 87 % des forêts valaisannes. Leur gestion est en constante évolution de par la recherche et sa mise en œuvre pratique sur le terrain. L'utilisation du bois mort au sol se développe de plus en plus pour les nombreux effets reconnus qu'elle apporte : protection contre les risques naturels, facilitation du rajeunissement et augmentation de la biodiversité. Néanmoins les modalités d'utilisation en progression constante ne sont pas toujours aisément disponibles pour les acteurs du terrain qui mettent en place le bois au sol. Parallèlement, cette nouvelle pratique pose de nombreuses questions quant à son application par rapport aux remarques du public et de la filière bois. Les apports de la bibliographie internationale permettent alors de préciser les intérêts du bois au sol et les moyens à mettre en œuvre pour les atteindre. Ces connaissances, synthétisées et adaptées au contexte du Valais, sont alors mises à disposition des acteurs forestiers sous forme d'une fiche didactique afin de leur fournir les outils nécessaires pour optimiser l'utilisation du bois au sol selon les risques et enjeux considérés. Par ailleurs, la communication au public, mais aussi au sein des professionnels de la forêt, semble fragile. Il est donc proposé de faire le point sur l'existant et de se concentrer sur la communication circulaire entre le canton, les triages, les bourgeoisies et la population. Finalement, par rapport à l'évolution du bois au sol dans le temps et sa protection attendue, il est important de mettre en place un suivi et un entretien, avec une fréquence de 10 à 15 ans pour assurer les effets escomptés. Le bois au sol, dont les effets sont multiples, participe directement à la multifonctionnalité forestière, si importante pour la société actuelle, sans en paralyser la fonction de production.

# Abstract

---

Nowadays protection forests represent 87 % of Valaisan forests. Their management is evolving permanently through research and its application on the field. The use of dead wood on the ground is increasing due to the numerous positive effects it occurs: protection, regeneration facilitation and biodiversity extension. Nevertheless, the latest methods regarding the use of dead wood are not always available for the field agents who implement them. In the meantime, this new approach raises questions about its implementation in regards to public opinion and to the wood sector. International bibliography helps to clarify the purposes of dead wood on the ground and defines the tools to apply in order to reach them. This knowledge, summarized and adapted to the Valais' environment, is provided to the forest professionals in the form of a didactic sheet. This aims to supply them with tools optimizing the use of dead wood on the ground according to the hazards and challenges at stake. Otherwise, communication to public, but also to the forest professionals, seems to be precarious. Therefore it is suggested to take stock of the existing items and to focus on the flat communication between the canton, the local forest companies, the bourgeoisies and the population. Finally, in regards to the evolution over time of the dead wood on the ground and its aimed protection, it is really important to develop monitoring and maintenance, with a time lapse of 10 to 15 years in order to guarantee the expected effects. In conclusion, the wood on the ground, whose effects are numerous, contributes directly to forest multifunctionality, which is essential in current society, yet without preventing the production function.



## Engagement de non plagiat

### 1. Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux :
  - Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive.
  - Recopier quasi intégralement un texte ou partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

### 2. Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages in extenso, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sûr d'en citer la source.

3. **Sanction** : En cas de manquement à ces consignes, la DEVE/le correcteur se réservent le droit d'exiger la réécriture du document sans préjuger d'éventuelles sanctions disciplinaires.

### 4. Engagement :

Je soussigné (e) \_GARET Élie\_\_\_\_\_

Reconnait avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non plagiat

À AMPLEPUIS, le 10/10/2017 \_\_\_\_\_

Signature :



# Remerciements

---

Ce stage a répondu à une attente de longue date puisque la forêt de montagne me passionne et que je souhaitais pouvoir me spécialiser dans ce domaine. Or c'est chose faite aujourd'hui grâce à de nombreuses personnes qui se sont impliquées pour la réussite de ce projet.

En tout premier lieu je souhaite remercier vivement mes professeurs de la Formation des Ingénieurs Forestiers (AgroParisTech centre de Nancy, ex-ENGREF), sans qui je n'écrirais pas ces lignes aujourd'hui. Et tout particulièrement Éric LACOMBE, avec qui nous sommes venus découvrir la gestion des forêts de montagnes en Valais, à la rencontre de Roland MÉTRAL (qui d'ailleurs était absent lors de notre venue en 2015 pour des obligations professionnelles lointaines). C'est par ce biais là que j'ai pu prendre contact pour ce travail de stage. Merci encore à l'ensemble de l'équipe de l'école qui nous permet de gonfler notre carnet d'adresses à travers de multiples rencontres toutes plus intéressantes les unes que les autres.

Je tiens donc à gratifier Roland MÉTRAL, mon maître de stage, pour la proposition d'un sujet très intéressant et transversal par rapport aux problématiques rencontrées dans la gestion des forêts de montagne. Tout au long du stage j'ai pu profiter de son immense expérience dans ce domaine en multipliant les contacts et rencontres, et développant mes propres compétences. J'aurais ainsi bénéficié du dernier créneau de stagiaire dans sa carrière, aux côtés de Rocio ANDRES-MIJANCOS, et je ne peux qu'en être satisfait vu la qualité et la quantité des connaissances emmagasinées.

Le travail de stage requiert aussi la présence d'un professeur référent, qui pour ma part a été Éric LACOMBE, fort d'un accompagnement personnalisé très généreux. Je tiens à le remercier pour sa disponibilité et les déplacements jusqu'à Martigny, qui ont toujours apporté leurs lots de remises en question, si importantes pour la bonne avancée du stage.

Je me tourne maintenant vers l'ensemble de l'équipe du Service des forêts et du paysage (récemment renommé Service des forêts, des cours d'eau et du paysage, pour le bonheur du plus grand nombre) qui a su m'accueillir chaleureusement et créer une ambiance de travail agréable. Merci tout particulièrement à l'équipe de l'arrondissement du Bas-Valais (Elisabeth GOUMAND, James MEDICO, Jean-Marie PUTALLAZ et Yann TRIPONEZ) pour les échanges divers et variés qui m'ont permis de découvrir, au-delà du monde forestier, les valeurs du canton du Valais. Je peux notamment évoquer les démarches administratives pour lesquelles Elisabeth m'a bien aidé.

Le travail de terrain c'est bien, mais à deux c'est toujours mieux. Alors un grand merci à Rocio pour m'avoir accompagné et aidé dans mon travail de stage.

Plus largement, je tiens à remercier l'ensemble des gardes forestier du Valais et particulièrement ceux du Bas-Valais, pour leur accueil au sein de chacun des triages lors de l'enquête. Les échanges m'ont tous apporté beaucoup d'expériences.

Mon stage m'a aussi porté au-delà de la Suisse, et je souhaite remercier Corrado LETEY pour la journée consacrée dans le Val d'Aoste, Frédéric BERGER de l'IRSTEA pour son appui au lancement de mon stage ainsi qu'Olivier FAYARD et Frédéric PONSART de l'ONF pour la visite du chantier de Montenvers, au-dessus de Chamonix.

Finalement ce sont maintes personnes qui ont apporté leurs pierres pour aboutir à la réussite de ce stage. Je n'oublie pas ma famille, mes amis, mes camarades de promotion, mes colocataires, et toutes les personnes qui ont, de près ou de loin, participé à la réussite de mon stage et de mes études forestières.

## Table des matières

|   |    |
|---|----|
| Remerciements .....   | 1  |
| Table des matières .....  | 2  |
| Index des illustrations.....  | 5  |
| Index des tableaux .....  | 5  |
| Index alphabétique des sigles .....   | 6  |
| Introduction .....  | 7  |
| I. Contexte et présentation de l'étude .....  | 8  |
| I.1. Les forêts de protection en Valais .....   | 8  |
| I.1.a. Les caractéristiques des forêts du Valais .....  | 8  |
| I.1.b. La gestion forestière en Valais .....  | 9  |
| I.1.c. L'entretien des forêts de protection en Valais .....                                       | 10 |
| I.1.d. La gestion des forêts protectrices dans l'arc alpin .....                                  | 11 |
| I.1.e. L'effet protecteur des forêts vis-à-vis des risques naturels .....                         | 11 |
| I.2. L'utilisation du bois au sol et définition du sujet .....                                    | 13 |
| I.2.a. Le développement de la pratique.....   | 13 |
| I.2.b. ...entraînant une rupture avec les méthodes traditionnelles.....                           | 14 |
| I.2.c. ...avec les questions qui en émergent.....   | 14 |
| I.3. L'appropriation du sujet de stage .....  | 15 |
| I.3.a. Les questions directrices de l'étude.....  | 15 |
| I.3.b. La démarche adoptée.....   | 15 |
| II. État des lieux d'une pratique en évolution.....   | 17 |
| II.1. Les motivations de l'utilisation du bois au sol dans la bibliographie .....                 | 17 |
| II.1.a. Le bois mort source de vie .....  | 17 |
| II.1.b. Le rajeunissement des forêts de montagne sur le bois mort.....                            | 18 |
| II.1.c. Le bois mort au sol comme protection contre les risques naturels.....                     | 19 |
| II.1.d. La viabilité du bois mort au sol : vitesse de décomposition .....                         | 24 |
| II.1.e. Le bois mort constituant naturel des forêts non gérées et sa protection consécutive ..... | 26 |
| II.1.f. Bilan de la bibliographie.....  | 27 |
| II.2. L'apport de la pratique sur le terrain.....   | 27 |
| II.2.a. Élaboration des guides d'entretien pour les différents acteurs.....                       | 27 |
| II.2.b. Déroulement de l'enquête .....  | 28 |
| II.2.c. Résultats de l'enquête .....  | 29 |
| II.3. Bilan des données disponibles et questions à approfondir.....                               | 33 |
| III. L'analyse d'efficacité sur le terrain de l'utilisation du bois au sol.....                   | 33 |
| III.1. La démarche suivie pour le travail de terrain .....  | 33 |
| III.1.a. Présentation du protocole établi pour l'étude .....                                      | 34 |
| III.1.b. Le recueil des chantiers intéressants.....   | 35 |

|   |    |
|---|----|
| III.2. Analyse et résultats des relevés effectués sur les chantiers du Bas-Valais.....                                      | 35 |
| III.2.a. La précision du calcul des volumes des souches .....   | 37 |
| III.2.b. L'installation significative du rajeunissement sur le bois mort .....  | 40 |
| III.2.c. La décomposition du bois mort et son efficacité pour la protection.....  | 42 |
| III.3. Bilan des résultats obtenus à l'issu des relevés d'efficacité sur le terrain .....                                   | 47 |
| IV/ Perspectives d'évolution de l'utilisation du bois sur place .....   | 49 |
| IV.1. Propositions de mise à jour des modalités d'utilisation du bois au sol .....  | 49 |
| IV.1.a. Une gestion du bois au sol en plein pour avancer ses effets.....  | 49 |
| IV.1.b. Des modalités d'utilisation du bois mort adaptées aux connaissances actuelles.....                                  | 49 |
| IV.1.c. Les indicateurs de quantité de bois mort adaptés aux effets escomptés .....   | 50 |
| IV.2. La durabilité du bois au sol : cadre du suivi, de l'entretien et de la responsabilité .....                           | 52 |
| IV.3. Adaptation du formulaire 2 NaiS pour la nécessité d'utilisation de bois au sol.....                                   | 53 |
| IV.4. La communication nécessaire pour l'acceptation du bois au sol.....  | 53 |
| IV.5. La communication circulaire au sein du monde forestier .....  | 54 |
| V/ Limites et discussions.....  | 55 |
| V.1. Limites du travail.....  | 55 |
| V.1.a. La difficulté d'étudier l'évolution du bois au sol sur le terrain.....   | 55 |
| V.1.b. La diversité du périmètre de l'enquête .....   | 55 |
| V.1.c. Le suivi des chantiers et la croissance des peuplements .....  | 56 |
| V.1.d. Le bois mort au sol et bois mort sur pied.....   | 56 |
| V.1.e. L'utilisation du bois mort au sol dans le peuplement .....   | 57 |
| V.2. L'adaptation au changement climatique et au risque d'incendies croissant .....   | 57 |
| V.4. L'économie et la filière bois peu portantes, causes de l'abandon de bois en forêt.....                                 | 57 |
| Conclusion.....   | 59 |
| Références bibliographiques .....   | 61 |
| Liste des contacts.....   | 65 |
| Lexique .....   | 66 |
| Annexes .....   | 67 |
| Table des annexes répétée .....   | 67 |
| Annexe 1 : Tableau des préconisations en termes d'utilisation du bois au sol pour la protection selon la bibliographie..... | 68 |
| Annexe 2 : Guides d'entretien pour l'enquête auprès des gardes .....  | 69 |
| Annexe 3 : Guide d'entretien pour l'enquête auprès des forestiers-bûcherons.....  | 72 |
| Annexe 4 : Guide d'entretien pour l'enquête auprès des politiques .....   | 74 |
| Annexe 5 : Classes de décomposition des arbres au sol et des souches.....   | 76 |
| Annexe 6 : Protocole retenu pour l'acquisition des données d'intérêt sur le terrain.....                                    | 77 |
| Annexe 7 : Tableau utilisé sous format informatique pour les relevés .....  | 80 |
| Annexe 8 : Tableau des variables inventoriées avec leurs significations et unités .....                                     | 84 |
| Annexe 9 : Tableau récapitulatif des relevés .....  | 88 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Annexe 10 | : Matrice des corrélations, variables étudiées pour le rajeunissement et la décomposition.                             | 89 |
| Annexe 11 | : Graphique de l'analyse en composantes principales des variables étudiées .....                                       | 90 |
| Annexe 12 | : Résultats des tests de Student pour l'âge du bois mort support de rajeunissement viable                              | 91 |
| Annexe 13 | : Statistiques du modèle liant l'âge des semis à l'âge du bois mort support.....                                       | 92 |
| Annexe 14 | : Résultats des tests de Student pour l'âge du bois mort selon les classes de décomposition.....                       | 93 |
| Annexe 15 | : Résultats des tests de variance et modèles de décomposition des souches et arbres au sol selon leurs dimensions..... | 94 |
| Annexe 16 | : Tableau récapitulatifs des préconisations d'utilisation du bois mort au sol selon les contextes.....                 | 96 |
| Annexe 17 | : Formulaire 2 NaiS, modifié.....  | 97 |
| Annexe 18 | : Recueil des documents à disposition des gardes pour déterminer le besoin en bois au sol                              | 98 |
| Annexe 19 | : Fiche de synthèse des outils de communications au sujet du bois mort au sol.....                                     | 99 |

## Index des illustrations

|   |    |
|---|----|
| Figure 1 : Situation du Valais en Suisse. Source : musee-des-bisses.ch .....  | 8  |
| Figure 2 : Les triages forestiers du Valais. Source : Service des forêts, des cours d'eau et du paysage .....                                     | 9  |
| Figure 3 : Courbe montrant l'intérêt de laisser du bois au sol lors d'une coupe pour maintenir la protection.<br>Source : Bigot et al. 2013. .... | 14 |
| Figure 4 : Schéma global de la démarche de l'étude.....   | 16 |
| Figure 5 : Distribution de la biomasse et des nutriments au sein d'un arbre.....  | 17 |
| Figure 6 : Disposition du bois au sol pour la protection contre les chutes de pierres. Source : IRSTEA - 2014<br>.....                            | 20 |
| Figure 7 : Disposition des arbres au sol par rapport à la pente. Source : IRSTEA - 2014 .....   | 21 |
| Figure 8 : Carte des relevés effectués .....  | 36 |
| Figure 9 : Caractéristiques du bois mort inventorié.....  | 37 |
| Figure 10 : Répartition des souches utilisées pour les volumes .....  | 37 |
| Figure 11 : Calcul du volume des souches à partir des données récoltées lors du martelage.....  | 38 |
| Figure 12 : Calcul du volume des souches apparentées à des cônes tronqués.....  | 38 |
| Figure 13 : Graphique des volumes des souches en fonction des diamètres .....   | 39 |
| Figure 14 : Graphique de relation entre les deux volumes calculés des souches .....   | 39 |
| Figure 15 : Graphique de l'ACP sur les variables explicatives (Épicéa et Sapin, souches et arbres au sol.....                                     | 40 |
| Figure 16 : Graphiques de comparaison des âges des pièces de bois mort supports de semis d'avenir ou non  | 41 |
| Figure 17 : Graphique représentant l'âge des semis en fonction de l'âge du bois mort support .....  | 42 |
| Figure 18 : Graphique de comparaison des âges moyens selon les classes de décomposition.....  | 43 |
| Figure 19 : Graphique d'évolution de la décomposition en fonction de l'âge.....   | 44 |
| Figure 20 : Graphique représentant la vitesse de décomposition selon le contact au sol des arbres au sol.....                                     | 44 |
| Figure 21 : Graphique de la répartition des classes de décomposition selon le contact au sol et l'âge des arbres<br>au sol.....                   | 45 |
| Figure 22 : Graphique de la décomposition des souches en fonction de leurs dimensions .....   | 46 |
| Figure 23 : Graphique de la décomposition des arbres au sol en fonction de leurs dimensions .....   | 46 |
| Figure 24 : Graphique représentant l'influence de la hauteur des souches sur leur décomposition.....  | 46 |
| Figure 25 : Photo du rajeunissement à l'aval du bois mort. Source personnelle, Bruson – 2017 .....  | 47 |
| Figure 26 : Photo d'un arbre au sol au sol, véritable pépinière. Source personnelle, Ritzingen – 2017 .....                                       | 48 |
| Figure 27 : Photo d'un bloc arrêté par une souche. Source personnelle, Évionnaz – 2017 .....  | 48 |
| Figure 28 : Tableau récapitulatif des préconisations d'usage du bois mort au sol.....   | 51 |
| Figure 29 : Poster illustrant les intérêts du bois au sol .....   | 54 |
| Figure 30 : Logo du Certificat d'origine bois Suisse .....  | 58 |
| Figure 31 : Photo de deux rosales des Alpes observées sur une souche lors d'un relevé. Source personnelle :<br>Évionnaz (2017) .....              | 60 |

## Index des tableaux

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1 : Tableau récapitulatif des effets protecteurs du bois au sol .....            | 23 |
| Tableau 2 : Recueil de taux de décomposition de la littérature .....                     | 25 |
| Tableau 3 : Statistiques de la différence entre le volume $V_1$ et le volume $V_4$ ..... | 39 |

## Index alphabétique des sigles

BVs : Bas-Valais

CEMAGREF : ex-nom de l'IRSTEA (voir ci-dessous)

DMTE : Département de la mobilité, du territoire et de l'environnement

EFFOR2 : Projet d'élaboration d'un nouvel instrument de subventionnement dans le domaine forestier

IRSTEA : Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture

NaiS : Classeur de gestion durable des forêts de protection

OFEV : Office fédéral de l'environnement

ONF : Office national des forêts

RPT : Réforme de la péréquation financière et de la répartition des tâches

RTM : Restauration des terrains en montagne

SFCEP : Service des forêts, des cours d'eau et du paysage

WSL : Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage

# Introduction

---

La forêt, dont la croissance est lente, semble immuable et recouvre aujourd'hui près du quart du territoire valaisan en en composant le paysage emblématique. Jusqu'alors essentielle à la vie, elle occupe aujourd'hui une place irremplaçable, assurant de multiples fonctions : milieu naturel, lieu de loisirs, source d'une ressource durable, élément du paysage et protection efficace des populations dans un contexte montagnard marqué.

La reconnaissance de la fonction de protection des forêts de montagne en Suisse ne peut se faire sans prise en compte du bois au sol aujourd'hui. Les coupes nécessaires pour l'entretien et le renouvellement des peuplements entraînent une baisse de protection notable pour les populations. C'est pourquoi il est aujourd'hui question de laisser, sur les surfaces ouvertes lors des coupes, tout ou partie du bois abattu. Ce bois laissé au sol a de nombreux atouts puisqu'il permet d'assurer un effet protecteur en augmentant la rugosité du sol, de faciliter l'installation du rajeunissement\*<sup>1</sup> en créant des supports favorables à la germination des graines et de fournir une ressource indispensable à 20 % de la biodiversité forestière. La prise en compte de ces fonctions justifie alors le terme d'« utilisation » du bois au sol.

Néanmoins cette pratique, tout à fait récente à l'échelle de l'histoire de la sylviculture, évolue rapidement et pose de nombreuses questions. En effet, il est évident qu'elle représente un changement radical après la période d'utilisation intensive de la ressource bois pour la construction, l'emballage et le chauffage. L'utilisation active et en plein développement depuis 2008 en Suisse nécessite donc un bilan, afin de répondre aux interrogations des professionnels et du public et de poursuivre ainsi l'évolution de la pratique. Le travail de stage vise alors à répondre aux questions suivantes : quels sont les points forts et les points faibles de l'utilisation du bois mort au sol ? Et quelles sont les pistes d'amélioration de la pratique ? Le travail se concentre sur le canton du Valais, dont la situation au cœur des Alpes, justifie une utilisation indispensable du bois au sol pour les forêts de protection.

Il s'agit dans un premier temps de cerner le contexte de la pratique dans son environnement. Ensuite, la bibliographie ainsi que les rencontres des acteurs de la gestion forestière permettront de mettre en évidence les thématiques à approfondir. Celles-ci seront alors étudiées grâce à l'analyse de chantiers réalisés dans le Valais avec du bois utilisé au sol et grâce à la bibliographie existante. Ce qui aboutira finalement aux propositions d'amélioration de la pratique.

---

<sup>1</sup> Les termes suivis d'un astérisque sont définis dans le lexique en fin de document

## I. Contexte et présentation de l'étude

### I.1. Les forêts de protection en Valais

Afin de situer l'étude dans son contexte, il est important de noter que la Suisse est un état fédéral et que le Valais en est un canton. La Confédération Helvétique compte 26 cantons de tailles variables répartis en trois zones géographiques distinctes : les Alpes (60 % du territoire), le Plateau (30 %) et le Jura (10 %). La forêt recouvre 31,3 % du territoire.



Figure 1 : Situation du Valais en Suisse. Source : [musee-des-bisses.ch](http://musee-des-bisses.ch)

Le Valais est le troisième plus grand canton avec une superficie de 522 442 hectares, s'étendant du Lac Léman jusqu'à la source du Rhône (Figure 1) et est couvert à 24 % de forêt. Le territoire étant essentiellement montagnard et centré sur le Rhône, 87 % des forêts valaisannes (soit 106 500 hectares) sont considérées protectrices. Environ 20 000 propriétaires se répartissent les surfaces forestières, mais la plupart sont publiques puisque 85 % des forêts appartiennent aux bourgeoisies (communes historiques qui ont gardé une place particulière en Valais). Les propriétés privées ne représentent que 9 % du total (très peu comparativement à d'autres cantons). C'est à l'échelle des bourgeoisies que s'organise la gestion des forêts valaisannes.

Parallèlement, le canton (aussi appelé État), dont l'organisation est centralisée à Sion, possède des services décentralisés au sein des trois arrondissements, de l'est à l'ouest (en descendant le Rhône) : le Haut-Valais, le Valais Central et le Bas-Valais. Le Service des forêts, des cours d'eau et du paysage (SFCEP) dépend du Département de la mobilité, du territoire et de l'environnement (DMTE). Le service des forêts (SFCEP) est lui-même découpé en sections, dont celle des forêts (regroupant leur gestion et leur conservation). C'est au sein de celle-ci que les ingénieurs forestiers d'arrondissement travaillent pour coordonner les actions liées à la forêt pour leurs secteurs respectifs.

#### I.1.a. Les caractéristiques des forêts du Valais

Au niveau du climat, le canton du Valais est particulièrement influencé. En effet, il se situe à la limite entre le climat océanique par le nord (le lac Léman) et l'ouest (le massif du Chablais) et le climat continental qui s'étend à partir du coude du Rhône jusqu'à l'est du canton. Les influences de ces deux climats créent des conditions de températures et précipitations très variables. Il s'agit de retenir que le massif du Chablais, qui est spécialement arrosé, reçoit plus de 1 500 mm de précipitations par an ; alors que la vallée du Rhône et donc les forêts des bas coteaux, proches de Fully, reçoit moins de 800 mm par an. De la même manière ces zones géographiques ont environ 10 à 15 degrés Celsius de différence en température moyenne annuelle (respectivement proches de 0 °C et 12 °C, carte de MétéoSwiss de la moyenne des températures annuelles entre 1981 et 2010).

Les influences des deux climats sont accentuées par le relief marqué des Alpes du Nord, avec un gradient altitudinal allant de 500 mètres à plus de 2 000 mètres pour la limite maximale de la forêt (appelée zone de combat). C'est pourquoi le Valais présente une richesse floristique importante et spécifique dont l'adonis de printemps (*Adonis vernalis* L.) est une fidèle et reconnue représentante, installée très localement sur les coteaux de Charrat. Et les forêts ne sont pas en reste puisque les essences forestières sont nombreuses. Les feuillus divers (hêtre (*Fagus sylvatica* L.), érables, frêne, chênes sessile et pubescent (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. et *Quercus pubescens* Wild.), sorbier des oiseleurs (*Sorbus aucuparia* L.), châtaignier (*Castanea sativa* Mill.)...), parfois mélangés au pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.), composent les associations forestières des hêtraies océaniques chablaisiennes aux chênaies et pinèdes continentales de la plaine et des coteaux du Rhône (jusqu'à 1 500 mètres). Puis les feuillus laissent progressivement place à l'épicéa (*Picea abies* (L.) H. Karst.), le sapin (*Abies alba* Mill.) et le mélèze (*Larix decidua* Mill.) lorsque l'altitude augmente (étage subalpin). Finalement c'est l'arole (ou pin cembro) (*Pinus cembra* L.) qui colonise les milieux à la limite altitudinale de la forêt (1 700 à 2 370 mètres). Les résineux représentent 77 % des arbres du Valais avec une majorité d'épicéa (39 %), puis de mélèze et de pins (État du Valais, 2014).

La diversité des stations locales, liées à l'influence de la rencontre de deux climats et aux reliefs variés, compose la mosaïque des peuplements forestiers du Valais, où l'on peut retrouver des associations toutes particulières. La gestion doit alors s'adapter à ces nombreuses spécificités.

### I.1.b. La gestion forestière en Valais

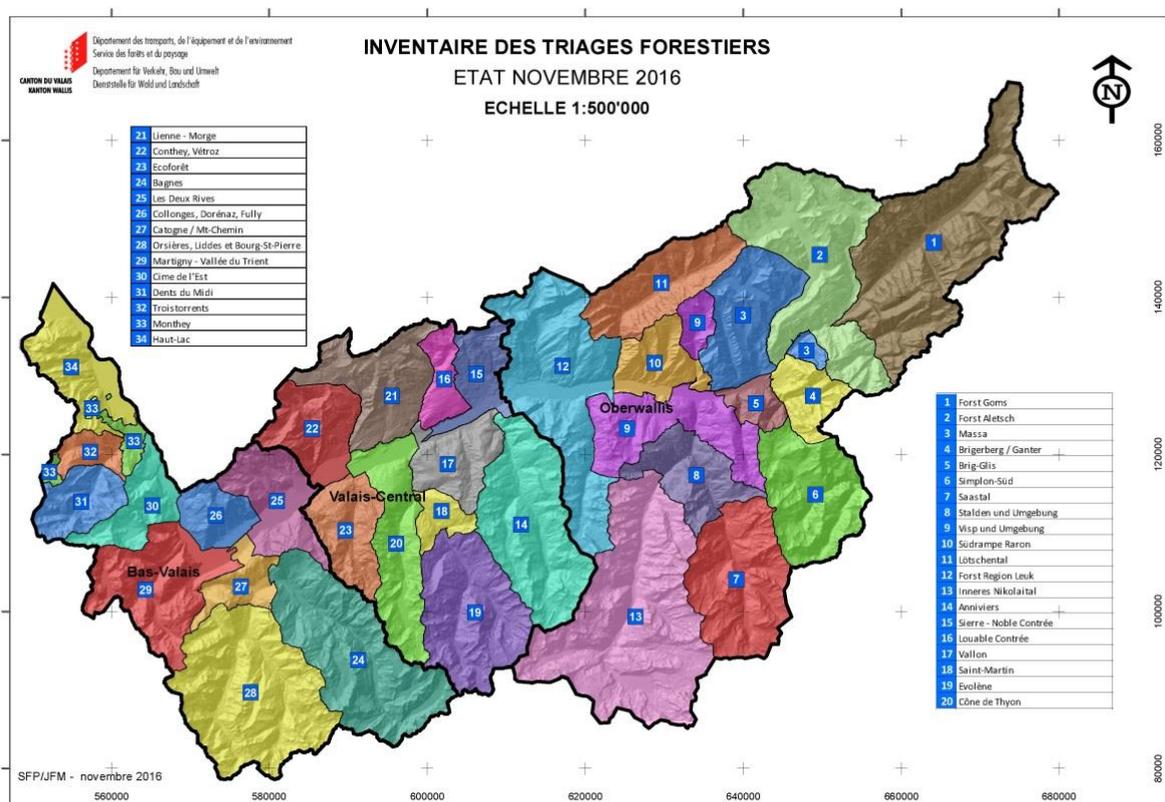


Figure 2 : Les trianges forestiers du Valais. Source : Service des forêts, des cours d'eau et du paysage

Le Valais est partagé en trois arrondissements, qui sont eux-mêmes organisés en plusieurs trianges forestiers (35 au total, Figure 2), correspondant à une ou plusieurs bourgeoisie(s). Les bourgeoisies/communes étant les principaux propriétaires forestiers, elles se sont parfois regroupées et ont créé les trianges forestiers, entreprises en charge de la gestion des forêts et de la police forestière, sur leur territoire. Ces trianges ont été dimensionnés pour permettre l'engagement d'au moins un garde forestier à temps plein. C'est donc à cette échelle que se met en place la gestion des forêts du territoire valaisan. Les

trianes sont constitués d'un ou deux garde(s) forestier(s) et d'une équipe de forestiers-bûcherons, ouvriers et apprentis selon les structures, dirigés par le conseil d'administration composé des bourgeoisies/communes du territoire.

Les gardes forestiers sont les référents en termes de gestion et conservation de la forêt à l'échelle de leurs territoires. Ils gèrent en majorité les forêts publiques, mais sont aussi amenés à intervenir en forêt privée, en passant alors par un mandat temporaire avec le propriétaire. Ces tâches de gestion quotidienne sont réalisées sous l'autorité du service des forêts (SFCEP) et les gardes travaillent par conséquent en étroite collaboration avec les ingénieurs forestiers du service.

### I.1.c. L'entretien des forêts de protection en Valais

En Suisse, dans un territoire fortement contraint par le relief alpin, la forêt est reconnue pour sa fonction de protection, comme l'indique la loi fédérale sur les forêts (1991) : « La présente loi a pour but : (...) de garantir que les forêts puissent remplir leurs fonctions, notamment leurs fonctions protectrices, (...) ». Le canton du Valais, au cœur du massif alpin, n'est pas en reste et la gestion des forêts s'est par conséquent adaptée à ce contexte, comme l'indique clairement la loi cantonale, regroupant d'ailleurs les forêts et les dangers naturels : « Si la gestion de la forêt est manifestement négligée et que ses fonctions protectrices ou celle des forêts voisines sont compromises ou perturbées, la commune municipale ou, lorsque celle-ci n'exécute pas ses obligations, le service ordonne les mesures nécessaires, aux frais du défaillant. » (Loi cantonale sur les forêts et les dangers naturels du 14 septembre 2011).

La loi obligeant une gestion adaptée des forêts de protection afin de pérenniser leur fonction, la Confédération a publié en 1996 un guide des « Soins minimaux pour les forêts à fonction protectrice » (Wasser et Frehner 1996). Cet ouvrage a par la suite été remanié et complété pour aboutir en 2005 au classeur de « Gestion durable des forêts de protection » (Frehner et al. 2005). Ce classeur, fruit de la collaboration entre la recherche et la pratique et à l'usage des praticiens, présente les recommandations sylvicoles nécessaires pour garantir la fonction protectrice minimale des forêts. Une version simplifiée et adaptée au Valais a été publiée par la suite par le Canton du Valais. Ces deux classeurs, appelés classeurs NaiS, font aujourd'hui référence en matière juridique puisqu'ils concrétisent des notions juridiques indéterminées, en particulier pour le bois à utiliser au sol.

Les recommandations de gestion étant bien définies dans les classeurs NaiS, l'office fédéral de l'environnement (OFEV) a lancé en 2013 le projet SylvaProtect-CH dans le but de délimiter de manière homogène et objective les forêts à fonction de protection sur l'ensemble du territoire suisse. C'est à partir de cette délimitation que s'organise aujourd'hui la gestion des forêts protectrices en Valais.

Parallèlement, la réforme de la péréquation financière et de la répartition des tâches (RPT) en 2008 a réorganisé la distribution des aides pour la gestion des forêts protectrices. La gestion s'organise alors par tranches de quatre ans, en délimitant un périmètre de forêts dans lesquelles intervenir pendant les quatre ans. Au sein de ces périmètres les gardes déterminent alors chaque année les surfaces à traiter, ce qu'on appelle la planification. Les gardes prennent en compte les risques naturels en présence, l'état actuel du peuplement et jugent à l'aide du classeur NaiS l'intervention opportune. Les ingénieurs sont alors là pour guider les gardes et vérifier la pertinence des propositions qui feront l'objet par la suite de subventions (fédérale et cantonale) : « La confédération alloue aux cantons, sur la base de conventions-programmes, des indemnités globales pour les mesures nécessaires afin que les forêts protectrices puissent remplir leur fonction, notamment : l'entretien (...); la garantie des infrastructures servant à l'entretien (...). », loi fédérale sur les forêts (1991).

Le contexte économique autour de la filière bois étant en décroissance actuellement et les coûts d'intervention toujours plus élevés, la gestion des forêts protectrices est déficitaire dans la grande majorité des cas. C'est pourquoi les triages gèrent aujourd'hui l'ensemble des forêts protectrices, qu'elles soient publiques ou privées, grâce aux subventions (les privés, propriétaires de petites parcelles, ne pouvant pas mettre en œuvre les interventions à leur échelle). Des mandats temporaires de gestion sont alors mis en place

pour le cas des interventions en forêts privée, ce qui n'est pas toujours simple, puisqu'il faut parfois convaincre péniblement le propriétaire du bien-fondé de l'intervention, de l'absence de revenus et même de l'intérêt de laisser du bois au sol.

#### **I.1.d. La gestion des forêts protectrices dans l'arc alpin**

Les grands principes de gestion des forêts protectrices sont similaires dans l'ensemble de l'arc alpin, puisque de nombreux travaux de coopération transfrontalière (sous le programme européen Interreg) se sont déroulés depuis 2003, avec pour objectifs de prendre en compte la forêt en tant qu'ouvrage de protection en répondant aux questions « que faire ? » et « comment faire ? ». Ces projets entre France, Italie et Suisse ont mené à la rédaction des deux guides des sylvicultures de montagnes français et italien sur la base du classeur NaiS suisse. La démarche employée est alors commune.

Il faut retenir les grands principes qui sont :

- La quantification de la fonction protectrice de la forêt et la ou les structure(s) à atteindre pour optimiser la protection.
- La prise en compte de l'évolution naturelle des peuplements selon l'état actuel et la station.
- La détermination des interventions minimales à effectuer pour maintenir la stabilité du peuplement et activer le renouvellement du peuplement.

Ces démarches communes sont néanmoins mises en place bien différemment dans les pays alpins. Je peux précisément comparer les organisations suisse et française. De par le morcellement des propriétés forestières en France et la tendance au génie civil du service de Restauration des terrains en montagne (RTM) de l'Office national des forêts (ONF), la gestion des forêts protectrices françaises est nettement moins avancée. Très peu de moyens financiers sont alloués à la gestion de ces forêts, la priorité étant plutôt l'entretien des ouvrages de génie civil. Cette tendance est par ailleurs en discussion aujourd'hui, avec le vieillissement des peuplements de protection et l'urgence croissante d'intervenir pour leur stabilité et leur renouvellement. Par ailleurs les outils de gestion concertée pour assurer un traitement homogène des peuplements au-delà des limites de propriétés ne sont pas encore bien maîtrisés.

Malgré tout, les échanges entre les pays alpins sont toujours nombreux et constructifs grâce aux travaux et expériences de chacun. L'Institut national (français) de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA) apporte des connaissances complémentaires par de nombreuses collaborations comme avec l'Institut fédéral (suisse) de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL). Cela montre bien l'échelle alpine de réflexion autour de la gestion des forêts de protection. Cette échelle peut parfois s'élargir aux autres pays européens de l'arc alpin tels que l'Autriche, la Slovénie avec quelques échanges de connaissances, et même mondialement lorsqu'il s'agit de thématique précises notamment sur les fonctions de protection contre les phénomènes naturels.

#### **I.1.e. L'effet protecteur des forêts vis-à-vis des risques naturels**

Toute cette organisation de partage des connaissances et de volonté de toujours vouloir les préciser s'explique par l'importance de la fonction protectrice des forêts en montagne. La forêt recouvre aujourd'hui de nombreuses pentes, cachant ainsi ce qui se passe en sous-bois avec son allure d'immortalité. Il n'est pas toujours facile de se rendre compte de l'importance de la protection apportée par ces arbres, puisqu'il faudrait alors s'imaginer les versants nus, sans forêt. Il paraît alors évident que sans aucun arbre les rochers détachés des falaises finiraient tous leurs trajectoires en bas de versant, là où les villages sont installés ; le manteau neigeux serait continu et les avalanches nombreuses à se déclencher des versants au-dessus des villages et les crues torrentielles seraient plus puissantes, emportant les matériaux des versants nus sur leur passage.

La forêt remplit des fonctions de protection active (éviter que le phénomène ne se produise, dès la zone source) et passive (limiter la puissance du phénomène dans sa propagation et sa stabilisation) :

- Protection active contre les avalanches: elle limite les coulées de neige en stabilisant le manteau neigeux (interception des précipitations, microclimat favorable à la fonte plus rapide et limitant la formation de croûte de regel/dégel, ancrages, protection contre le vent, ...) (Bourdin et al. 2015 ; Bebi et al. 2009, Krum 2011).
- Protection active contre les chutes de pierres : la forêt peut, dans certains cas, stabiliser les blocs par ses ancrages racinaires, mais c'est bien souvent l'inverse qui se produit : les racines fragilisent les blocs et provoquent des ruptures, ou les chablis entraînent dans leur chute les pierres tenues par les racines (Dorren et al. 2007). La protection passe alors par le prélèvement des arbres instables en zone de départ de blocs (Gauquelin et Courbaud 2006).
- Protection active contre les crues torrentielles : la forêt remplit deux fonctions complémentaires en stabilisant les versants et limitant l'érosion superficielle et donc en limitant la charge sédimentaire des crues, mais aussi en favorisant les infiltrations et en limitant les écoulements de manière à écrêter les phénomènes de crues (Rey et al. 2004 ; Gauquelin et Courbaud 2006 ; Venetier et al. 2014).
- Protection active contre les glissements de terrain : la fonction positive de la forêt vis-à-vis des glissements de terrain est souvent discutée. Il est reconnu qu'elle puisse stabiliser les glissements si ceux-là sont superficiels grâce aux racines et aux infiltrations de l'eau, sans que le poids du peuplement ne soit un élément aggravant (Rickli and Graf 2009). Par ailleurs, le peuplement peut être un facteur déstabilisant en cas de chablis\* ou volis\*. Pour finir, lorsque les glissements sont profonds, la forêt n'est plus efficace.
- Protection passive contre les avalanches : la forêt n'est pas très efficace quand il s'agit de freiner les avalanches. Celles-ci sont en général trop puissantes et détruisent intégralement la forêt. Néanmoins, certains travaux travaillent sur cette thématique, et dans le cas de petites avalanches la forêt peut agir comme un frein et ainsi limiter la propagation de la coulée (stockage de neige derrière les arbres et augmentation de la rugosité des écoulements : Teich et al. 2012a ; Feistl et al. 2014).
- Protection passive contre l'érosion superficielle et les crues torrentielles : de la même manière que vis-à-vis des avalanches, la forêt peut agir comme un frein ou une zone de stockage des matériaux, limitant ainsi la charge des phénomènes. Au-delà de la couverture forestière, les sous-étages sont tout aussi importants. Cependant la fonction de protection contre les crues torrentielles est très vite limitée aux abords directs des torrents car souvent les arbres ne résistent pas et deviennent alors des objets charriés qui peuvent augmenter les dégâts de la lave torrentielle et créer des embâcles\*. Il s'agit donc de bien stabiliser les peuplements aux abords des torrents et surtout prélever tous les éléments instables.
- Protection passive contre les chutes de pierres : c'est peut-être là l'effet le plus significatif de la forêt. Elle apporte une protection en augmentant considérablement les obstacles à la propagation des pierres (arrêt, freinage, déviation...). Les effets de la forêt ont pu être observés in vivo notamment grâce au site expérimental de l'IRSTEA à Vaujany (France) : la forêt diminue l'énergie des blocs et limite la hauteur de la trajectoire. Aujourd'hui la modélisation permet de parfaire les connaissances sur l'effet protecteur de la forêt. C'est le sujet le plus étudié par rapport à la fonction protectrice de la forêt et les références internationales sont nombreuses (Jahn J. 1988, Berger et al. 2002, Dorren et al. 2004, Dorren et al. 2007, Masuya et al. 2009).

Ainsi la forêt de protection est étudiée depuis longtemps afin de connaître précisément ses effets et par conséquent les mesures de gestion à mettre en place. Cependant ces connaissances sont constamment remises en question comme le montrent certains travaux (Bigot et al. 2009). Quoi qu'il arrive, la gestion des forêts de montagne passe quasiment toujours par la création d'ouvertures, nécessaires pour permettre l'installation du rajeunissement (par apport suffisant d'énergie lumineuse) et ainsi assurer, à terme, une structure étagée, favorable à la protection et à l'équilibre du peuplement. Néanmoins, lorsque la structure étagée est acquise, les tailles des ouvertures se réduisent et il est alors possible de parler de sylviculture par groupes d'un à plusieurs dizaines d'arbres. Les ouvertures, dans lesquelles l'ensemble des arbres sont abattus, font en moyenne de quelques ares à plusieurs dizaines d'ares et diminuent, par conséquent, localement la protection fournie par la forêt. Une des méthodes développées pour maintenir la fonction de protection, tout en favorisant la naturalité et en permettant la production de bois est l'utilisation du bois au sol, pratique motivée grâce à de multiples observations.

## I.2. L'utilisation du bois au sol et définition du sujet

Le bois au sol est une thématique en vogue actuellement, mais n'est pas si récente puisque les Autrichiens et les Suisses l'ont mise en œuvre depuis le début des années 90, comme le relate le compte-rendu des cours sur les soins aux forêts de protection à Fully en 1992 (MÉTRAL 1993). Le premier bénéficiaire du bois au sol a été l'apport pour la biodiversité et le renouvellement de la fertilité du sol, en lien avec les difficultés d'exploitation rencontrées en montagne.

### I.2.a. Le développement de la pratique...

Depuis les balbutiements de l'utilisation du bois au sol, cette pratique a beaucoup évolué et les références aujourd'hui ne manquent pas pour connaître ses intérêts, ses contextes d'utilisation mais aussi ses limites. Le bois au sol était auparavant reconnu majoritairement pour la biodiversité qu'il abrite. Mais depuis moins de 30 ans, les forestiers lui attribuent bien d'autres fonctions : protection contre les risques naturels, facilitation du rajeunissement... C'est pourquoi le terme d'« utilisation » du bois au sol est né. Sa fonction de protection, essentielle lors des coupes en forêts de montagne, est le principal moteur de son développement. En effet, les guides de sylvicultures de montagne de Suisse, France et Italie recommandent tous d'utiliser du bois au sol, en particulier lors des interventions et sur les surfaces exploitées. C'est notamment dans ce cadre que la pratique s'est développée en Suisse et dans le canton du Valais.

Les interventions sylvicoles réalisées en forêt protectrice sont toutes sujettes aujourd'hui à la question du bois au sol. Le classeur NaiS propose une clé didactique qui permet de répondre à la question : « est-ce qu'il faut laisser du bois au sol ? Et en quelle quantité ? ». Néanmoins, un minimum doit toujours être laissé sur place : « En général, seule une partie du bois exploité doit impérativement rester sur place ou être évacuée. » (Frehner et al. 2005, annexe 7 : Utilisation du bois sur place en forêt).

Les gardes forestiers ont reçu des cours pour développer la problématique du bois au sol. Les principaux intérêts énoncés sont les suivants :

- Garantir la fertilité des sols sur le long terme en augmentant le retour de la matière organique dans l'écosystème,
- Augmenter la biodiversité en apportant un habitat nécessaire à de nombreuses espèces végétales et animales,
- Faciliter l'installation du rajeunissement en créant des lits de germination à l'abri de la concurrence herbacée,
- Améliorer la fonction de protection des forêts en fortifiant la rugosité du sol,
- Maintenir la fonction protectrice du peuplement dans les ouvertures\* créées pour le rajeunissement (sur le principe de la Figure 3).

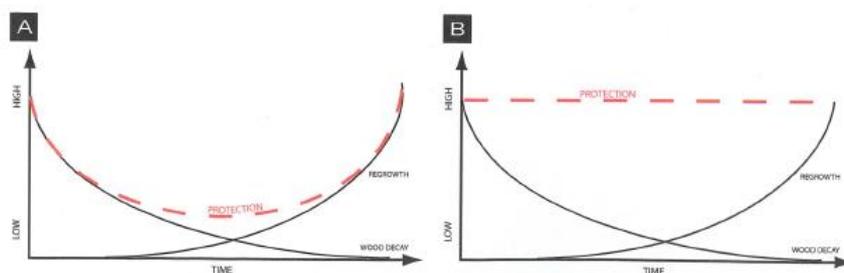


Fig. 6: Modèle théorique de la protection offerte par les forêts dans le temps contre les chutes de blocs suite à une coupe forestière. (A) sans rémanent, (B) avec rémanents comme ouvrages de protection.

Figure 3 : Courbe montrant l'intérêt de laisser du bois au sol lors d'une coupe pour maintenir la protection.  
Source : Bigot et al. 2013.

De plus, vient s'ajouter aujourd'hui le contexte économique de la filière bois qui, de par la concurrence mondiale, voit les prix de vente des bois baisser. Par conséquent ils ne suffisent plus à couvrir les frais d'exploitation en montagne. Ce contexte particulier encourage alors d'autant plus à laisser le bois sur place lors des interventions, et parfois en totalité.

### I.2.b. ...entraînant une rupture avec les méthodes traditionnelles...

La Valais a un patrimoine qui a une place importante dans la société (la survie des bourgeoisies en est un signe), dont les forêts font partie. Elles ont depuis toujours été exploitées pour le bois de feu ou les constructions. Les bourgeois avaient bien souvent le droit de faire leur bois dans les forêts bourgeoises. Celles-ci étaient donc parfaitement entretenues et les moindres pièces de bois étaient récoltées pour l'hiver. La nouvelle politique encourageant à utiliser une partie du volume des coupes sur place selon les avantages cités précédemment et les recommandations du classeur NaiS, a donc marqué une évolution brutale dans la manière de gérer les forêts valaisannes. Ces nouvelles manières de penser doivent faire leurs preuves dans le monde forestier et surtout auprès du public.

Mais la compréhension des raisons de l'utilisation du bois au sol n'est pas aisée dans le contexte économique actuel qui est la cause de l'abandon de produit bois en forêt. De plus, comme toute nouvelle pratique dans le monde forestier, l'utilisation du bois au sol se précise avec la lente évolution des écosystèmes forestiers, au fur et à mesure que les tests grandeur nature donnent leurs premiers résultats. Cette lente et continuelle évolution ne facilite pas toujours la mise en œuvre de la pratique puisqu'il faut constamment adapter les méthodes aux nouveaux résultats, et donc communiquer pour faire accepter les interventions.

Finalement, la gestion forestière est influencée par de multiples facteurs : la filière, la chasse, le tourisme, les risques naturels, le climat... Et l'utilisation du bois au sol vient embrasser tous ces aspects avec une nouvelle manière de voir les choses. C'est pourquoi il semble judicieux de faire un état des lieux de cette pratique, avec maintenant un certain recul sur les premières mises en œuvre, afin de cerner les éventuels problèmes et de réfléchir aux solutions.

### I.2.c. ...avec les questions qui en émergent

Le SFCEP, qui coordonne la gestion des forêts de protection à l'échelle du canton, souhaite faire un point sur l'utilisation du bois au sol par rapport aux multiples interrogations qu'elle soulève. Il s'agit donc dans un premier temps de compiler l'ensemble des remarques au sujet du bois au sol, venant des gardes forestiers qui mettent en place la technique sur le terrain et sont confrontés aux avis du public ; venant des bourgeoisies qui sont les principaux propriétaires des forêts valaisannes ; et enfin venant des bûcherons qui appliquent les recommandations sur le terrain. Ceci permettra de cerner l'ensemble des problématiques, puisque la pratique semble plutôt mal comprise par le public et difficilement acceptée par les gardes.

Le travail visera par conséquent à apporter un maximum d'éléments de réponses aux interrogations au sujet du bois au sol, notamment en se basant sur de la bibliographie et des exemples opportuns. Il serait particulièrement intéressant de se renseigner aussi sur ce qui se fait dans les autres pays alpins afin de pouvoir légitimer la pratique et multiplier les retours d'expériences. Le travail pourra alors viser la mise en place de mesures pour encourager l'utilisation du bois au sol, notamment à travers des démarches incitatives (récompense financière ?), des présentations de bons exemples ou des fiches récapitulatives des connaissances exhaustives à partir de la bibliographie.

Ce travail pourrait aussi être l'occasion de préciser la démarche de l'utilisation du bois au sol en proposant de nouvelles manières de mise en place avec une vision locale et éventuellement des tests grandeur nature.

### I.3. L'appropriation du sujet de stage

#### I.3.a. Les questions directrices de l'étude

Ce travail de stage m'a paru tout à fait intéressant puisqu'il s'agit de faire le point sur une pratique récente de sylviculture des forêts de protection. Elle nécessite donc de bien maîtriser le sujet avec l'ensemble des protections offertes par la forêt et les interventions nécessaires ou non. Le premier travail de bibliographie m'a permis de m'imprégner du contexte en précisant mes connaissances en matière de forêts protectrices mais aussi en découvrant le fonctionnement de la gestion des forêts en Valais.

Cela m'a aidé à construire mon travail avec mon maître de stage Roland METRAL et mon tuteur Éric LACOMBE. J'ai donc retenu les points suivants à traiter :

- Comment les gardes forestiers se sont appropriés l'utilisation du bois au sol ?
- Quels sont les points faibles et les points forts de l'utilisation du bois au sol, en Valais et dans le reste de l'arc alpin ?
- Où en est la recherche dans ce domaine et que peut-elle apporter à la pratique ?
- Quelles sont les innovations (techniques, économiques, sociales, communicatives...) qui pourraient répondre aux interrogations résultant de l'utilisation actuelle du bois au sol ?

#### I.3.b. La démarche adoptée

Afin de répondre aux questions retenues pour l'étude, il s'est dégagé plusieurs phases de travail, telles qu'elles sont présentées en Figure 4.

L'étude visera dans un premier temps à faire l'état des lieux de l'utilisation du bois au sol et des questions qui en découlent dans le Valais romand, en rencontrant différents acteurs (gardes, bûcherons et propriétaires). Cette première phase, complétée par de vastes recherches bibliographiques permet alors de mettre en évidence les points forts et points faibles de l'utilisation du bois au sol dans le Valais, en regard à ce qui se fait aussi à l'étranger.

Les questions soulevées par la phase d'enquête, qui ne trouvent pas de réponse satisfaisante dans la bibliographie pourront alors faire l'objet de mesures sur le terrain.

Finalement, les entretiens, la bibliographie et les résultats du travail de terrain permettront de construire les diverses propositions de mesures d'amélioration.

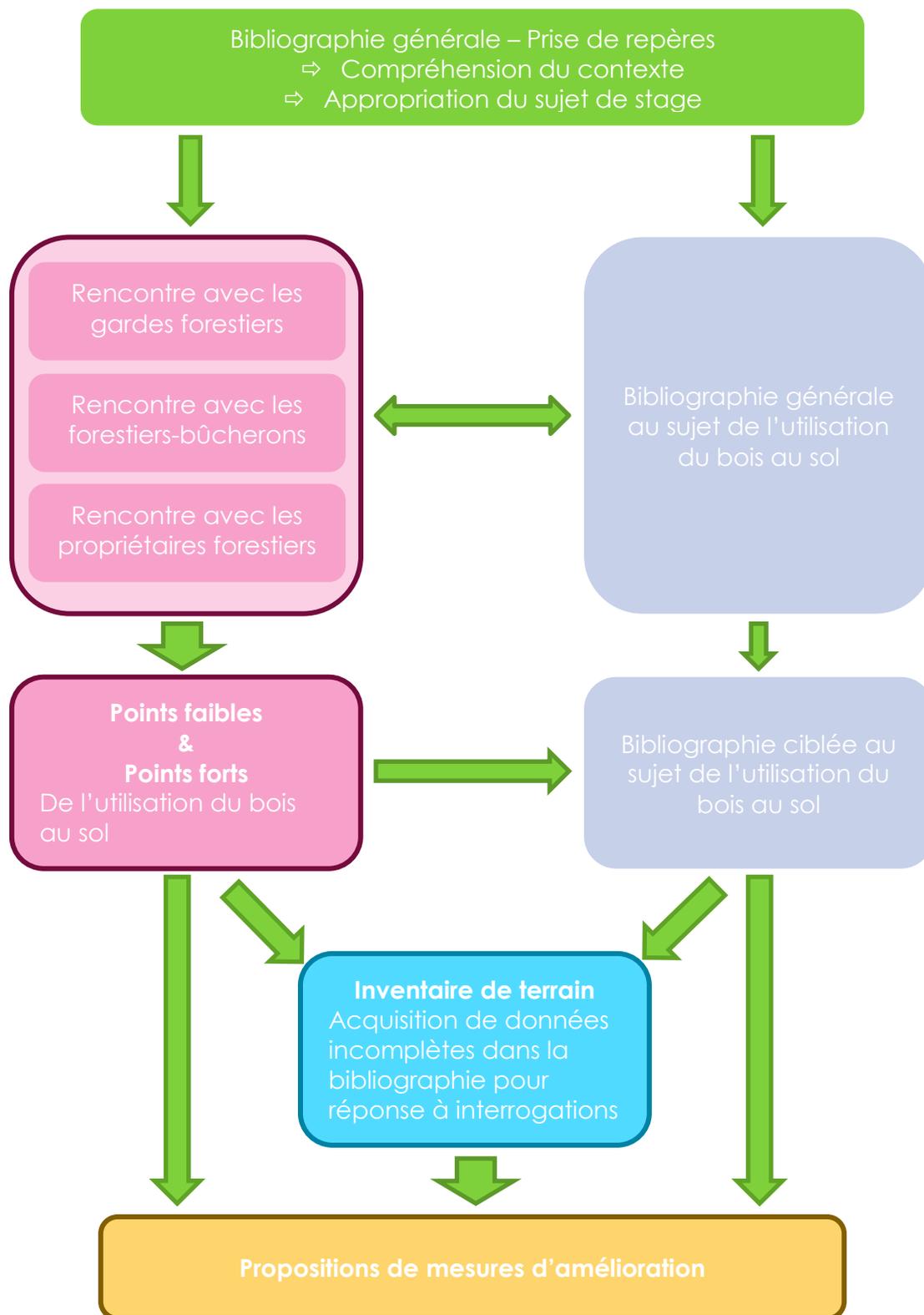


Figure 4 : Schéma global de la démarche de l'étude

## II. État des lieux d'une pratique en évolution

Lorsque l'on s'intéresse à la gestion des forêts, le bois mort tient une place importante, quel que soit le contexte. Il en est question pour la biodiversité mais aussi pour assurer la fertilité des sols forestiers. Tous les écosystèmes forestiers ont besoin d'un retour des éléments au sol pour maintenir les teneurs en nutriments et par conséquent la productivité (baisse de productivité des arbres de 3 à 7 % en diamètre et hauteur suite à l'exportation totale des rémanents, Augusto et al. 2014). Cette préoccupation est une des bases du développement des connaissances générales sur le bois mort (au sol et sur pied), dans le contexte du développement du bois énergie et de l'intensification des itinéraires forestiers. Par ailleurs, la volonté de favoriser la biodiversité apparaît aussi, et depuis plus de 30 ans, comme une motivation des recherches au sujet du bois mort en forêt (Dickson et al. 1983, Bütler 2006). Plus récemment, les recherches sur les forêts de montagne au sujet du rajeunissement et de la fonction de protection ont aussi amené à se pencher sur la question du bois mort. Il est donc évident que les références internationales au sujet du bois mort en forêt, et son utilité, ne manquent pas.

### II.1. Les motivations de l'utilisation du bois au sol dans la bibliographie

#### II.1.a. Le bois mort source de vie

Comme cité précédemment, le bois mort est indispensable à l'écosystème forestier pour le retour des éléments au sol et leur recyclage par les micro-organismes. Il peut alors être considéré comme un fertilisant. Selon ce point de vue, chaque partie de l'arbre a son importance puisque les éléments minéraux ne sont pas répartis équitablement dans l'arbre : les branches et les feuilles concentrent deux à cinq fois plus de nutriments que le tronc, écorce et bois (Augusto et al. 2014). Mais au contraire, la biomasse\* est majoritairement comprise dans le tronc (Figure 5). Ainsi, avec pour objectif de conserver un maximum de nutriments dans l'écosystème afin de maintenir la fertilité des sols, il est important de laisser une bonne partie des rémanents sur le parterre de coupe (Knust et al. 2016). Par ailleurs, ces observations sont à nuancer selon les temps de rotation entre deux coupes et les itinéraires sylvicoles suivis. En montagne, l'accroissement est faible et les temps de retour sur une surface n'atteignent en général jamais moins de 15 ans. Or entre deux interventions, les arbres restituent naturellement des minéraux à travers la chute de branches et feuilles (compartiments les plus concentrés en nutriments). Ces retours, au cours de la longue vie des arbres en montagne, participent amplement au recyclage des nutriments de l'écosystème. De plus aujourd'hui la récolte des bois mort naturellement en forêt n'est quasiment plus existante ce qui limite encore l'export des minéraux.

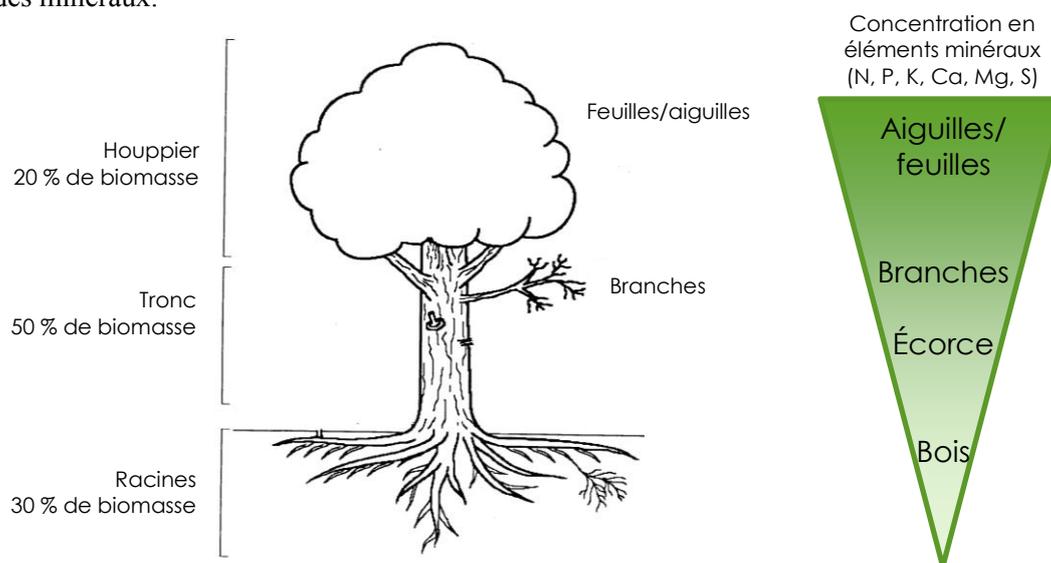


Figure 5 : Distribution de la biomasse et des nutriments au sein d'un arbre

Parallèlement, le bois mort est aussi une source de nourriture pour tous les organismes xylophages, qui sont indispensables au recyclage de la matière organique pour le cycle des nutriments. Le bois mort est considéré comme un habitat essentiel de la forêt puisque près d'un cinquième de la faune forestière est tributaire du bois mort, auquel s'ajoute un nombre indéterminé de plantes, lichens, bactéries, champignons et algues (Schiegg Pasinelli and Suter 2000). Ce cortège d'espèces associé au bois en décomposition participe donc grandement à la biodiversité forestière. Par ailleurs, la majorité de ces espèces dépend de différents stades de décomposition du bois mort, ce qui montre l'importance d'avoir du bois mort avec divers états de décomposition (Lemperiere and Marage 2010). Les insectes très spécifiques sont directement influencés par la structure de la chaîne trophique\*. Ce qui signifie que les espèces inféodées au bois fortement décomposé reposent sur les espèces qui s'installent en premier sur les bois récemment morts (premier niveau de la chaîne trophique). Le « manque » de bois mort entraîne en premier lieu la disparition des parasites puisqu'ils dépendent directement des espèces pionnières (Stokland et al. 2012), de même que la répartition homogène présente son importance pour des espèces dont les déplacements sont limités (Bütler 2006). Ces différents travaux, non exhaustifs, montrent l'importance de la continuité temporelle et spatiale du bois mort en forêt, avec divers stades de décomposition en présence, pour le développement de la biodiversité associée.

Cette biodiversité installée peut alors apporter une aide considérable au forestier grâce à la lutte biologique naturelle contre les insectes ravageurs tels que les scolytes. En effet, si du bois fortement dégradé reste en forêt, tout le cortège de prédateurs et parasites des ravageurs s'installe et permet alors de lutter contre l'invasion (Nierhaus-Wunderwald 1996). Si les bois sont systématiquement exportés, les espèces régulatrices des ravageurs n'ont pas d'habitat pour se développer et la régulation biologique n'est pas assurée. Une étude des scolytes sur le chêne en forêt française (de Laclos 2006) met bien en évidence le nombre de prédateurs et parasites arrivant dans un second temps, extrêmement importants pour limiter la prolifération des scolytes. La conclusion indique clairement de laisser un certain nombre d'arbres afin qu'ils servent d'habitats pour les prédateurs et parasites des ravageurs forestiers. Il faut alors que ces bois soient suffisamment densément répartis pour créer un réseau continu dans le massif forestier. Dans ce but, il est souvent question de seuils en termes de volume de bois mort et une étude (Müller and Bütler 2010) en fait l'inventaire pour conclure à un seuil minimal de 20 à 50 m<sup>3</sup>/ha, avec des seuils supérieurs à 100 m<sup>3</sup>/ha dans le cas d'espèces très exigeantes. Ces seuils exprimés en volumes totaux cachent la nécessité de diversité de bois mort, dont les principaux facteurs sont : les essences, les diamètres, les stades de décomposition, les types (sur pied et au sol) et les causes de mortalité (Lachat et al. 2013). L'équilibre du milieu peut alors mettre plusieurs années à se créer le temps de l'installation de l'ensemble des espèces d'intérêt, et la résilience de la forêt vis-à-vis des menaces sanitaires s'en voit renforcée. Un récent travail de relevés des insectes forestiers, par le technicien forestier territorial de Chamonix, montre d'ailleurs une baisse significative des effectifs de scolytes ces dernières années, coïncidente avec l'apparition croissante de populations de prédateurs. Ces relevés sont certainement les preuves de la mise en place de l'équilibre naturel, avec la progression des habitats disponibles grâce à l'augmentation des volumes de bois mort disponible.

En conclusion, la bibliographie est très exhaustive au sujet de la biodiversité liée au bois mort et son importance pour l'écosystème forestier. Il est aussi question de son rôle majeur dans l'équilibre forestier et par conséquent la lutte naturelle contre les ravageurs.

### II.1.b. Le rajeunissement des forêts de montagne sur le bois mort

Depuis assez longtemps le monde forestier reconnaît aussi l'intérêt du bois mort pour le renouvellement des peuplements et notamment les essences résineuses de montagne dont la germination est facilitée sur le bois en décomposition (Gensac 1990, Szewczyk and Szwagrzyk 1996). Cette caractéristique est particulièrement importante lorsqu'il s'agit de la régénération d'un peuplement en station riche et humide (mégaphorbiaies). En effet dans ces situations, la strate herbacée très développée (pétasite, adénostyle, calamagrostide, épilobe...) est concurrentielle pour les semis. Elle empêche dans un premier temps les graines de germer en recouvrant totalement le sol et créant un réseau racinaire dense. De plus, leurs hauteurs dépassant régulièrement le mètre créent par la suite une concurrence accrue pour le développement du semis.

Le bois en décomposition propose un lit de germination « propre » et dans de nombreux cas exempt de concurrence, puisque les semis se retrouvent en hauteur par rapport au sol.

Par ailleurs, le bois en décomposition, et notamment les souches, apporte d'autres avantages tels que la mycorhization rapide des semis grâce aux champignons présents dans le bois et autour des racines, les propriétés fongicides du cœur vis-à-vis des parasites ou encore la rétention de l'eau par le matériau bois spongieux (Gensac 1990). Les études montrent généralement que le taux de germination est élevé sur le bois mort avec par la suite une disparition importante des jeunes semis, malgré un taux de survie plus élevé que celui des semis au sol. En outre, les semis installés sur le bois en décomposition présentent une croissance intéressante. Ces résultats sont marquants pour l'épicéa, mais le sapin suit la même tendance et le hêtre apprécie aussi le bois mort très décomposé pour son rajeunissement (Orman and Szewczyk 2015). En se concentrant particulièrement sur l'épicéa, le rajeunissement semble s'installer plus rapidement sur les souches plutôt que les arbres au sol, certainement grâce à une décomposition plus rapide des souches et un substrat de ce fait plus favorable (Bace et al. 2011). Dans le cas des essences feuillues, les rejets de souches peuvent présenter un intérêt particulier pour la protection et les peuplements de taillis, les souches rases seront alors préférées.

Finalement l'effet positif du bois mort pour le rajeunissement se caractérise aussi par l'effet de protection vis-à-vis du manteau neigeux. Le bois mort est un substrat favorable grâce à la fonte rapide et prématurée de la neige à proximité, par rapport au sol nu où la neige reste plus longtemps. Cette situation offre alors un promontoire avec une durée de végétation plus longue (fonte de la neige et substrat plus rapidement réchauffé) et sans concurrence (les végétaux du sol nu étant encore sous le manteau neigeux) (Stöckli 1996).

### II.1.c. Le bois mort au sol comme protection contre les risques naturels

Plus récemment, en lien avec la réflexion autour de la fonction de protection des forêts et le besoin d'apporter le rajeunissement par ouvertures, la recherche s'est intéressée à la protection offerte par le bois mort au sol. Il s'agit alors de comprendre l'effet que peut avoir le bois au sol sur les aléas naturels et ainsi d'orienter la gestion pour maximiser cet effet. Il faut alors distinguer les différents aléas naturels en présence.

#### *Chutes de pierres*

Comme pour la fonction protectrice des forêts vis-à-vis des chutes de pierres, il faut considérer séparément les zonages de l'aléa : zone de décrochement, zone de transit et zone de dépôt.

Le bois au sol n'a que très peu d'utilité en zone de décrochement puisque celle-ci correspond de manière générale à des falaises, où le bois au sol n'est pas stable. Par ailleurs, il faut noter que la présence de souches peut participer à la stabilisation de zones instables en évitant le risque d'effondrement lié à l'arbre et son effet levier. Parallèlement pour des zones de départ diffuses, dans le cas d'une forêt installée sur un éboulis, le bois au sol (souches ou billons) peut favoriser l'ancrage de blocs, mais présente le risque de les relâcher au moment de sa décomposition.

Ce même phénomène peut être observé dans la zone de transit avec l'arrêt de blocs derrière le bois au sol. En effet, des études plutôt récentes montrent l'effet de freinage et d'arrêt des blocs dans les zones de transit et dépôt. Les bois en travers de pente limitent la vitesse des pierres et peuvent par conséquent diminuer les distances d'arrêt (Bourrier et al. 2012, Berger et al. 2014 et Schneider 2016). Par ailleurs, les modélisations indiquent aussi quelques points importants de précaution quant à l'effet du bois au sol :

- L'effet de freinage est relatif et les pierres reprennent leur vitesse à la suite de l'obstacle. Par conséquent, afin de maximiser la perte de vitesse, les obstacles (bois mort) doivent être suffisamment rapprochés dans la pente (la littérature indique 40 mètres comme distance au-delà de laquelle la pierre aurait repris son énergie maximale),

## État des lieux de l'utilisation du bois mort au sol

### Utilisation du bois au sol en sylviculture de montagne

GARET Élie

- Les effets des arbres au sol sont améliorés plus leur structure est verticale (deux arbres l'un sur l'autre valent mieux qu'un seul arbre à hauteur comparable, Figure 6),
- Les effets des obstacles sont d'autant plus importants qu'ils ont la hauteur de la taille de la pierre,
- L'effet des arbres au sol est accru plus il est proche de la source de la chute de la pierre,
- Les bois au sol ancrés à une seule extrémité absorbent plus d'énergie que les bois « fixes »,
- La résistance des grumes\* décroît rapidement avec une perte de 50 à 90 % dans les dix premières années (Bigot 2014),
- Les bois sont plutôt à placer à 30° par rapport aux courbes de niveau pour limiter l'effet d'accumulation de pierres (Figure 7),
- Les souches récentes, rases et peu décomposées, ont un effet négatif car elles se comportent telles des tremplins pour les pierres, il est donc recommandé de les laisser le plus haut possible et de réaliser une coupe biseautée (Figure 6). Les modélisations réalisées ne permettent pas jusqu'aujourd'hui de prendre en compte des souches « hautes », ce qui implique les résultats mettant en évidence un effet négatif sur la protection. Les souches hautes sont à proscrire en amont proche d'un ouvrage de protection tel filet ou digue car elles risquent de créer un tremplin pour les pierres avec le risque de voir l'ouvrage se faire sauter. Le mieux est alors de les couper à ras le sol en suivant la pente.

Dans les peuplements de feuillus, significativement présents dans le Bas-Valais, le rôle des souches en matière de protection mérite une attention particulière puisque les feuillus ont la capacité de rejeter. Or il est prouvé que les jeunes cépées représentent un obstacle intéressant contre les chutes de blocs. C'est pourquoi, dans le cas de la protection contre les chutes de bloc en peuplement de feuillus il peut être pertinent de couper quelques souches à ras le sol pour l'installation des rejets.

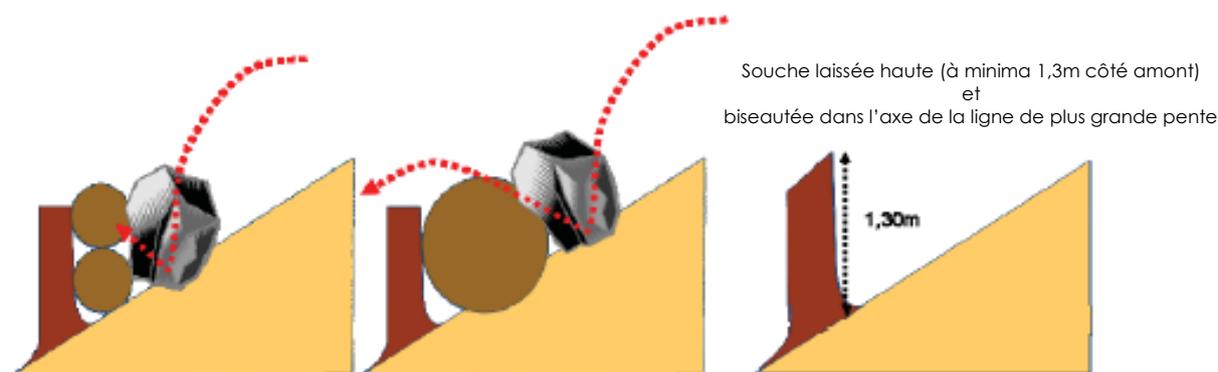


Figure 6 : Disposition du bois au sol pour la protection contre les chutes de pierres. Source : IRSTEA - 2014

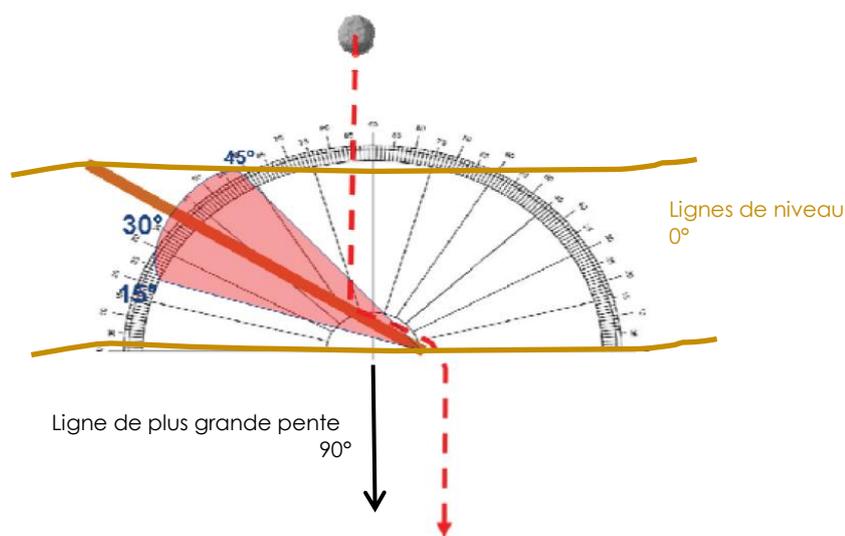


Figure 7 : Disposition des arbres au sol par rapport à la pente. Source : IRSTEA - 2014

Toutes ces recommandations mettent en évidence l'effet évident de protection du bois au sol pour l'aléa de chute de pierres. Par ailleurs il est important de noter que l'effet n'est pas éternel, puisque les bois se décomposent et que leur résistance mécanique diminue rapidement dans la première décennie. Cela implique que le bois mort au sol (grumes et souches) ne soit pas retenu comme un ouvrage d'arrêt, mais plutôt de frein. Il serait alors recommandé de réaliser un suivi fin des zones sensibles dans le but de repérer les accumulations de pierres derrière le bois mort, et de prévoir un remplacement décennal des pièces.

#### *Avalanches, coulées et reptation\* du manteau neigeux*

Les fonctions remplies par le bois au sol vis-à-vis des aléas liés à la neige sont restreintes aux zones de déclenchement. La bibliographie est essentiellement basée sur des surfaces de chablis ouvertes lors des deux ouragans ayant fait de gros dégâts en Suisse (Vivian en 1990 et Lothar en 1999). Ces surfaces ont donné l'occasion de suivre les mouvements de neige dans des versants avec ou sans bois au sol.

Les résultats des recherches sont encourageants puisqu'ils montrent que les coulées de neige sont fortement limitées dans les zones où le bois a été laissé sur place. Les bois au sol peuvent même arrêter quelques coulées parties depuis des zones nues au-dessus. Cet effet protecteur semble au moins envisageable sur 10 à 30 ans (Frey and Thee 2002). Une seconde étude (Putallaz 2010) a permis de suivre l'évolution au cours de la décennie suivante. Les arbres sont moins résistants (36 % de perte en moyenne), mais apportent toujours une protection accrue à la pression statique du manteau neigeux. L'efficacité du bois au sol, dont la hauteur moyenne par rapport au sol est de un mètre environ en 2010, est limitée en hauteur. Les arbres au sol supportent quasiment jusqu'à deux fois leur hauteur en épaisseur de neige (résistance en 2010), mais ne peuvent retenir physiquement la neige au-dessus de leur hauteur, même si une protection est assurée jusqu'à 1.60 mètre (Putallaz 2010). Selon la vitesse de décomposition observée sur cette surface, la protection semblerait être limitée par la résistance des bois, faible au bout de 30 ans (nombreuses cassures et dégradation conséquente). D'un autre côté aucun mouvement conséquent des bois n'est observé. Ceux-là sont stables, sauf dans les zones de forte pente rocheuse.

Les études réalisées montrent donc un effet tout à fait intéressant du bois au sol dans les zones ouvertes en forêt. Il permet la stabilisation du manteau neigeux dans les surfaces de chablis ou les ouvertures réalisées pour l'entretien et renouvellement des peuplements de protection. De la même manière que les arbres au sol, les souches offrent des points d'ancrage au manteau neigeux, en revanche beaucoup plus ponctuels.

#### *Glissements de terrain*

Les glissements de terrain sont des aléas plus difficilement maîtrisables par la forêt (abordé au paragraphe I.1.e). De la même manière, le bois mort au sol n'a alors que peu d'effet sur les glissements de terrain. Les souches peuvent ancrer le sol, et la masse induite par les arbres au sol n'est pas un élément critique pour le déclenchement des glissements. Les inventaires des glissements montrent bien souvent une fréquence moins élevée dans les cas de pentes forestières (Rickli and Graf 2009).

#### *Crues torrentielles*

Pour ce qui est de l'aléa « crue torrentielle », l'effet du bois au sol se rapproche de celui sur les glissements. La stabilisation des horizons de surface par les racines des souches est l'effet majeur (Gerber et al. 2002). Par ailleurs, comme indiqué dans le paragraphe I.1.e., la couverture du sol est l'élément primordial pour limiter l'érosion et consécutivement les charges des crues torrentielles. Le bois au sol peut alors intervenir en tant que couverture et obstacle pour les écoulements superficiels. À distance des torrents, les bois au sol peuvent retenir les matériaux érodés (Vennetier et al. 2014). Ces « fascines » alors créées sont en mesure de servir de lit de germination optimal (replat et profondeur de sol).

Par ailleurs le bois au sol devient un danger de taille aux abords des torrents, puisqu'il risque d'être emporté par les écoulements et de créer des embâcles. Les guides de sylviculture recommandent donc de retirer toutes les pièces de bois à proximité directe des lits torrentiels (selon les contextes locaux de pente), ou au moins de les billonner un maximum pour limiter les phénomènes d'embâcles si l'exportation est impossible.

Pour conclure au sujet de la protection offerte par le bois mort au sol, voici un tableau récapitulatif (Tableau 1) des effets attendus et des recommandations adaptées selon les aléas. Ce tableau est aussi présenté à partir de schémas pour faciliter son utilisation par les gardes et bûcherons. Cette version se trouve en Annexe 1.

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des effets protecteurs du bois au sol

|   | Chutes de pierres   | Avalanches  | Crues torrentielles /<br>Bassin versant  | Glissements  |
|---|---|---|--|--|
| Zone de déclenchement /<br>Bassin versant | <u>Effet +/-</u><br>Zone de falaise :<br>Déstabilisation des blocs :<br>- Prélèvement des arbres instables (aucun arbre au sol)<br><br>Zone de remobilisation ou en aval direct de la falaise :<br>Freinage ou arrêt des blocs décrochés :<br>- Cf zone de transit  | <u>Effet +++</u><br>Ancrage du manteau neigeux :<br>- Arbres au sol :<br>En travers (0°)<br>Complètement ancrés<br>Empilés<br>- Souches :<br>Souches hautes | <u>Effet ++</u><br>Stabilisation du bassin versant et rétention des matériaux :<br>- Arbres au sol :<br>Laissés en travers si pas trop de pente et suffisamment de distance au torrent<br>Complètement ancrés<br>- Souches :<br>Souches hautes pour dégradation plus lente | <u>Effet +/-</u><br>Stabilisation des horizons superficiels :<br>- Arbres au sol :<br>Laissés en travers si pas de risque de glissement profond<br>Complètement ancrés<br>- Souches :<br>Souches hautes pour dégradation plus lente<br><br>Maintien sur pieds des arbres de gros diamètres stables |
| Zone de transit                           | <u>Effet +</u><br>Freinage et arrêt des blocs :<br>- Arbres au sol :<br>30°<br>Complètement ancrés<br>Empilés selon tailles des blocs<br>Canalisation des écoulements<br>- Souches :<br> Souches suffisamment hautes et biseautées ou ras le sol (feuillus ou ouvrage) | <u>Effet +</u><br>Freinage des coulées, rugosité :<br>- Arbres au sol :<br>Retirés<br>- Souches :<br>Souches hautes   | <u>Effet +/-</u><br>Rugosité du sol et freinage des écoulements<br>- Arbres au sol :<br>Retirés ou billonnés dans cas extrêmes<br>- Souches :<br>Souches hautes  |  |
| Zone de dépôt                             | <u>Effet +++</u><br>Freinage et arrêt des blocs :<br>- Arbres au sol :<br>En travers (0°)<br>Ancrés<br>Empilés selon blocs<br>- Souches :<br>Souches hautes biseautées ou rases (feuillus / ouvrages)   | <u>Effet ++</u><br>Freinage et arrêt des coulées :<br>- Arbres au sol :<br>Retirés<br>- Souches :<br>Souches hautes   |  |  |

### II.1.d. La viabilité du bois mort au sol : vitesse de décomposition

Lorsque l'on s'intéresse à l'effet du bois au sol, notamment en termes de protection et de lit de germination, il est logique d'étudier conjointement la durée de vie du bois au sol, liée à sa vitesse de décomposition, afin d'apprécier la pérennité de ce dispositif.

Le thème de la décomposition du bois au sol est plutôt riche en bibliographie, les études ne manquent pas, rayonnant sur l'ensemble du globe. Elles essaient de comprendre les phénomènes de dégradation du bois en lien avec les conditions naturelles et les propriétés des bois, afin, principalement, de fournir des données pour la séquestration carbone des milieux forestiers (Zell et al. 2009). Cette motivation explique le fait que la plupart des études se basent sur la masse de matière sèche du bois pour estimer sa décomposition. Il est par conséquent possible de trouver de nombreux modèles de décomposition du bois par rapport à sa masse de matière sèche ou densité. Ces modèles sont en grande majorité basés sur la fonction exponentielle sous la forme simplifiée suivante :

$$Y(t) = Y_0 \times e^{-kt}$$

avec  $Y(t)$  la variable considérée à l'instant  $t$ ,  $Y_0$  la variable considérée à la mort de l'arbre et  $k$  le taux ou constante de décomposition ( $\text{an}^{-1}$ ).

Les études traitent bien souvent des facteurs pouvant influencer la décomposition du bois mort. Il est possible de remarquer que la présence d'oxygène joue un rôle important puisqu'elle explique la distribution des décomposeurs. Par ailleurs des phénomènes abiotiques\* comme les intempéries ont aussi leurs conséquences sur la décomposition (Maser and Trappe 1984). Au fur et à mesure des travaux, les conclusions difficiles montrent que d'autres variables ont leur influence : le diamètre de l'arbre, l'âge de la mort de l'arbre au moment de sa chute, l'essence et la cause de la mort. Il est donc question de comprendre en quoi chacun des facteurs cités ci-dessus influencent la décomposition des bois morts, ce qui n'est pas évident vu leur nombre et leurs éventuelles interdépendances.

L'ensemble des travaux indiquent des différences de décomposition dues aux essences en question (Bigot 2014, Herrmann et al. 2015, Petrillo et al. 2016). À large échelle, il est aussi montré que la décomposition est plus rapide en zone tropicale de par les fortes précipitations et températures élevées (Bigot 2014). À plus petite échelle, dans les Alpes, les résultats sont moins marquants. La différence entre essences est toujours marquée, mais les indicateurs abiotiques sont moins significatifs. Il est question de l'exposition, l'humidité, la composition et l'acidité du sol, la température, l'altitude, les précipitations... sans que les effets soient toujours statistiquement significatifs (Petrillo et al. 2015, Petrillo et al. 2016, Fravolini et al. 2016). Néanmoins il est quand même possible de retenir les points principaux suivants (tirés des travaux précédemment cités) :

- L'humidité du sol accélère la décomposition selon Fravolini et al. (2016) (tant qu'elle n'est pas constante et trop forte pour créer des conditions anaérobiques\*). De même que les précipitations accentuent la décomposition (Zell et al. 2009).
- La température augmente la vitesse de décomposition (tant qu'elle n'atteint pas des valeurs trop élevées par rapport à l'humidité : l'étude de Fravolini et al. (2016), dans les Alpes italiennes, montre par exemple que la température diminue la vitesse de décomposition par le lien à l'altitude et l'humidité).
- Les arbres de plus gros diamètre se décomposent plus lentement (Zell et al. 2009), en faisant attention au contact au sol et l'effet de l'humidité résultante,
- Les essences feuillues se décomposent quasiment deux fois plus vite que les résineuses (Bigot 2014, Lachat et al. 2014).
- La cause de la mort de l'arbre ainsi que l'état de décomposition au moment de l'effondrement influencent nettement la décomposition des pièces de bois au sol (Petrillo et al. 2016), par exemple les hêtres infectés par l'amadouvier (*Fomes fomentarius* (L. : Fr.) Fr.) avant leur mort se décomposent plus rapidement que les hêtres touchés par le vent.

- L'exposition semble avoir un rôle ambigu puisqu'elle influence directement les températures et l'humidité. Petrillo et al. (2016) montrent une tendance légère de décomposition plus rapide sur les versants sud, à l'inverse de Fravolini et al. (2016) qui indiquent une décomposition plus lente au sud à cause des conditions plus sèches.
- L'effet de l'altitude est aussi difficile à définir selon les études, certainement du fait de la corrélation aux variables de température et humidité.
- La présence de végétation au sol a un effet puisqu'elle influe sur le microclimat du bois (la décomposition est augmentée dans la végétation selon Puttalaz (2010)).
- Finalement, l'acidité du sol, étudiée par Fravolini et al. (2016), se révèle accélérer la décomposition, en lien avec la teneur en argile du sol et l'humidité du sol résultante.

Il faut donc se souvenir que la décomposition du bois au sol dépend de l'activité biologique, directement liée à l'humidité et la température, mais aussi de propriétés plus mécaniques telles que les intempéries et certainement du contact au sol.

Certains travaux indiquent des tables de constantes selon les essences et conditions naturelles. Il est alors possible de retenir les ordres de grandeurs suivants (Tableau 2) pour la décomposition des essences présentes en Valais :

**Tableau 2 : Recueil de taux de décomposition de la littérature**

| Essence                 | Auteur                   | Lieu             | Type          | Précipitations annuelles moyennes (mm/an) | Température moyenne annuelle (°C) | Taux de décomposition en densité (an-1) | Temps de demi-vie (an) | Temps de disparition (95% de décomposition) (an) |
|-------------------------|--------------------------|------------------|---------------|---|-----------------------------------|---|------------------------|--|
| <i>Picea abies</i>      | Yatskov et al. 2003      | Russie           | Grumes        | 700                                       | 4                                 | <b>0.032</b>                            | 21.7                   | 93.6   |
| <i>Picea abies</i>      | Bigot 2014               | Autriche         | Grumes        | 1300                                      | 8                                 | <b>0.073</b>                            | 9.5                    | 41.0   |
| <i>Picea abies</i>      | Hermann et al. 2015      | Allemagne        | Grumes        | 940                                       | 8.5                               | <b>0.033</b>                            | 21.0                   | 90.8   |
| <i>Picea abies</i>      | Fravolini et al. 2016    | Alpes italiennes | Cubes 2*5*5cm | 1050                                      | 5                                 | <b>0.039</b>                            | 17.8                   | 76.8   |
| <i>Picea abies</i>      | Petrillo et al. 2016     | Alpes italiennes | Grumes        | 1050                                      | 5                                 | <b>0.018</b>                            | 38.5                   | 166.4  |
| <i>Picea abies</i>      | Shorova et al. 2008      | Finlande         | Souches       | 670                                       | 3.1                               | <b>0.052</b>                            | 13.3                   | 57.6   |
| <i>Picea abies</i>      | Bigot 2014               | Autriche         | Souches       | 1300                                      | 8                                 | <b>0.067</b>                            | 10.3                   | 44.7   |
| <i>Larix decidua</i>    | Petrillo et al. 2016     | Alpes italiennes | Grumes        | 1050                                      | 5                                 | <b>0.012</b>                            | 57.8                   | 249.6  |
| <i>Pinus sylvestris</i> | Hermann et al. 2015      | Allemagne        | Grumes        | 750                                       | 9                                 | <b>0.032</b>                            | 21.7                   | 93.6   |
| <i>Pinus sylvestris</i> | Shorova et al. 2008      | Finlande         | Souches       | 670                                       | 3.18                              | <b>0.048</b>                            | 14.4                   | 62.4   |
| <i>Fagus sylvatica</i>  | Hermann et al. 2015      | Allemagne        | Grumes        | 1030                                      | 9                                 | <b>0.054</b>                            | 12.8                   | 55.5   |
| <i>Fagus sylvatica</i>  | Bigot 2014               | Suisse           | Grumes        | 1300                                      | 7.5                               | <b>0.065</b>                            | 10.7                   | 46.1   |
| <i>Fagus sylvatica</i>  | Muller-Using et al. 2009 | Allemagne        | Grumes        | 1032                                      | 7                                 | <b>0.089</b>                            | 7.8                    | 33.7   |

La norme européenne NF EN 350 du 30 octobre 2016 permet aussi d'appréhender la durabilité des bois selon les différentes essences. Certains travaux évoquent des taux de décomposition pour les souches (Shorova et al. 2008 et Bigot 2014). Il est généralement reconnu que les souches se décomposent plus

lentement que les grumes (résultats de Bigot 2014). Mais cette tendance n'est pas visible dans le tableau précédent, sûrement à cause de la diversité des travaux et des conditions abiotiques diverses.

Le tableau permet tout de même de retenir que le hêtre se décompose quasiment deux fois plus vite que l'épicéa et le pin sylvestre alors que le mélèze disparaît trois fois plus lentement que l'épicéa.

Pour compléter cette notion de décomposition et la lier à l'effet protecteur du bois au sol, Frey et al. (2002) puis Putallaz (2010) ont étudié la résistance de grumes d'Épicéa à des contraintes de pression tel un manteau neigeux. Les résultats donnent une perte de résistance à la charge de 39 % en 9 ans (25 kN à 16 kN). Néanmoins ces travaux ne permettent pas de construire un modèle de perte de résistance puisqu'ils n'apportent que deux valeurs ponctuelles sans renseigner la valeur d'origine. Par rapport à la résistance aux chutes de blocs, Bigot (2014) a mis en évidence une relation entre la décomposition en densité sèche et la résistance des grumes à travers des tests d'impacts en laboratoire sur le pin noir d'Autriche (*Pinus nigra* J.F.Armold). Les résultats montrent que les billons de pin noir d'Autriche ont perdu 50 % de leur résistance mécanique en 4 ans et 95 % en 16 ans. La relation liant la densité sèche et la résistance mécanique est de type sigmoïde et donne un coefficient de détermination ( $R^2$ ) de 0,60. L'extrapolation du modèle aux autres essences de l'étude, hêtre et épicéa (*Fagus sylvatica* et *Picea abies*) indiquent une évolution concordante des résistances mécaniques avec une perte de 50 % les 5 premières années. La résistance serait finalement quasiment nulle au bout de 10 ans. Le hêtre perdrait légèrement plus vite sa résistance.

Pour l'effet de protection, il faut donc s'attendre à une efficacité limitée dans le temps, sur les dix premières années pour les chutes de blocs et certainement jusqu'à vingt ans par rapport à la reptation du manteau neigeux (force surfacique et non ponctuelle).

### II.1.e. Le bois mort constituant naturel des forêts non gérées et sa protection consécutive

Un aspect supplémentaire des recherches au sujet du bois au sol est tiré de l'évolution naturelle des forêts et de leur maturité. Il s'agit alors d'étudier la protection offerte par les forêts matures non gérées, qui présentent logiquement un volume de bois au sol non négligeable. L'étude de Fuhr et al. (2010) traite des effets protecteurs de cinq stades parmi la dynamique des forêts subnaturelles. Les stades les plus efficaces en termes de protection contre les chutes de blocs pour des simulations avec des blocs de 1 m<sup>3</sup> correspondent aux stades de jeune peuplement (domination des petits diamètres et pas de gros bois) et de peuplement jardiné (diamètre moyen de 25 centimètres avec toutes les classes de diamètres). Les différences ne sont pas notables par rapport aux stades d'autoéclaircie, de vieillissement et de régénération pour des blocs de 0.5 m<sup>3</sup>. Ces résultats (liés aux travaux par rapport à la valeur biologique des différents stades) indiquent que la structure idéale serait jardinée, stade d'équilibre naturel ou à atteindre en favorisant le rajeunissement prématuré des peuplements vieillissants. Plus tard une seconde étude (Fuhr et al. 2015) incluant le bois mort montre que la forêt mature (densité de 530 tiges/ha, diamètre quadratique de 36 cm et surface terrière de 51 m<sup>2</sup>/ha) protège aussi bien que les peuplements jeunes et denses. Le bois mort a son importance puisqu'il augmente significativement la protection (avec un bémol pour les souches, modélisées à ras le sol et créant ainsi des tremplins, négatifs pour la protection). Les îlots de forêt mature permettent donc de fournir la protection attendue. Ces conclusions rejoignent les travaux de Krumm et al. (2011) qui indiquent que la protection apportée par une gestion passive des pessières subalpines des Alpes suisses est aussi importante que la protection induite par une gestion active.

Ces réflexions mettent en évidence le fait que les structures étagées sont les plus favorables pour la multifonctionnalité forestière. Ces structures sont en théorie les stades d'équilibre des peuplements à dynamique subnaturelle, ce qui signifie que l'effet de protection serait fourni naturellement. Par ailleurs, l'évolution particulièrement lente des peuplements de montagne et les risques d'effondrements à large échelle rendent difficile la libre évolution et mettent en péril l'effet de protection (Krumm 2011). C'est dans cette optique que la gestion de peuplements de montagne est caractérisée de passive. Les recommandations

sylvicoles du classeur NaiS se basent d'ailleurs sur l'évolution naturelle des peuplements pour définir la nécessité d'intervention.

La gestion des forêts de protection doit donc se réfléchir selon le contexte naturel et la dynamique forestière attendue. Le but est de se rapprocher le plus possible des peuplements jardinés avec suffisamment de bois au sol, ce qui améliore les fonctions de protection et de conservation.

### II.1.f. Bilan de la bibliographie

L'utilisation du bois au sol en sylviculture de montagne est largement étudiée et les résultats mettent tous en évidence l'importance d'utiliser cette ressource pour l'effet de protection, mais aussi le rajeunissement et la biodiversité qu'elle favorise. Les recherches se précisent aujourd'hui pour essayer de quantifier précisément l'effet de protection et la durabilité du bois au sol. Ces variables sont difficiles à obtenir à cause du temps nécessaire. Des ordres de grandeurs sont tout de même donnés et servent de base aux pratiques sur le terrain. C'est pourquoi le travail se concentre par la suite sur une enquête auprès des acteurs de la gestion des forêts de protection dans le Valais, dans le but de faire ressortir les retours d'expériences au sujet de l'utilisation du bois au sol, points forts ou faibles et ainsi proposer des mesures d'amélioration.

## II.2. L'apport de la pratique sur le terrain

La bibliographie apporte de nombreux éléments de base pour définir les contextes, motivations et préconisations pour l'utilisation du bois au sol. Elle met en évidence que la technique évolue beaucoup et que les recherches apportent de plus en plus de précision. Dans le Valais, les gardes forestiers ont depuis 2008 et parfois avant, laissé du bois au sol de manière conséquente lors de chantiers de coupe. Il s'agissait donc de recueillir leurs avis sur la question du bois au sol et de son efficacité. Cette enquête permet alors de mettre en évidence les éventuels points faibles à corriger ou points forts à conforter.

### II.2.a. Élaboration des guides d'entretien pour les différents acteurs

L'enquête visait dans un premier temps à rencontrer les gardes forestiers du Valais, acteurs qui coordonnent la gestion forestière sur les triages et ont, au quotidien, le retour sur leurs interventions sur le terrain. Les trois guides d'entretien se trouvent en Annexe 2, Annexe 3 et Annexe 4.

#### *Présentation du guide d'entretien des gardes forestiers*

Le guide d'entretien vise, dans un premier temps, à capter l'avis général du garde sur la question du bois au sol (quoi, pourquoi, depuis quand). Dans un second temps, il s'agit de comprendre l'ensemble des impacts de l'utilisation du bois au sol sur la gestion forestière. Pour cela il est possible de se concentrer sur un chantier en particulier ou sur une vue d'ensemble selon la collaboration de l'interviewé. Les questions portent sur les grands thèmes suivants :

- Contexte du triage/chantier (propriétaires, essences, stations, aléas naturels).
- Organisation du/des chantier(s) (modes de débardage, martelage\*, mise en place du bois au sol, agents, difficultés rencontrées).
- Bilan économique du/des chantier(s) et du bois au sol.
- Influence du bois au sol sur l'enjeu social, touristique (adaptations, retours du public).
- Evolution du bois au sol (décomposition et risque sanitaire).
- Efficacité du bois au sol (protection, mouvements, rajeunissement, biodiversité).

Pour finir, l'entretien prévoit d'évoquer les besoins des triages vis-à-vis de l'utilisation du bois au sol (communication, outils de décision, adaptation ...) et leurs visions sur l'évolution de la technique.

Ces entretiens ont aussi été l'occasion de compiler des chantiers dans chacun des triages où du bois a été laissé volontairement sur place depuis 5 ans ou plus, afin d'avoir une liste d'objets d'intérêt pour l'étude.

Au fur et à mesure des entretiens, il a semblé logique de rencontrer aussi les bûcherons, qui, sur le terrain, mettent en pratique l'utilisation du bois au sol. Ils ont pour ainsi dire le dernier mot.

### *Présentation du guide d'entretien des bûcherons*

Le guide d'entretien pour les bûcherons suit le même déroulé que celui pour les gardes. Il est par ailleurs plus concentré sur les aspects techniques et leurs connaissances théoriques sur le bois au sol. Ce questionnaire permet aussi de se rendre compte de la pression exercée par le public sur le travail réalisé par les forestiers-bûcherons.

Finalement, les entretiens mettant en évidence l'importance de l'avis du public par sa pression sur les bûcherons et gardes, il s'est avéré judicieux de prévoir aussi de rencontrer quelques représentants de bourgeoisies (propriétaires majoritaires de forêts valaisannes).

### *Présentation du guide d'entretien des politiques*

Le guide d'entretien pour les propriétaires de forêts est construit pour avoir un avis à la fois des propriétaires sur leurs obligations en termes de gestion des forêts de protection, et de personnes extérieures au monde forestier sur l'utilisation du bois au sol.

Le guide est pensé pour recueillir dans un premier temps un avis général et personnel sur la question du bois au sol, avec le ressenti sur les avantages et inconvénients. Dans un second temps, l'entretien se concentre sur les aspects de protection à travers les obligations de gestion et l'importance du bois au sol. Ces entretiens permettent alors de se rendre compte de l'état des connaissances de personnes extérieures au monde forestier mais en contact direct avec celui-ci (puisque membres des conseils d'administration des triages). Cela est crucial pour faire le point sur la communication et son efficacité. Par ailleurs le rôle de propriétaire est intéressant pour rendre compte de leur vision vis-à-vis de la politique du canton et de son organisation pour mettre en œuvre la gestion préconisée des peuplements de montagne, avec les subventions nécessaires.

## **II.2.b. Déroulement de l'enquête**

La majorité de l'enquête s'est déroulée entre le 23 mars et le 15 mai 2017. Je me suis rendu seul à chacun des entretiens afin de pouvoir parler librement avec les gardes, sans la présence de l'ingénieur forestier du canton. Trois entretiens ont eu lieu plus tard, les 12 et 13 juillet 2017 dans le Haut-Valais, puisqu'ils nécessitaient la présence de mon maître de stage pour la traduction allemand-français. Ces entretiens sont donc partiellement biaisés puisque les retours correspondent aux traductions réalisées par Roland MÉTRAL.

L'enquête a été l'occasion de rencontrer l'ensemble des gardes forestiers du Bas-Valais, puis ceux du Valais Central, pour un total de 22 personnes. Dans le laps de temps imparti pour l'enquête et à cause de la saison de pleine activité des bûcherons, je n'ai pu interviewer que 6 bûcherons (1 contremaître, 4 forestiers-bûcherons et 1 apprenti). Enfin, l'enquête des politiques a concerné 6 conseillers bourgeoisiaux pour 5 bourgeoisies du Bas-Valais.

Les résultats sont compilés dans un tableur et analysés anonymement.

### II.2.c. Résultats de l'enquête

Les entretiens individuels ont donné une multitude de réponses très diverses, selon les profils et contextes variés de travail des gardes. Le paragraphe suivant a pour objectif de faire ressortir les grandes tendances et points importants à relever pour le travail qui est demandé par le service (SFCEP). Des différences sont notables entre les gardes du Valais Central et ceux du Bas-Valais sous les influences des ingénieurs forestiers en poste dans les arrondissements et des conditions naturelles.

Les gardes forestiers reconnaissent tous volontairement la fonction de protection du bois au sol, que celle-ci soit évidente ou non selon les expériences de chacun et les contextes. C'est d'ailleurs pour cet objectif que certains gardes laissent parfois du bois au sol, avant le développement de la pratique à la suite de la RPT et EFFOR2 (nouvelle politique de subventionnement axée sur l'efficacité, mise en œuvre en 2008). Néanmoins ces expériences sont minoritaires et la grande majorité des gardes ne laisse du bois au sol volontairement que depuis EFFOR2. En effet, le système d'octroi des subventions était précédemment aux mètres cubes exploités (n'encourageant donc surtout pas à laisser du bois en forêt) et est passé à un forfait par hectare traité. Bien que la fonction de protection soit reconnue, de même que l'intérêt du bois en décomposition pour le rajeunissement, l'effet positif pour la biodiversité n'est quasiment pas cité. Cela peut s'expliquer par la naturalité sous-jacente des forêts de montagne.

#### *L'utilisation du bois au sol dans la pratique*

Depuis 2008 et le développement de la pratique, les gardes ont trouvé chacun leur organisation, dépendante de leur structure et des peuplements de leur triage. Il en ressort que chacun fait selon son ressenti, avec parfois peu de connaissances approfondies au sujet du bois au sol. Cela met en évidence le besoin de communiquer à ce sujet en faisant circuler au maximum les informations. Le moyen le plus efficace semble encore être l'intervention de l'ingénieur forestier au moment du martelage, avec la présence des bûcherons du triage. Cet exercice est l'occasion d'échanger sur l'intérêt de la pratique et sa manière de mise en œuvre, avec le point de vue plus large de l'ingénieur (qui accède plus volontairement aux formations), l'éclairage organisationnel et technique du garde et la vision du terrain des bûcherons. Cette étape est aussi cruciale pour définir, selon le contexte local, la nécessité plus ou moins forte de bois au sol, et sa localisation (plus précisément que lors de la planification par le garde). Lors du chantier il s'avère que les gardes ont recours globalement aux mêmes organisations, dont les grandes lignes sont les suivantes :

- Lors d'un débardage par câble, le bois utilisé au sol est traité par les bûcherons du triage après le débardage :
  - Moins de pression pour la sortie des arbres au sol (quantité laissée minimale)
  - Meilleure connaissance de la mise en place des bois au sol
  - Nettoyage de la coupe (arbres blessés, mâts, fermeture de la ligne...)
  - Abattage facilité
  - Sélection d'arbres en dehors des ouvertures (dont le traitement est possible lors de la coupe car ils ne créent pas d'obstacle au débardage)
  - Surveillance de l'entreprise de débardage pour ne pas toucher aux arbres marqués « sur place »
  - Utilisation éventuelle de la ligne de câble avant son démontage pour la mise en place d'arbres dangereux, au cas par cas ;
- Lors d'un débardage par hélicoptère, le bois utilisé au sol est traité pendant la coupe :
  - Pas de pression de sortie des bois car difficulté d'exploitation et surcoûts importants (quantité de bois au sol importante)
  - Pas de gêne physique des arbres au sol
  - Éventuelle utilisation de l'hélicoptère pour quelques mouvements d'arbres au sol nécessaires
  - Chantier réalisable « en plein »

- Nettoyage des arbres endommagés par le débardage (bourrasques dues à l'hélicoptère) ;
- Lors d'un débardage au tracteur, le chantier est quasiment toujours réalisé par les triages en une fois :
  - Pression de sortie d'un maximum de bois (importance que le besoin de bois au sol soit bien défini)
  - Arbres au sol au fur et à mesure du débardage
  - Nettoyage de la coupe.

Pour ce qui est de la mise en place du bois au sol, voici les indications données par les gardes, confirmées par les forestiers-bûcherons :

- Les bois prioritairement mis au sol sont ceux de mauvaise qualité avant tout, vient ensuite la pertinence en termes de protection,
- Les consignes ne sont pas claires par rapport à la direction d'abattage (angle dans la pente), mais les retours d'expérience indiquent que cela n'a pas de grande importance par rapport au mouvement des bois. Tout dépend de l'effet recherché (arbre dans la pente plus efficace pour le rajeunissement et moins pour la protection des chutes de pierres). Les arbres en travers sont évités en contexte de chute de pierres,
- Les ancrages naturels sont privilégiés, mais sinon les branches suffisent dans la majorité des cas à retenir la grume,
- Les souches sont quasiment toujours coupées hautes,
- Les arbres et souches sensibles (épicéa, pin) sont généralement striés, ce qui ne semble pas toujours nécessaire, mais efficace si bien fait,
- Les grumes sont ébranchées grossièrement pour l'accessibilité et le striage (et l'aspect visuel s'il y a un enjeu social à proximité),
- Le billonnage est utile dans le cas de forts microreliefs pour limiter la hauteur des grumes.

Les réponses des gardes montrent donc que la mise en œuvre du bois au sol est simple avec pour but de limiter au maximum les coûts. Ceci est un point important puisque dans de nombreux cas le bois est laissé au sol à cause du déficit d'exploitation. C'est souvent une motivation non négligeable vu le contexte économique actuel du marché du bois et le peu de débouchés locaux. De nombreux gardes ont indiqué qu'ils ont du mal à trouver des débouchés pour les bois de qualité moyenne. Cela met alors en évidence la nécessité de bien différencier le besoin de bois au sol pour la protection, le rajeunissement, la biodiversité... qui peut se limiter à une proportion des coupes ; et les bois abandonnés au sol car déficitaires.

### *Le bois au sol, son image et la communication*

Lorsque le bois au sol est abandonné (pour cause économique) cela représente de gros volumes, donc un impact visuel important et un « gâchis », qui sont les premiers points négatifs soulevés par les gardes et la population. Le besoin de bois au sol (pour les fonctions citées précédemment) et le contexte économique ont des effets qui se confondent lors des coupes en forêt. Malheureusement le bois au sol résultant des exploitations déficitaires tâche les nombreux effets positifs d'une utilisation même modérée du bois au sol, de par l'aspect visuel de travail mal fait et le gâchis d'une énergie durable. Il semblerait alors important de bien communiquer sur ces points pour préciser les motivations volontaires à l'utilisation du bois au sol (qui

peuvent se combiner à l'exploitation partielle du bois) et les causes involontaires d'abandon de bois au sol (synonyme de « gâchis »).

La communication autour de la forêt et son effet protecteur, lié au bois au sol est déjà bien développée, sous différents supports :

- Brochures
- Vidéos
- Posters
- Exposition itinérante
- Panneaux
- Documents techniques
- Séances d'information...

Il s'agirait alors de regrouper ces supports, pour les rendre plus facilement accessibles aux gardes et populations locales. Ceci a notamment été évoqué par des gardes et membres de bourgeoisies, estimant que le canton devrait améliorer la communication en tant qu'autorité exigeant la gestion des forêts de protection selon des directives particulières. Une proposition a aussi été faite pour adapter les supports aux médias efficaces actuellement, tels que les réseaux sociaux avec de petits spots rapides et simples. Cependant tous les triages ne ressentent pas forcément le besoin de renforcer la communication autour de ce sujet, les mentalités évoluant et l'information au public étant assurée par l'équipe du triage.

### *L'utilisation du bois au sol et le rôle crucial des forestiers-bûcherons*

En outre il est ressorti des entretiens que les forestiers-bûcherons ne sont pas toujours bien convaincus de l'utilité du bois au sol, ce qui ne facilite pas sa mise en œuvre efficace et son acceptation par la population. Le classeur NaiS, base des recommandations de gestion des forêts de protection, n'est presque pas connu par les bûcherons, qui pourtant mettent en œuvre ces recommandations sur le terrain. L'enquête fait surgir le manque de communication entre les gardes et les bûcherons au sujet du bois au sol, et plus largement des interventions en forêt de montagne. Les bûcherons n'ont quasiment pas accès aux réflexions en amont des travaux, ou alors sans réelles explications parfois. Cela met en évidence l'importance de développer la formation des bûcherons au sujet des forêts de protection et des intérêts du bois au sol. Cela permettrait d'améliorer et conforter la mise en place, sur le terrain, du bois au sol, tout en optimisant la communication aux populations par le biais des bûcherons qui sont les plus souvent confrontés aux remarques et questions. Cette formation peut aussi se faire par l'intervention des ingénieurs forestiers lors des martelages, si les bûcherons participent aussi. Elle présente l'avantage de créer un échange continu et circulaire au sein des acteurs de la gestion. Des gardes ont d'ailleurs évoqué l'intérêt de faire des visites des chantiers après réalisation, voire quelques années plus tard, avec l'équipe de bûcherons et l'ingénieur forestier, pour échanger et compléter les visions de chacun sur l'utilité du bois au sol. Ces visites seraient encore plus utiles si les bûcherons avaient aussi participé au martelage et à la réflexion sur la mise en œuvre de l'intervention.

### *Le bois au sol comme lit de germination*

Les gardes interrogés sont tous plutôt conscients de l'intérêt du bois mort en décomposition pour l'installation du rajeunissement en montagne, et particulièrement dans des contextes de milieux riches avec fortes concurrence des herbacées et arbustes (stations de type mégaphorbiaie). Le bois mort propose un lit de germination où la concurrence est moins forte, avec des conditions de croissances optimales (humidité, disponibilité en minéraux, mycorhization dans le cas des souches, microclimat favorable à la fonte rapide de la neige, protection physique contre la reptation du manteau neigeux...). Par ailleurs, malgré l'effet reconnu, les gardes ont du mal à estimer le temps nécessaire pour l'installation de semis viables sur le bois mort. Les ordres de grandeurs abordés tournent autour de 20 à 30 ans, voire plus, ce qui semble long par rapport au besoin rapide de rajeunissement lors de la création des ouvertures (protection et renouvellement du peuplement).

### *La quantité minimale de bois au sol trop rigide*

Lors des entretiens, et notamment en confrontant les deux arrondissements, il est apparu que la quantité de bois à utiliser sur place était difficilement définie. Les obligations citent dix pourcents du volume de la

coupe, mais sans vraiment préciser les éléments à prendre en compte (grumes, souches et branches). Il est évident que les branches (rémanents), grumes et souches n'ont pas les mêmes effets. Il est donc important de bien redéfinir la quantité de bois à laisser au sol, en précisant les objets. Les branches par exemple n'ont que très peu d'effet pour la protection, mais sont intéressantes en termes de biodiversité. Du reste, l'indicateur en pourcentage de volume de la coupe ne semble pas vraiment adapté, puisqu'il dépend directement des peuplements en place et de leur diamètre moyen, alors que les effets escomptés sont généralement plutôt liés à une densité (densité d'obstacles, surface de lit de germination). Certains gardes prennent en compte les souches dans leur décompte du volume de bois utilisé au sol, mais ces volumes sont estimés « à dire d'expert », sans réels calculs appropriés. Parallèlement, l'indicateur utilisé devrait rester en lien direct avec les effets escomptés et le contexte local (microrelief, bois mort au sol antécédent). Les gardes estiment que l'obligation de dix pourcents n'est pas assez adaptable au contexte local. Cette remarque est à nuancer puisque l'obligation n'est valable que dans le cadre des forêts de protection, dans lesquelles le bois au sol aura toujours un intérêt, au moins pour l'effet protecteur (sauf dans le cadre des quelques zones non protectrices englobées pour la pertinence des périmètres). Il s'agit donc de bien définir les motivations de l'utilisation du bois au sol (attention notamment aux problématiques de bassin versant et embâcles), ce qui a son importance pour la responsabilité des triages. Les gardes semblent particulièrement intéressés pour préciser le formulaire 2 NaiS au sujet du bois au sol en faisant clairement l'état des lieux de l'existant et de la quantité nécessaire résultante de bois au sol (selon l'aléa en question).

### *La responsabilité du bois utilisé au sol et son suivi*

En effet, les gardes sont soucieux de leur responsabilité vis-à-vis du bois laissé au sol qui peut s'avérer créer un risque s'il se met en mouvement. Cette considération prouve qu'il faut bien définir les cadres de l'utilisation du bois au sol, tout en restant suffisamment large pour garder une flexibilité selon les contextes naturels. Les gardes ont alors fait remarquer l'importance de la présence de l'ingénieur forestier lors des martelages, notamment en forêt privée, pour les soutenir face aux propriétaires qui ne sont pas toujours compréhensifs. Cela est d'autant plus vrai par rapport à la responsabilité des arbres marqués.

Par ailleurs, les gardes se soucient aussi de l'évolution des bois au sol qui se dégradent avec le temps dont les effets protecteurs recherchés et leur stabilité en subissent les frais. Le bois laissé au sol volontairement pour la protection devrait alors être suivi pour s'assurer qu'il ne devienne pas un risque. De même ce suivi est nécessaire pour une éventuelle purge des éléments dangereux (blocs instables sur du bois mort ou grumes instables). Ce suivi se justifie de la même manière que pour les ouvrages de génie civil, à partir du moment où le bois au sol est recommandé. Cela permettrait aussi d'envisager des interventions plus fines et plus rapprochées dans le temps. Les peuplements pourraient alors être moins déstabilisés et le bois au sol renouvelé selon sa décomposition.

Les aspects de suivi et entretien du bois au sol sont directement liés à l'économie des travaux envisagés. Les interventions avec seulement abattage et mise en place du bois au sol sont largement couvertes par les subventions allouées. Le surplus éventuel permet alors de couvrir les frais fixes de l'exploitation. Il est aussi envisageable que les subventions couvrent la première intervention et deux ou trois retours pour l'entretien du bois au sol et les soins au peuplement avant de revenir pour une récolte. Plusieurs gardes ont évoqué l'intérêt de pouvoir revenir assez rapidement (10 à 15 ans environ) pour suivre et assurer les résultats de l'intervention précédente (notamment l'évolution du rajeunissement), ce qui correspondrait avec l'entretien des ouvrages du bois au sol (puisque les gardes estiment l'efficacité du bois au sol sur 10 à 15 ans pour les résineux).

Par rapport à ce sujet de suivi, il a aussi été question de pouvoir évaluer l'évolution du bois mort dans le temps. La bibliographie donne quelques indications sur les vitesses de décomposition, mais qui ne sont pas toujours faciles à mettre en relation avec la résistance des bois et leur efficacité en termes de protection (chutes de pierres et reptation du manteau neigeux), mis à part les travaux de Putallaz (2010) et Bigot (2014). Une autre interrogation s'est portée sur le temps nécessaire avant l'installation des semis sur le bois mort, les ordres de grandeurs s'étalant de 15 à plus de 30 ans.

## II.3. Bilan des données disponibles et questions à approfondir

Les gardes se sont déjà bien adaptés à l'utilisation du bois mort au sol et il est possible d'en faire ressortir les points principaux. Des différences existent puisque chaque triage s'adapte à ses peuplements et à ses ressources matérielles et humaines. La mise en œuvre pratique du bois au sol (hauteur des souches, direction des bois, ébranchage, striage...) suit, elle aussi, des tendances pour l'ensemble des triages, mais pourrait être précisée grâce aux données bibliographiques récoltées. Au sujet de l'obligation de bois au sol et des indicateurs utilisés, la bibliographie permet encore une fois de préciser les choses. Finalement, la communication auprès du public, qui semble importante pour certains gardes, est loin de faire défaut à tous. Étant déjà bien développée, celle-ci sera rassemblée pour faciliter son accès.

Néanmoins si les gardes sont plutôt bien convaincus de l'utilité du bois au sol, ceux-ci sont particulièrement sceptiques sur la durabilité de l'efficacité. La bibliographie permet de répondre en partie à cette interrogation grâce aux travaux sur la décomposition du bois mais la diversité des conditions climatiques et des peuplements de l'arrondissement n'aide pas à appliquer cette littérature. De plus, les intérêts, essentiels, de l'utilisation du bois au sol pour l'installation du rajeunissement sont prouvés, mais encore peu étudiés précisément. Les gardes s'interrogent quant au laps de temps nécessaire à l'installation des semis viables sur les pièces de bois mort en décomposition.

Ce pourquoi il a semblé intéressant d'étudier l'évolution des bois laissés au sol dans le Bas-Valais, avec le recul maintenant de dix ans sur le développement de la pratique, sous les deux angles suivant :

- La décomposition
- La venue du rajeunissement sur le bois en décomposition.

Ces deux aspects sont fondamentaux pour organiser la gestion, en termes de venue du rajeunissement (principalement en contexte de mégaphorbiaie), objectif majoritaire des interventions actuelles ; et d'éventuel suivi et entretien des bois utilisés au sol pour la protection.

## III. L'analyse d'efficacité sur le terrain de l'utilisation du bois au sol

### III.1. La démarche suivie pour le travail de terrain

Le travail de terrain s'est organisé pour deux objectifs majeurs :

- Apporter de nouvelles données sur la décomposition des essences selon les conditions climatiques et l'installation du rajeunissement sur le bois mort :
  - Quelle est la durée d'efficacité du bois au sol pour la protection contre les chutes de pierres et la reptation du manteau neigeux, selon les conditions climatiques ou essences ?
  - Quelle est la durée nécessaire avant l'installation de semis viables sur le bois en décomposition ?
- Faire un point sur l'efficacité du bois au sol sur les surfaces traitées avec du bois utilisé sur place.

Parallèlement le travail de terrain a été l'occasion de préciser les mesures de volumes de bois mort présent dans les forêts du Bas-Valais. Notamment sur la question du volume représenté par les souches hautes. En

effet, lors de l'enquête, il s'est avéré que les gardes ne comptaient, pas tous, les souches dans le bois utilisé au sol. Certains revendiquaient alors une injustice sur les décomptes réalisés au sein des différents triages. Afin de régulariser cette situation, il a été décidé de créer un tableur permettant d'approcher le volume des souches hautes en les considérant comme des cylindres de un mètre de hauteur et de diamètre correspondant à celui mesuré lors du martelage (à 1,30 m). Les relevés des souches sur le terrain pourront alors vérifier la justesse du modèle utilisé et éventuellement déterminer une équation correctrice pour préciser les valeurs obtenues.

#### III.1.a. Présentation du protocole établi pour l'étude

Le protocole se présente en trois phases distinctes. Dans un premier temps, et dans le but de faire le point sur l'efficacité des interventions et du bois mort en place, il s'agit de récolter un maximum de données générales sur le relevé (contexte). Ensuite, le protocole se concentre sur les pièces de bois mort au sol afin d'étudier leur décomposition et efficacité. Finalement ce sont les semis installés sur les pièces de bois mort au sol qui sont inventoriées pour analyser les conditions favorables à leur installation et le temps associé nécessaire.

##### *Le contexte du relevé, échelle de l'ouverture*

Les points suivants sont à relever à l'échelle de l'ouverture, puisque la grande majorité des relevés ont été effectués dans des ouvertures réalisées pour l'installation du rajeunissement. Outre les données très générales (date, lieu, nom de l'agent, coordonnées GPS), le protocole s'intéresse à la taille de l'ouverture : largeur et longueur dans la pente, au microrelief puis au peuplement adjacent (composition, stratification et rajeunissement naturel) afin de pouvoir comparer le rajeunissement de l'ouverture au peuplement en place. Ensuite il s'agit de se concentrer sur la végétation de l'ouverture, arbustive et herbacée en indiquant leur recouvrement respectif, leur composition et leur hauteur moyenne. La première partie du protocole se termine enfin par un indicatif de l'abroustissement observé dans l'ouverture, sur l'ensemble de la végétation. Certaines données complémentaires (notamment climatiques) ont été recueillies directement par informatique : la date du chantier, l'exposition, l'altitude, les précipitations annuelles moyennes (données raster provenant de l'Atlas Hydrologique de la Suisse, sur la période 1951-1980), la pente, la station forestière, la densité, la hauteur moyenne, le volume et le diamètre moyen du peuplement (à partir de données Lidar récoltées en 2001 et 2005).

##### *Le relevé des pièces de bois mort au sol*

Chaque pièce de bois mort au sol, présente dans l'ouverture, est inventoriée. Cependant il faut particulièrement faire attention à ne s'intéresser qu'à celles dont l'origine est certaine (souches et grumes abattus lors de l'intervention dont l'année est connue). Pour chacune de ces pièces il faut alors indiquer, dans la mesure du possible, l'essence (catégorie résineuse ou feuillue dans le cas d'une reconnaissance impossible). La classe de décomposition est déterminée à l'aide des classifications élaborées par Maser et Trapp (1984) et adaptées aux souches par Gensac (1990). Ces deux classifications se trouvent en Annexe 5. Souches et arbres au sol sont différenciés puis le diamètre (à mi-distance pour les grumes et à hauteur de coupe pour les souches) et la hauteur (moyenne estimée sur la longueur pour les arbres au sol) sont mesurés. Pour les grumes, la longueur, l'angle dans la pente, le nombre d'ancrage ainsi que le contact au sol (total, partiel ou absent) sont renseignés. Ensuite il s'agit d'indiquer par oui ou non la présence de mousse, champignons, écorce, striage, terre et végétation recouvrant le bois (dans ce cas l'espèce majoritaire est indiquée). Ces données pourraient renseigner sur la décomposition ou l'aptitude du bois à servir de lit de germination. Pour le même objectif, l'ensoleillement en nombre d'heure en juin et relevé (à l'aide d'une boussole solaire). Finalement les pierres stoppées par la pièce de bois sont comptabilisées en indiquant les dimensions minimales et maximales. Le protocole prévoit aussi de relever les éventuels impacts (en définitive abandonné pour la difficulté à caractériser les causes des traces observées, d'autant plus sur des bois décomposés). Les pièces de bois qui seraient cassées (en estimant la cause d'une pierre) sont désignées.

### **Le rajeunissement sur le bois mort**

Dans le but de répondre à la question du délai nécessaire à l'installation du rajeunissement sur le bois mort, tous les semis observés sur les pièces de bois au sol sont inventoriés. Il s'agit alors d'attribuer les semis à une pièce inventoriée précédemment afin de pouvoir étudier l'effet du support de germination sur la mise en place du rajeunissement.

Chacun des semis installé sur du bois mort (dont la date de la coupe est connue, et ayant fait l'objet des relevés explicités précédemment) fait l'objet des observations suivantes :

- L'essence
- La hauteur (de la base à l'apex)
- La hauteur de pied (du sol à la base du tronc)
- L'âge estimé (verticilles des résineux et anneaux de croissances des feuillus)
- La présence ou absence de marques d'abrutissement (oui ou non)
- L'avenir probable du semis (oui ou non)
- La marque de dégâts dus à la neige (oui ou non)
- La longueur de la pousse terminale (permettant parallèlement d'estimer l'avenir du semis).

L'ensemble de ces paramètres relevés pour les semis sur bois mort apportent les éléments nécessaires pour définir leur vitalité et leur viabilité, selon la pièce de bois sur laquelle ils sont installés. Par ailleurs, les semis sur bois mort peuvent être comparés à la venue du rajeunissement dans l'ensemble de l'ouverture observée.

Le protocole retenue se trouve en Annexe 6. Les relevés ont été effectués avec une application de tableur sur un smartphone afin de limiter au maximum les erreurs de saisie ainsi que le temps nécessaire à l'intégration des relevés sur l'ordinateur. Les tableurs utilisés pour les relevés se trouvent en Annexe 6.

### **III.1.b. Le recueil des chantiers intéressants**

Les surfaces intéressantes pour les relevés ont été dans un premier temps indiquées par les gardes lors des entretiens. Pour cela il leur a été demandé si possible des chantiers réalisés avant 2010. Le protocole a été construit par rapport à ces chantiers, principalement avec exploitation partielle au câble, dont les dates vont de 2008 à 2012. Durant la phase de préparation du protocole, cela a été l'occasion de rechercher, dans les archives du service, d'autres chantiers plus vieux où du bois aurait été laissé au sol. Finalement un document, datant de 2009, élaboré par Roland METRAL pour le projet Interreg IV recense des chantiers avec du bois laissé au sol de 1988 à 2008. Ce document a servi de base à la moitié des relevés réalisés puisque les chantiers indiqués par les gardes se sont avérés moins intéressants car trop récents (2009 et plus) pour les questions retenues.

Les relevés effectués ont couvert un maximum l'ensemble du territoire du Bas-Valais. Cela permet alors de retrouver les conditions climatiques diverses de l'arrondissement et par conséquent des peuplements variés. Malheureusement le temps nécessaire pour chaque relevé n'a pas permis, avec la durée du stage et l'enquête préalable, de se déplacer dans chacun des triages. De plus, il a été parfois très difficile de retrouver les surfaces les plus anciennes à cause d'interventions plus récentes ou de l'évolution de la végétation.

### **III.2. Analyse et résultats des relevés effectués sur les chantiers du Bas-Valais**

Les tableurs issus des relevés ont été grossièrement aménagés sous le logiciel Excel avant d'être traités avec le logiciel R afin de pouvoir réaliser des études et graphiques statistiques plus poussés (les grandeurs informatiques utilisées ainsi que leurs significations et unités sont décrites dans le tableau en Annexe 8). La base de données créée comporte 14 relevés effectués dans le Bas-Valais et 2 dans la région de Chamonix-Mont-Blanc. Les relevés vont de 1000 à 1780 mètres d'altitude, avec un seul relevé à 600 mètres, pour des chantiers datés de 1988 à 2012 (5 à 29 ans). Les stations forestières en question sont des Hêtraies, Hêtraies-

Sapinières, Sapinières-Pessières et Pessières. Les relevés sont représentés sur la carte ci-après (Figure 8 : Carte des relevés effectués) et détaillés dans le tableau en Annexe 9.

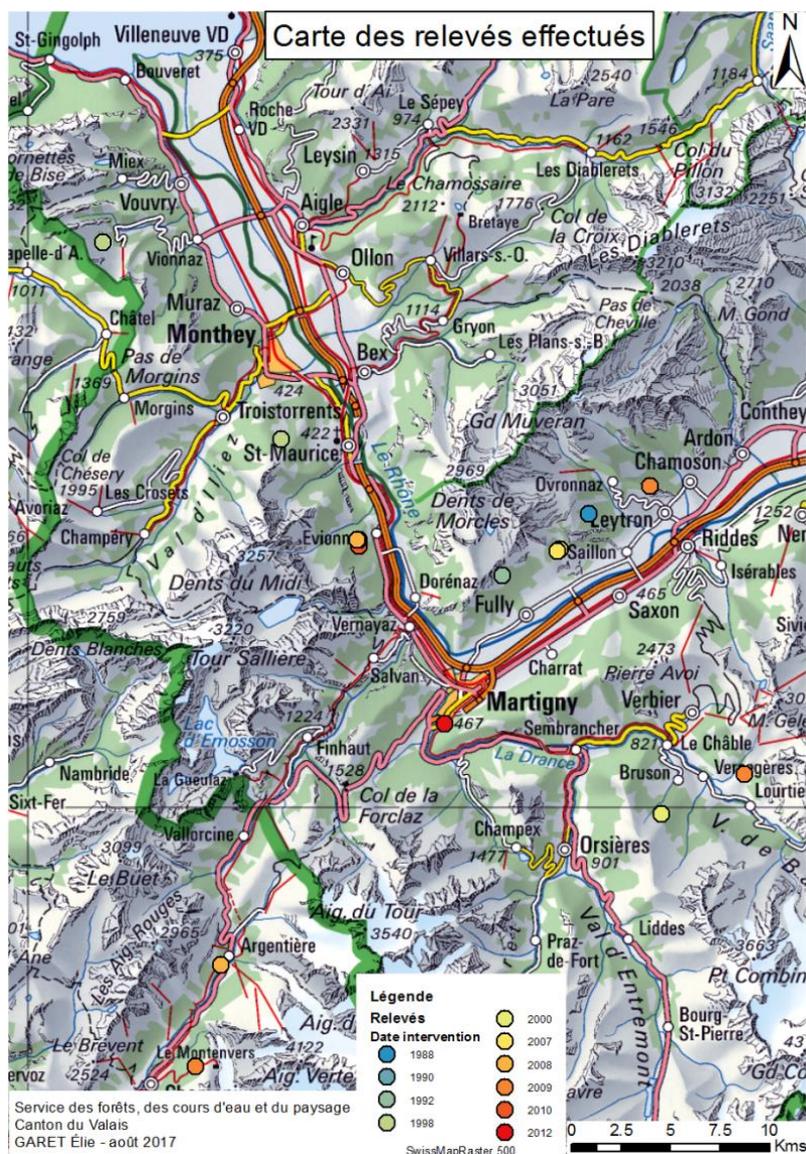


Figure 8 : Carte des relevés effectués

265 pièces de bois mort ont été inventoriées (130 souches et 135 arbres au sol), dont 83 pièces d'épicéa, 72 de sapin, 58 de résineux (espèce non reconnaissable), 26 de hêtre, 12 de mélèze et 9 de pin sylvestre. Le graphique suivant (Figure 9) indique la répartition selon le type de bois mort (souche ou arbre au sol) et les essences.

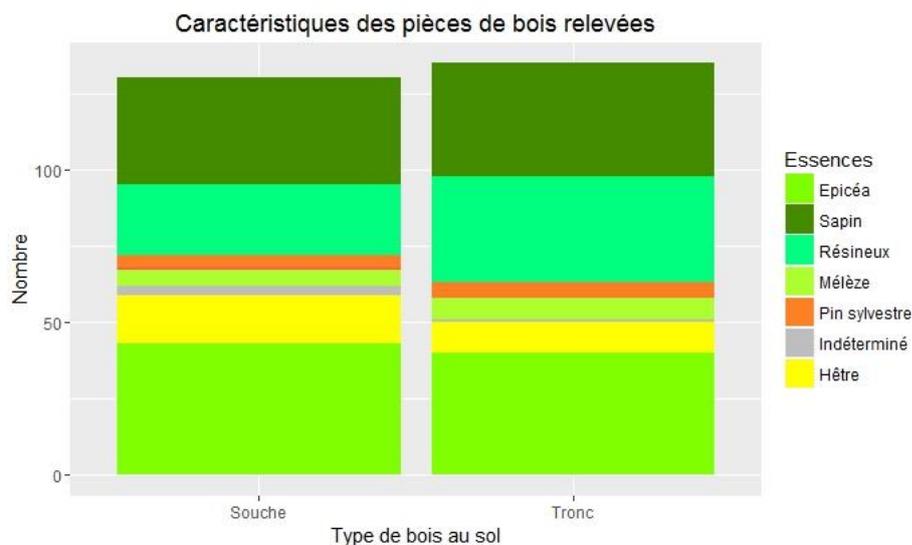


Figure 9 : Caractéristiques du bois mort inventorié

### III.2.a. La précision du calcul des volumes des souches

Dans le cadre de la prise en compte des souches dans le volume de bois utilisé au sol, le service souhaite créer un formulaire simple de calcul à partir des données disponibles à l'issu des chantiers. La formule retenue se base sur le volume d'un cylindre, fonction du diamètre et de la pente, avec une hauteur fixe. Les analyses de ces volumes approximatifs indiquent que la somme totale sous-estime en moyenne de 30 % le volume des souches calculé à partir de cônes tronqués. Il a alors été choisi d'utiliser les données récoltées sur le terrain, pour tenter de créer un modèle permettant d'obtenir un volume précis, à partir des données disponibles à l'issu des martelages (diamètre et pente pour le calcul d'un volume cylindrique).

Les 130 souches inventoriées non pas toutes été utiles pour la mise au point du modèle, puisque leur état de décomposition avancé empêchait parfois de réaliser l'ensemble des mesures nécessaires (hauteur aval, hauteur amont, diamètre à la coupe et diamètre au sol). Ainsi l'échantillon utilisé pour le modèle est composé de 95 souches, dont la répartition des essences, hauteurs et diamètres est représentée dans le graphique suivant (Figure 10).

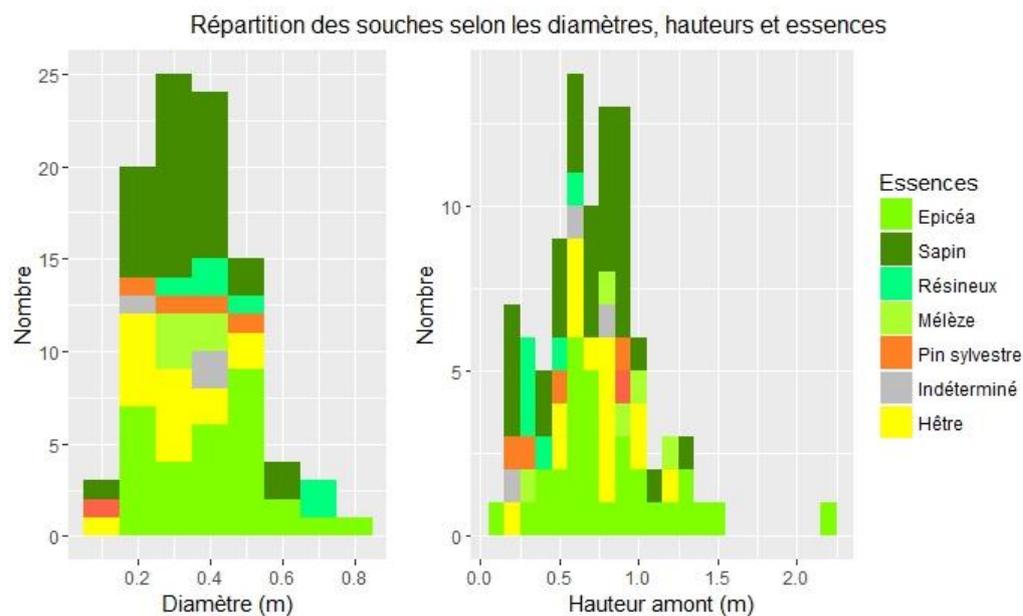


Figure 10 : Répartition des souches utilisées pour les volumes

Deux volumes ont été calculés à partir des mesures réalisées :

- Les souches sont apparentées à deux cylindres (dont un de moitié) selon le schéma ci-dessous (Figure 11). Le diamètre de coupe est estimé égal au diamètre mesuré à 1,3 m lors du martelage. La hauteur aval est estimée égale à un mètre puisque les hauteurs des souches ne sont pas mesurées lors des travaux forestiers. Le volume est calculé selon la formule suivante :

$$V_4 = \frac{\pi H D^2}{4} - \frac{\pi h_0 D^2}{8} \text{ avec } H = 1 \text{ et } h_0 = D \times \tan(\alpha)$$

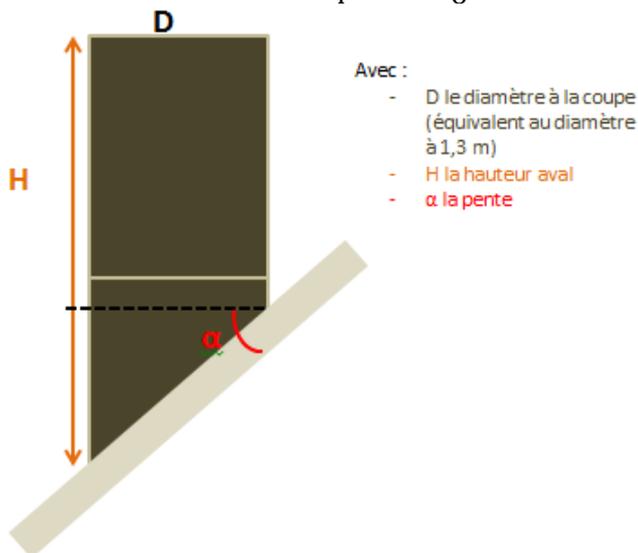


Figure 11 : Calcul du volume des souches à partir des données récoltées lors du martelage

- Les souches sont apparentées à deux cônes tronqués (dont un de moitié) selon le schéma ci-dessous (Figure 12). Les volumes des deux cônes sont alors sommés pour obtenir la formule suivante :

$$V_1 = \pi h \frac{(D^2 + Dd + d^2)}{12} + \pi h_0 \frac{(d^2 + dd_0 + d_0^2)}{24} \text{ avec } d_0 = d \frac{\frac{Dh}{d-D} + H}{\frac{Dh}{d-D} + h} \text{ et } h_0 = H - h$$

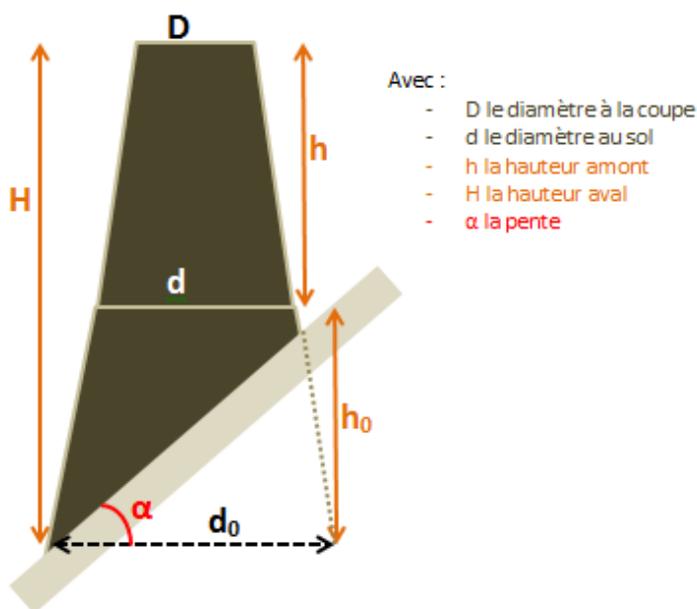
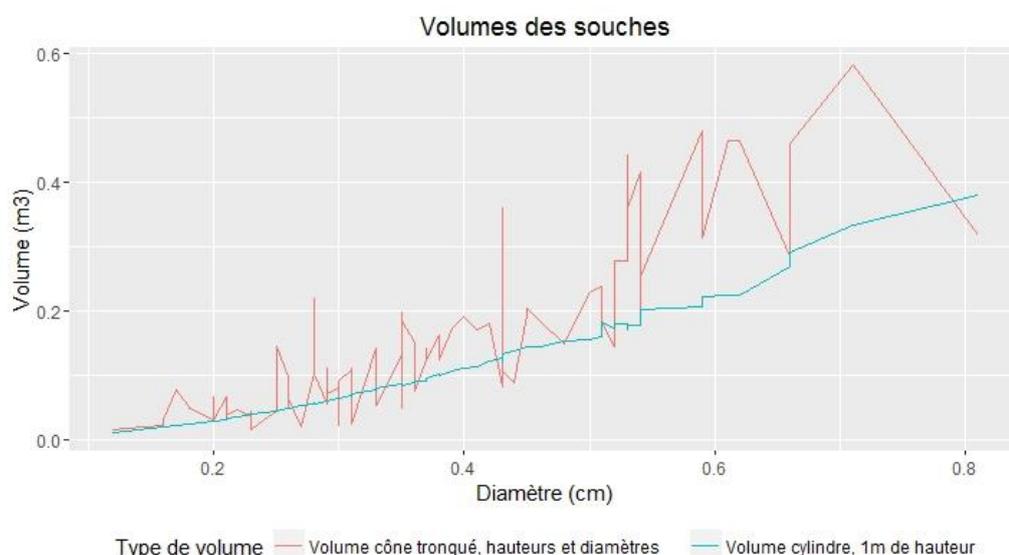


Figure 12 : Calcul du volume des souches apparentées à des cônes tronqués

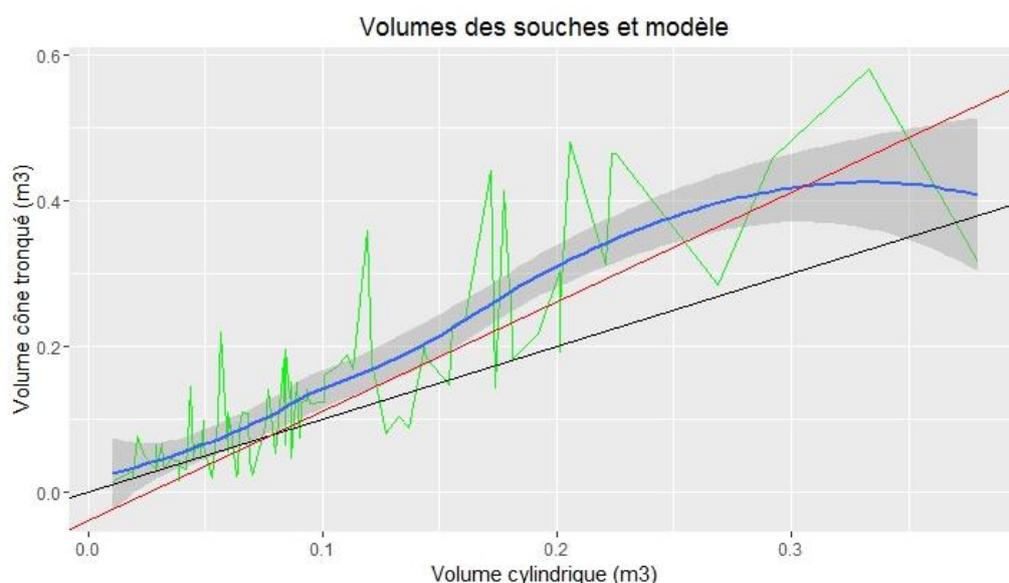
Le volume  $V_4$  (cylindrique) est majoritairement plus bas que le volume  $V_1$  (cône tronqué), en moyenne de  $0,045 \text{ m}^3$  (voir Tableau 3), soit une erreur relative moyenne de 29 %. Le graphique de la Figure 13 permet de visualiser l'évolution des deux volumes selon le diamètre à la coupe des souches. Afin d'obtenir le volume  $V_1$  à partir du volume  $V_4$  facilement calculable, la relation entre les deux grandeurs est étudiée à l'aide du graphique de la Figure 14 (courbe verte). Le modèle choisi correspond à une régression linéaire, dont la droite rouge est la représentation graphique. La courbe bleu représente la forme du modèle « idéal », proche d'une droite (d'où le choix du modèle linéaire, alors que d'autres modèles ont été testé sans meilleurs résultats). Enfin, la droite noire représente la fonction d'équation  $y = x$ .

**Tableau 3 : Statistiques de la différence entre le volume  $V_1$  et le volume  $V_4$**

| Minimum   | 1 <sup>er</sup> quartile | Médiane  | Moyenne  | 3 <sup>e</sup> quartile | Maximum  |
|-----------|--------------------------|----------|----------|-------------------------|----------|
| -0,062920 | 0,001642                 | 0,026280 | 0,045050 | 0,061940                | 0,275000 |



**Figure 13 : Graphique des volumes des souches en fonction des diamètres**



**Figure 14 : Graphique de relation entre les deux volumes calculés des souches**

Le modèle retenu a été construit à partir des volumes des souches sommés par classes de diamètres, ceci pour faciliter l'utilisation de la formule et surtout l'adapter aux données disponibles (les martelages sont souvent réalisés par classes de diamètres). De plus ce modèle apporte une meilleure prédiction. Voici l'équation retenue :

$$V_1 = -0,03921 + 1,50597 \times V_4$$

Cette formule permettra donc de définir plus précisément le volume correspondant aux souches hautes lors des interventions. Celui-ci pourra être utile pour prendre en compte les préconisations en termes de quantité de bois mort nécessaire, notamment pour la biodiversité puisque les indicateurs emploient le volume total de bois mort.

### III.2.b. L'installation significative du rajeunissement sur le bois mort

Dans le cadre de l'étude de l'efficacité du bois mort au sol, la question du délai préalable à l'installation du rajeunissement est cruciale. L'ensemble des relevés des semis installés sur le bois mort sont par conséquent étudiés afin de préciser les ordres d'idées donnés par les gardes (autour de 20 à 30 ans).

La matrice des corrélations (Annexe 10) ne donne pas de tendances très significatives (attention aux corrélations élevées entre les variables dépendantes deux à deux, notamment les variables mesurées à l'échelle des ouvertures : BM\_age, les variables climatiques et les pourcentages de recouvrement herbacé et arbustif). Par ailleurs, il est possible de remarquer que la viabilité des semis est bel et bien liée à l'âge du bois support (corrélations étudiées plus précisément par la suite). De la même manière, la mousse, qui s'installe plus facilement sur les bois dont l'âge est élevé et en présence de précipitations suffisantes est un bon indicateur pour l'installation des semis et leur viabilité (corrélations de 0,38 et 0,49). Selon la même idée, cette installation serait facilitée par l'altitude et les précipitations (corrélées deux à deux). Le recouvrement herbacé, inversement proportionnel au recouvrement arbustif semble aussi faciliter la mise en place du rajeunissement (attention néanmoins puisqu'il est corrélé aux précipitations et l'altitude). Ces observations sont confirmées par le graphique de l'analyse en composantes principales (Figure 15 et Annexe 11 pour une meilleure lisibilité). La matrice de corrélations partielles (Annexe 10) fait alors disparaître ces tendances. Les variables étudiées (liées au rajeunissement) n'ont pas de lien d'évolution avec les variables explicatives.

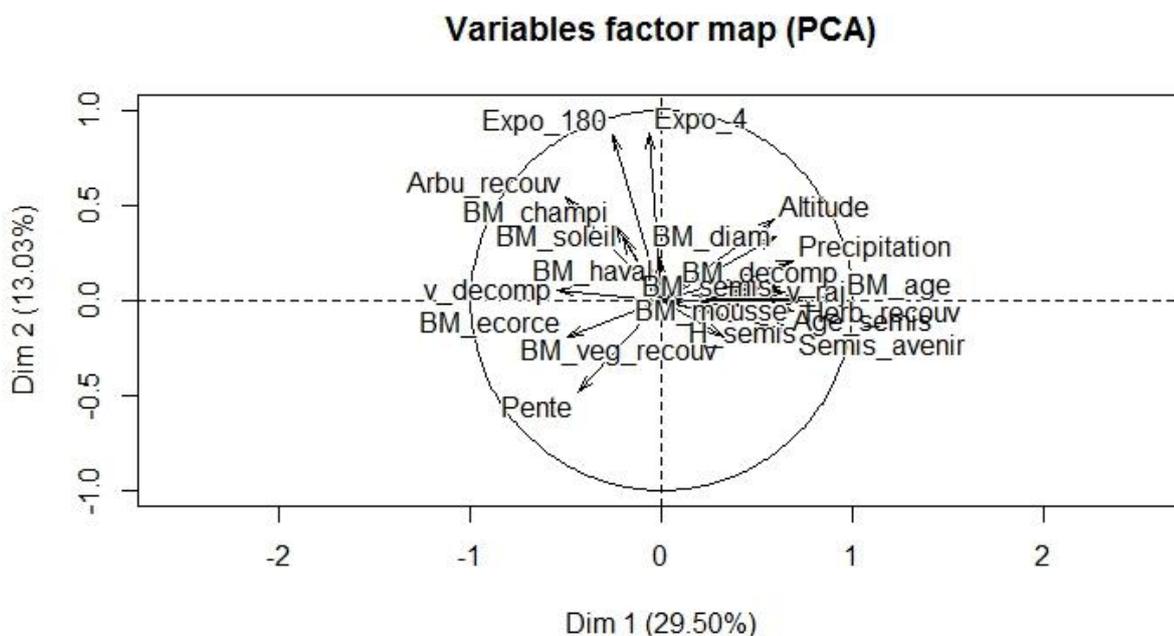


Figure 15 : Graphique de l'ACP sur les variables explicatives (Épicéa et Sapin, souches et arbres au sol)

Les données relevées ne permettent donc pas de mettre en évidence les facteurs influençant l'installation du rajeunissement, si ce n'est l'âge des bois. Il s'agit alors de chercher s'il existe un âge donné à partir duquel on peut espérer observer du rajeunissement viable sur les pièces de bois mort. Pour cela, une comparaison des pièces de bois supports de rajeunissement viable, ou non, est effectuée. La comparaison, illustrée par les graphiques de la Figure 16, est réalisée à l'aide du test de Student de comparaison de moyennes. Le test est concluant pour les souches, les arbres au sol et l'ensemble des pièces de bois mort. Il est par conséquent possible de conclure que le rajeunissement installé sur des pièces de bois mort de 20 ans (+/- 1,5) et plus est majoritairement viable (résultats des tests en Annexe 12). Parallèlement, les statistiques de la variable  $v\_raj$  (dans le cas de semis viables), indiquant l'âge du bois mort lors de l'installation du semis (Annexe 12), montrent que le rajeunissement est observé dès 4 ans, avec une moyenne de 14 ans. Ce qui signifie que l'on peut s'attendre à l'installation de semis viables sur le bois mort 14 ans après sa mise au sol.

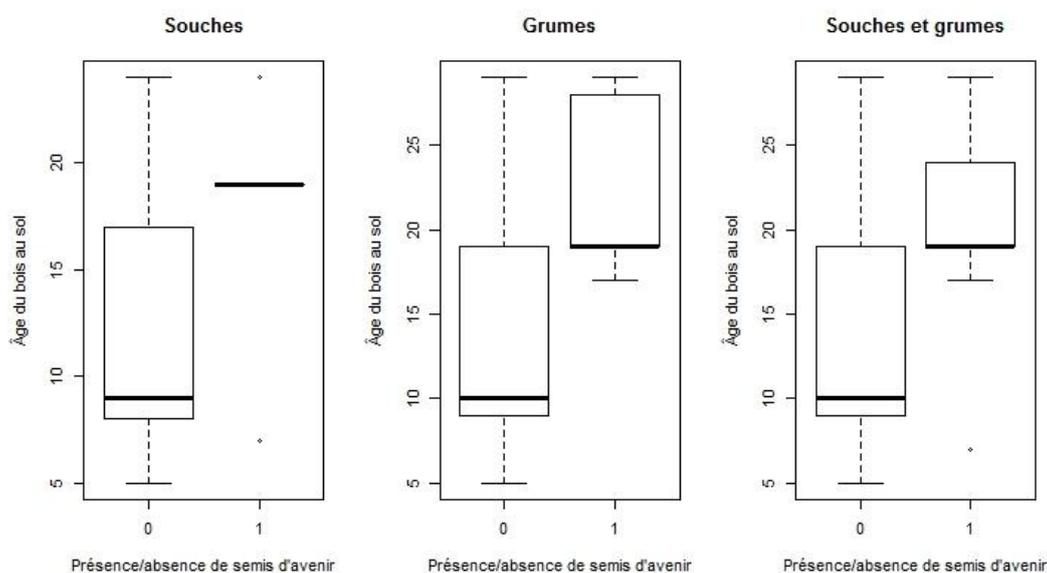


Figure 16 : Graphiques de comparaison des âges des pièces de bois mort supports de semis d'avenir ou non

Les différents tests permettent aussi de mettre en évidence une tendance légère d'installation plus rapide des semis sur les souches que sur les arbres au sol. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la décomposition des souches de haut en bas est plus rapide notamment du fait de l'orientation des fibres, ce qui permet de faciliter la descente des racines jusqu'au sol.

Ces résultats raccourcissent considérablement le délai estimé par les gardes pour l'installation du rajeunissement sur le bois mort. Ceux-ci parlaient de 30 ans, avec même parfois peu de conviction. Finalement il semblerait que les observations faites sur des chantiers de leurs triages soient les preuves d'un délai nécessaire plus court de l'ordre de 15 à 20 ans pour que le bois au sol soit propice à l'installation de semis viables.

Cette analyse est complétée par l'étude de l'âge d'installation du rajeunissement. Le graphique en Figure 17 permet de mettre en évidence la tendance d'implantation des semis sur le bois mort. Le modèle, établi à partir de l'ensemble des semis, expliquant l'âge du semis en fonction de l'âge du bois mort permet de déterminer l'âge prédit d'installation des semis (statistiques du modèle en Annexe 13). Il en ressort alors que les semis s'installent à partir de 8 ans et demi. Ceci est inférieur à la moyenne obtenue à partir des âges d'installation des semis viables qui est de 14 ans (Annexe 12). Cette même analyse effectuée seulement sur les semis viables n'est pas significative, alors que l'âge d'installation des semis viables du modèle est très proche de la moyenne de 14 ans indiquée en Annexe 12.

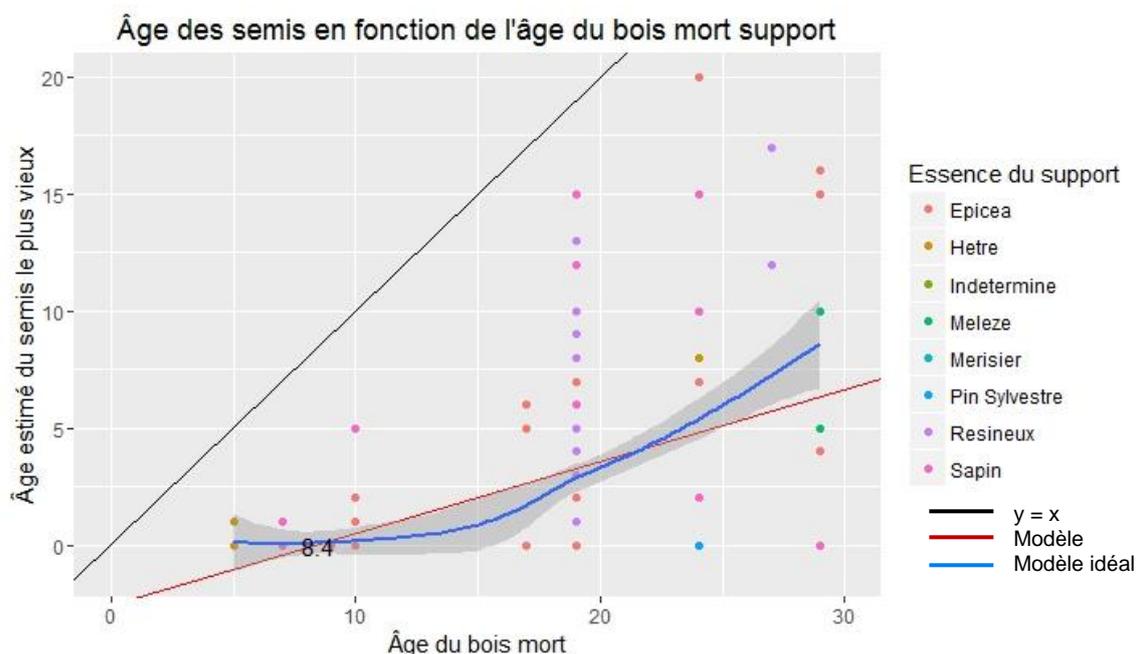


Figure 17 : Graphique représentant l'âge des semis en fonction de l'âge du bois mort support

### III.2.c. La décomposition du bois mort et son efficacité pour la protection

Le travail d'étude de la décomposition du bois au sol se base sur les classes de décomposition établies par Maser et Trapp (1984) pour les arbres au sol, ainsi que leurs adaptations pour les souches (Gensac 1990). Il a été choisi de s'appuyer sur ces classes de décomposition, car elles sont facilement identifiables sur le terrain et présentent des caractéristiques visuelles, assimilables à leurs efficacités de protection respectives. En effet, il paraît logique de considérer que la résistance du bois mort, par rapport aux aléas chutes de pierres et reptation du manteau neigeux, est très limitée à partir de la classe trois puisque cette dernière est définie par le fait que le bois se désagrège et s'écroule sous son propre poids.

Les relevés de résistance par le biais des éventuelles cassures ou marques d'impacts de pierre ne se sont pas avérés suffisamment fréquents pour pouvoir faire ressortir une tendance de résistance ou de casse des bois selon l'âge ou la décomposition. En s'intéressant aux matrices de corrélation en Annexe 9 (variables BM\_decomp et v\_decomp), on remarque que logiquement la variable la plus influente est l'âge du bois mort. Les autres, telles que les précipitations, l'altitude ou la présence de mousse, ont une influence relative, qui disparaît totalement en s'intéressant aux corrélations partielles. Certainement du fait des corrélations marquées aussi entre ces trois variables et l'âge du bois mort.

Avec les données à disposition il n'est donc pas possible de définir des variables pesant fortement sur la décomposition des bois. Il est alors possible de se concentrer sur l'évolution des classes de décomposition (et l'efficacité de protection par extrapolation) dans le temps. Pour cela les bois morts de différentes classes de décomposition sont comparés à l'aide de leurs moyennes (test de Student). Il en résulte des moyennes significativement différentes (résultats des tests en Annexe 14) pour chacune des classes de décomposition, sauf les classes 4 et 5 (Figure 18) :

- Classe 1 : 8 ans
- Classe 2 : 10 ans et demi
- Classe 3 : 16 ans
- Classe 4 : 20 ans
- Classe 5 : 18 ans et demi

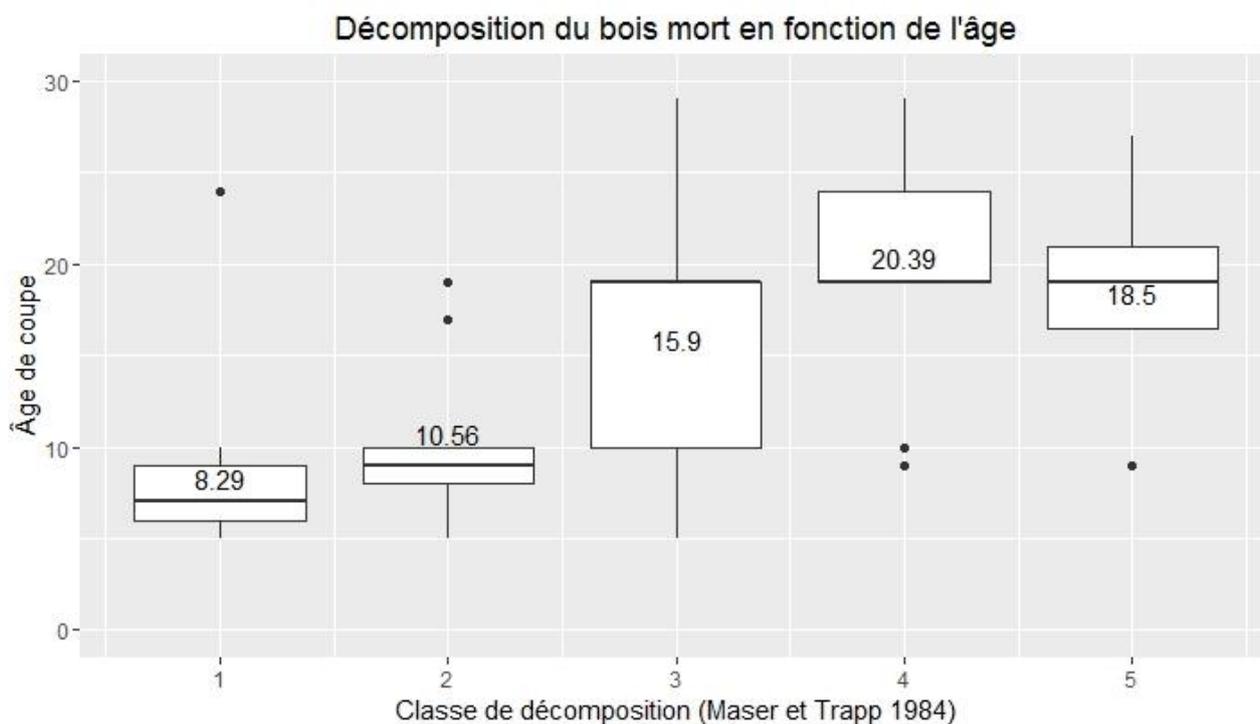


Figure 18 : Graphique de comparaison des âges moyens selon les classes de décomposition

Les résultats obtenus, en ne s'intéressant qu'aux essences les plus représentées (Sapin et Épicéa) sont semblables, sauf pour la moyenne de la classe 5 (égale à 22 ans), mais celle-ci n'est pas robuste puisque basée seulement sur 4 observations. Le graphique montre donc bien la durée pendant laquelle le bois au sol peut avoir un effet protecteur puisque les classes 2 et 3 sont bien séparées avec une différence de 4 à 7 ans (voir intervalle de confiance dans les résultats des tests en Annexe 14).

Vu la différence de données disponibles pour les essences résineuses et feuillus, il est choisi par la suite de ne s'intéresser qu'aux données concernant les Sapins et Épicéas (essences dont le comportement de décomposition est proche selon la littérature et les observations de terrain), soit 111 arbres au sol et 101 souches.

La vitesse de décomposition, calculée à partir du quotient de la classe de décomposition sur l'âge du bois mort, sera notre variable d'intérêt. Il s'agit alors de comprendre comment elle est construite et quels liens elle a avec les autres variables. La première variable qui semble influente est l'âge. Il est alors important de noter que la vitesse de décomposition a tendance à diminuer avec l'âge des bois morts (Figure 19).

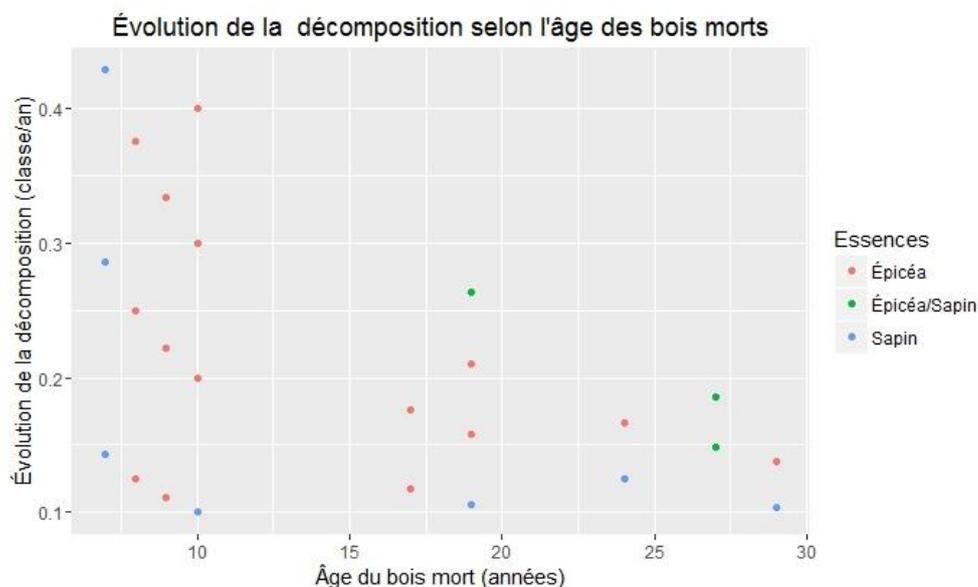


Figure 19 : Graphique d'évolution de la décomposition en fonction de l'âge

Lors des entretiens il avait été évoqué l'influence du contact au sol sur la vitesse de décomposition. Les graphiques suivants (Figure 20 et Figure 21) permettent de visualiser l'évolution de ces variables. Aucune tendance ne ressort de ces deux graphiques par rapport à une vitesse de décomposition plus rapide pour les bois totalement au sol. Parallèlement, ces deux graphiques mettent en évidence le fait que les bois âgés et plus décomposés sont plus nombreux à toucher complètement le sol. Les graphiques confirment l'intérêt de la distinction entre les classes 2 et 3 par rapport à la résistance des bois et leur hauteur pour l'effet de protection (pour autant que tous les bois aient été disposés plutôt en hauteur à l'origine).

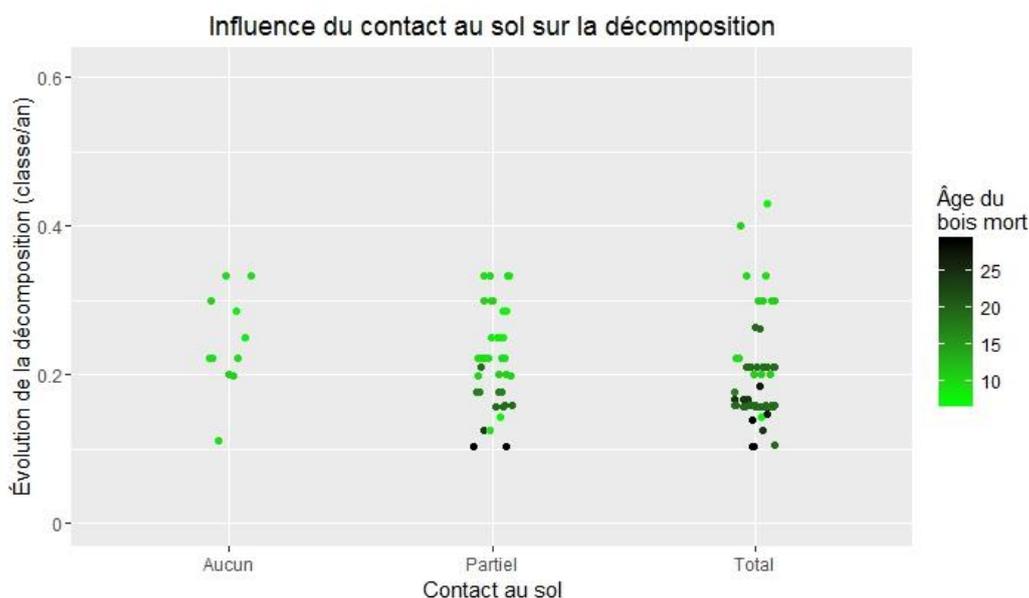


Figure 20 : Graphique représentant la vitesse de décomposition selon le contact au sol des arbres au sol

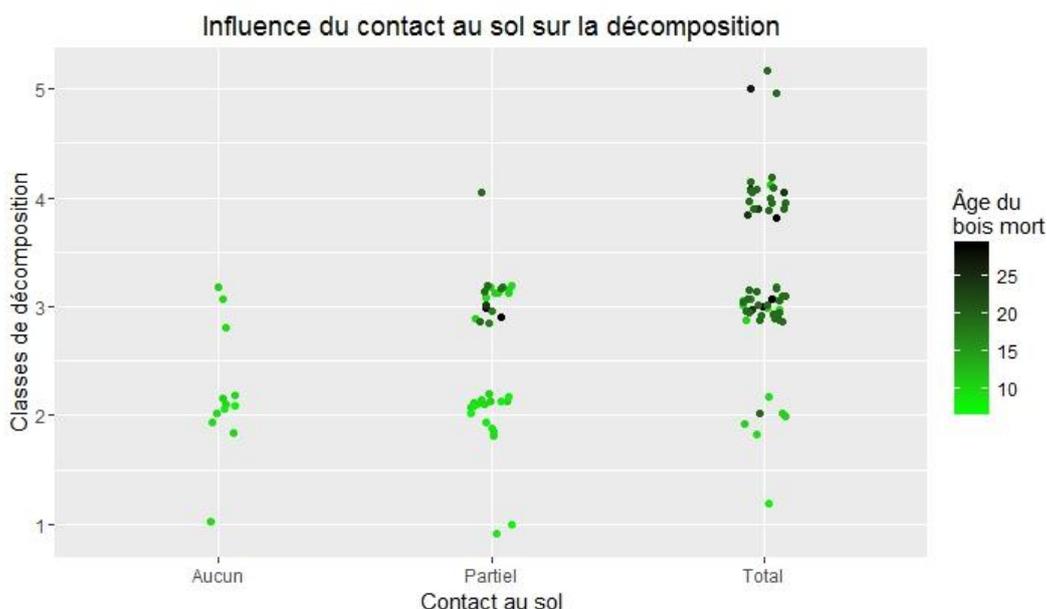


Figure 21 : Graphique de la répartition des classes de décomposition selon le contact au sol et l'âge des arbres au sol

La bibliographie évoque aussi l'influence des dimensions des pièces de bois sur la vitesse de décomposition. Les graphiques suivants (Figure 22 et Figure 23) représentent ces évolutions pour les souches et arbres au sol d'Épicéas et Sapins. Ces coévolutions sont testées à l'aide d'analyse de variance et modèles, dont les statistiques sont regroupées en Annexe 15. Il ressort de ces analyses deux variables dimensionnelles influençant la vitesse de décomposition.

Dans le cas des souches, la hauteur augmente la vitesse de décomposition, alors que le diamètre ne présente pas d'effet particulier (Figure 24). Cependant, le modèle ne peut en rien prédire la décomposition à partir de la hauteur seulement. L'effet de la hauteur peut s'expliquer par le fait que ce sont surtout les souches jeunes qui sont hautes, et donc celles dont la vitesse de décomposition est rapide (la vitesse de décomposition décroît avec l'âge).

Pour ce qui est des arbres au sol, les dimensions n'ont que très peu d'effet. Seuls les diamètres expliquent légèrement la vitesse de décomposition, selon les hypothèses formulées, puisque le coefficient est négatif. La décomposition des arbres au sol de faible diamètre est plus rapide car l'écorce est plus fine et le bois de cœur moins développé.

Les variables climatiques sont, dans cette étude, difficiles à étudier car corrélées à beaucoup d'autres variables explicatives (notamment l'âge). Les relevés n'ont pas permis de créer suffisamment d'individus avec des âges et conditions climatiques variées.

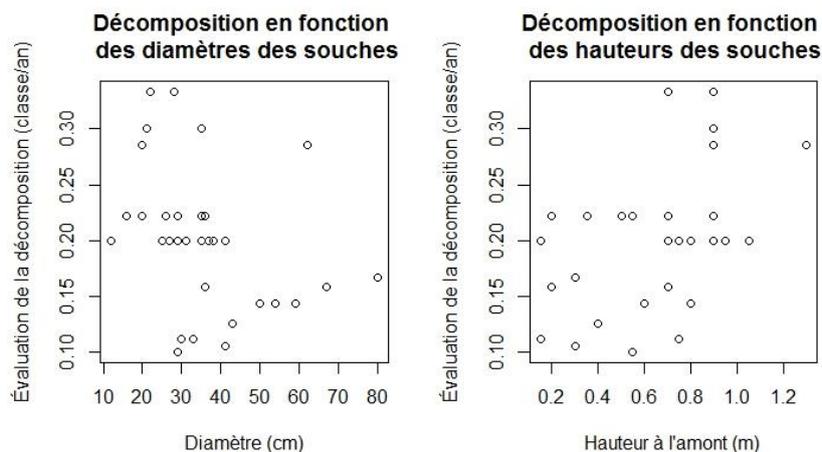


Figure 22 : Graphique de la décomposition des souches en fonction de leurs dimensions

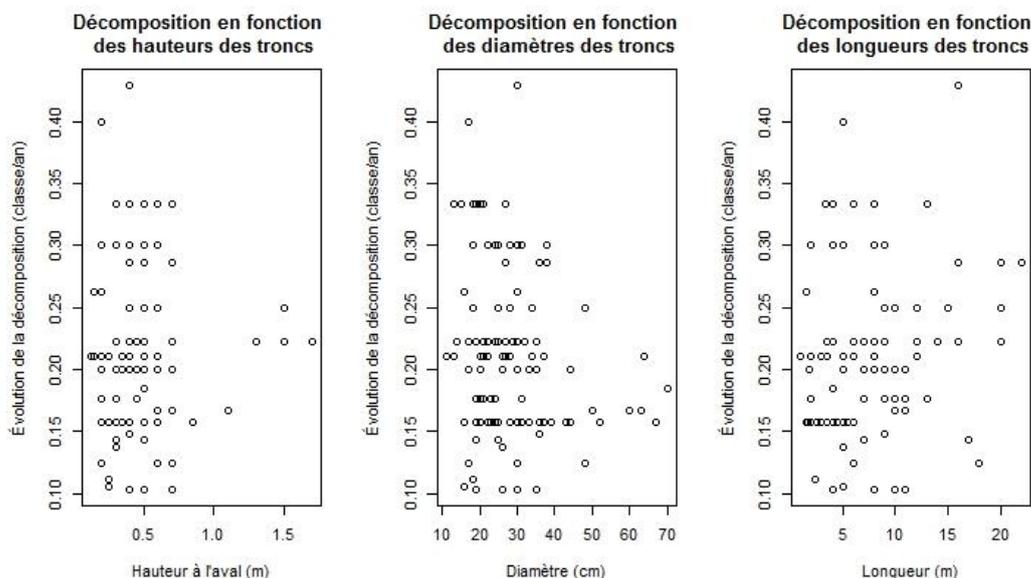


Figure 23 : Graphique de la décomposition des arbres au sol en fonction de leurs dimensions

Évolution de la décomposition des souches selon la hauteur et l'âge des souches

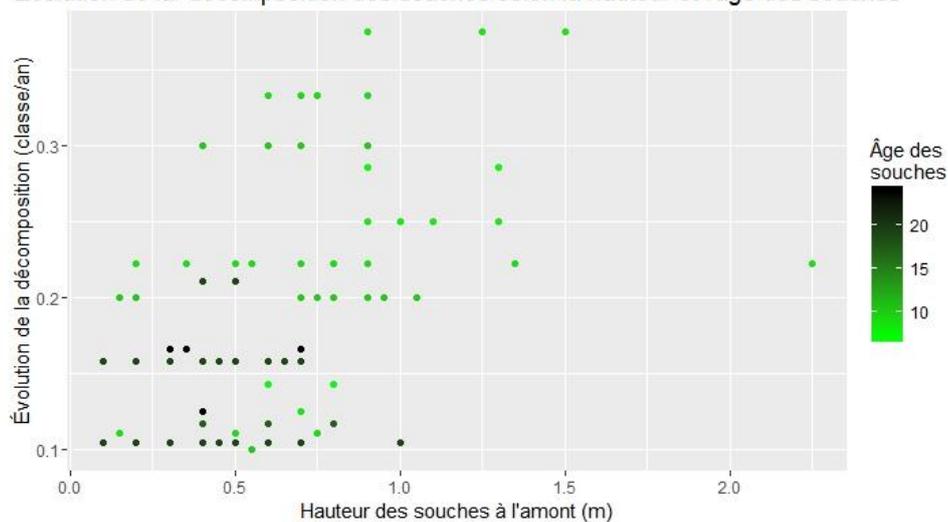


Figure 24 : Graphique représentant l'influence de la hauteur des souches sur leur décomposition

### III.3. Bilan des résultats obtenus à l'issu des relevés d'efficacité sur le terrain

Le travail de relevé sur le terrain a permis de se rendre compte de l'état actuel de l'utilisation du bois mort au sol au sein des triages du Bas-Valais. Le but était de répondre aux questions de l'évolution du bois au sol par rapport à son efficacité pour la protection et le rajeunissement.

Il faut retenir des analyses statistiques des relevés que le bois mort a, en effet, une efficacité limitée dans le temps puisqu'à partir de 10 à 15 ans la résistance du bois n'est plus assurée (selon les définitions des classes de décomposition et observations réalisées). Il est important de garder en tête la variabilité due aux essences, difficilement mise en évidence par les données recueillies, qui indique que le hêtre notamment se dégrade plus vite. Les résultats confirment l'importance de la mise au sol d'arbres de gros diamètres qui résistent mieux et plus longtemps. Pour ce qui est de la stabilisation du manteau neigeux, l'efficacité du bois au sol semblerait plus pérenne, puisque selon la bibliographie les arbres au sol résistent malgré leurs décompositions et effondrements partiels, au-delà de 20 ans. La classe de décomposition trois serait donc encore efficace pour la stabilisation du manteau neigeux.

Les résultats sont plus marquants pour ce qui est de l'efficacité vis-à-vis du rajeunissement puisque les observations réalisées montrent que le rajeunissement peut s'installer durablement sur le bois au sol dès la première décennie après les travaux. Ceci diminue considérablement le délai estimé par les gardes lors des entretiens. Les souches et arbres au sol apportent conjointement leur utilité dans l'installation du rajeunissement avec un léger avantage pour les souches.

Les visites sur les chantiers ont par ailleurs apporté de nombreuses images positives de l'utilisation du bois au sol. Les surfaces n'ont jamais présenté de gros déficits de rajeunissement, malgré la concurrence parfois accrue de la végétation herbacée et arbustive. Parallèlement, l'effet de protection du rajeunissement par rapport à la reptation du manteau neigeux est frappant dans plusieurs ouvertures où les semis sont essentiellement implantés juste en aval du bois mort (Figure 25). De même, la fertilité du support « bois mort au sol » s'est montrée efficace lors de nombreuses visites sur le terrain où nous avons observé de véritables jardinières, installée sur du bois en décomposition. (Figure 26).

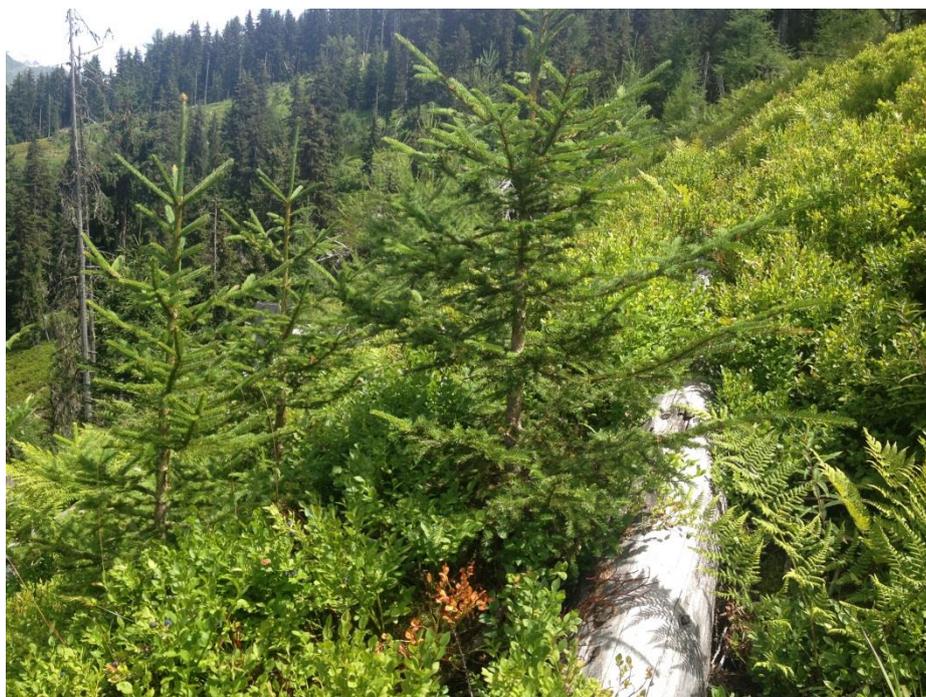


Figure 25 : Photo du rajeunissement à l'aval du bois mort. Source personnelle, Bruson – 2017



Figure 26 : Photo d'un arbre au sol au sol, véritable pépinière. Source personnelle, Ritzingen – 2017

Finalement, l'effet de protection, vis-à-vis des chutes de pierres, s'est révélé difficilement visible à cause des faibles probabilités de rencontre des blocs avec les quelques bois inventoriés. De plus, les impacts sont très peu discernables à cause de l'état de décomposition des bois et des nombreuses autres causes d'impacts sur les bois (chantier, faune, chablis...). Toutefois, quelques blocs arrêtés par le bois au sol ont été observés (Figure 27), preuves de l'utilité du bois au sol et de l'importance de son suivi.



Figure 27 : Photo d'un bloc arrêté par une souche. Source personnelle, Évionnaz – 2017

## IV/ Perspectives d'évolution de l'utilisation du bois sur place

### IV.1. Propositions de mise à jour des modalités d'utilisation du bois au sol

#### IV.1.a. Une gestion du bois au sol en plein pour avancer ses effets

Dans le cadre de l'étude, il a été observé que de nombreux chantiers sont aujourd'hui largement déficitaires pour l'exploitation et donc que l'intégralité du bois est laissée au sol. Dans cette situation, l'absence de débardage donne beaucoup plus de liberté par rapport au martelage (notamment en opposition au débardage par câble, contraint par les lignes). Il est important alors de bien prendre en compte les préconisations en termes de protection, rajeunissement et biodiversité. Dans la mesure où le peuplement le permet (stabilité assez bonne et peuplement pas trop âgé), la mise en place du bois au sol « en plein\* », avec des ouvertures plus petites serait optimale. En effet, il s'agit là de ne pas trop déstabiliser le peuplement avec de petites ouvertures (suffisamment grandes pour l'installation du rajeunissement tout de même, sylviculture par groupes) qui limitent par la même occasion les concurrences herbacées et arbustives. Ce travail nécessite un temps de retour plus court afin de suivre l'installation du rajeunissement et de favoriser sa croissance. Parallèlement, le bois au sol mis en place dans l'ensemble du peuplement augmente la rugosité du sol et peut servir de point d'appui pour la création de futures ouvertures où le lit de germination sera optimal grâce au bois au sol. Finalement, ce réseau de bois au sol, dense et continu avec différents stades de décomposition, est idéal pour la biodiversité et l'équilibre du milieu, favorisant ainsi la résilience du peuplement.

Cette pratique est déjà réalisée dans certains triages avec des résultats tout à fait probants. Elle permet, au fur et à mesure, de faire évoluer les motivations des interventions : depuis l'installation du rajeunissement jusqu'à la récolte des arbres d'intérêt pour le développement des semis d'avenir.

De la même manière, l'installation de bois au sol dans l'ensemble de la zone traitée (et pas seulement dans les surfaces délimitées des ouvertures) peut se faire sur des chantiers avec débardage. Le bois ainsi mis en place pourra servir à l'implantation des ouvertures lors de la prochaine intervention.

Cette proposition nécessite des temps de retour plus courts pour des interventions plus légères, dont les objectifs sont l'entretien du bois au sol comme protection et les soins au rajeunissement établi. Selon les conclusions des relevés, les temps de retour seraient de l'ordre de 10 à 15 ans. Un forfait pourrait être établi pour le traitement des surfaces dont l'intervention précédente date de 10 ans ou plus (selon le contexte et les estimations des gardes lors de la première intervention).

#### IV.1.b. Des modalités d'utilisation du bois mort adaptées aux connaissances actuelles

##### *Cas des souches :*

Il est tout à fait primordial de bien reconsidérer l'effet de protection des souches dans le cadre des chutes de pierres. L'effet tremplin, sous-estimé, est à limiter au maximum. Les souches mesurées sur le terrain font en moyenne 0,63 mètre de hauteur à l'amont, pour un minimum de 0,1 mètre et un maximum de 1,6 mètre. Les hauteurs minimales attendues des coupes sont à adapter, selon la taille du projectile moyen considéré lors du chantier. Les souches doivent alors faire au moins la hauteur de la taille du projectile. Il ne faut, par ailleurs, pas omettre les conditions de travail difficiles des bûcherons, ainsi les consignes de sécurité interdisant le maniement des tronçonneuses au-dessus des épaules. Ces obligations limitent alors les hauteurs de coupe. Par conséquent, dans les cas où les souches ne peuvent être laissées suffisamment hautes par rapport aux pierres considérées, elles seront préférées rases, parallèles à la pente, pour éviter la création de tremples. En rapport à ce même problème, une attention particulière doit être portée à l'amont d'ouvrages de protection. Les souches insuffisamment hautes doivent être coupées rases pour limiter les sauts des pierres par-dessus l'ouvrage.

Quoi qu'il en soit, les souches coupées en biseau dans le sens de la pente (Figure 6, page 20) sont toujours idéales. Il est donc fortement recommandé de les couper ainsi en présence du risque de chutes de pierres. Cette structure n'étant pas forcément pertinente pour l'installation des semis, il peut être envisagé de créer des zones de replat sur la souche pour (plutôt côté aval), favorables au dépôt et à la germination des graines.

#### *Cas des arbres au sol :*

Les visites sur les chantiers ont mis en évidence la tendance à l'empilement des arbres au sol sur le bas des ouvertures (abattage généralement plus facile vers l'aval et l'intérieur de l'ouverture). Cette structure, haute et complexe, est particulièrement intéressante pour la protection vis-à-vis des chutes de pierres (Figure 6, page 20). Elle peut être favorisée, tant que l'ouverture ne dépasse pas les 40 mètres dans le sens de la pente (longueur à partir de laquelle le projectile a repris son énergie maximale). La mise en place des arbres au sol doit donc prendre en compte cette dernière donnée pour ne jamais laisser, à l'issue du chantier en présence du risque de chutes de pierres, une distance de plus de 10 mètres dans la ligne de pente (nouveau profil NaiS – chutes de pierres : deux arbres tous les 10 m).

Parallèlement, dans le cadre de l'installation du rajeunissement, il a été observé que les arbres dans le sens de la pente peuvent être particulièrement efficaces, car ils sont stables lors de leur décomposition et ainsi ne déchaussent pas les semis à la suite d'un mouvement vers l'aval. Les arbres peuvent être abattus, dans la mesure du possible, à l'amont afin d'ancrer l'arbre sur sa souche, ou à l'aval, les branches servant alors d'ancrages dans le sol. Les arbres à 90° dans la pente peuvent être privilégiés dans les zones où la protection est déjà élevée et que le rajeunissement est un enjeu primordial. Par rapport au délai nécessaire avant l'implantation du rajeunissement, il est possible d'accélérer la décomposition en en faisant des fentes ou des encoches dans les arbres au sol. Si le besoin en rajeunissement est pressant, ces mesures permettent alors d'avancer la venue des semis.

L'effet du bois mort pour le rajeunissement est d'autant plus important s'il est peu ébranché (arbre « hérisson »), puisqu'il crée une structure temporaire protectrice vis-à-vis du gibier. Les arbres entiers sont donc à privilégier pour la protection du rajeunissement. Dans le même but, les enchevêtrements d'arbres au sol entiers forment des structures particulièrement intéressantes pour la protection (au moins temporaire) des semis vis-à-vis de l'abrouissement.

#### **IV.1.c. Les indicateurs de quantité de bois mort adaptés aux effets escomptés**

L'enquête a relevé la pertinence parfois faible de l'obligation de 10 % du volume de la coupe à utiliser au sol. Il s'agit donc, avec les connaissances actuelles, de définir des indicateurs de quantité de bois au sol adaptés aux effets attribués au bois au sol. Ceux-ci diffèrent donc selon les enjeux considérés.

#### *Protection (chutes de pierres et stabilisation du manteau neigeux) :*

Dans les cas de l'utilisation du bois au sol pour la protection contre les chutes de pierres, la donnée essentielle est la distance de 40 mètres, à partir de laquelle le projectile a repris son énergie maximale et donc à partir de laquelle l'obstacle précédent n'a plus d'utilité. Selon cette considération, l'indicateur de quantité de bois nécessaire peut être formulé en densité (nombre d'arbres au sol par unité de surface), équitablement répartie. S'il est admis que les arbres au sol font en moyenne 15 mètres de longueur, que la distance maximale entre deux obstacles est de 10 mètres, et qu'il faut deux arbres pour créer un obstacle, il faut donc deux arbres au sol par 150 m<sup>2</sup> (soit environ 130 arbres/hectare). Ces valeurs correspondent aux indications données dans le profil « chutes de pierres » du classeur NaiS.

Cet indicateur en densité est aussi plutôt adapté à la protection contre les coulées de neige puisqu'il faut suffisamment de points d'appui, bien répartis dans sur la surface de coupe. L'ordre de grandeur est plutôt inférieur puisqu'il est généralement question d'un arbre tous les 10 à 20 m, notamment importants pour protéger les semis en place de la reptation du manteau neigeux.

**Rajeunissement :**

La relation entre la taille des arbres au sol et l'installation du rajeunissement n'a pas été mise en évidence. Cela encourage donc à préférer un indicateur en nombre de supports de bois au sol (arbres au sol et souches compris) plutôt qu'en volume pour la venue du rajeunissement. Cette densité dépend alors du nombre de tiges escomptées pour le peuplement final et de la difficulté d'établissement des semis. Selon cet objectif, la préconisation se situe aux alentours de 100 à 150 supports/ha, selon la difficulté d'installation du rajeunissement observée. Cela représente environ un support tous les 7 à 10 m.

**Le volume minimal pour la biodiversité :**

Lorsque l'on parle de la biodiversité, la variable toujours utilisée est le volume par unité de surface. La littérature donne de nombreux seuils définis selon la diversité des espèces à favoriser et les peuplements considérés. Il est possible de retenir une valeur moyenne de 30 à 40 m<sup>3</sup>/ha (Müller and Büttler 2010, forêts mixtes de montagne). Cette valeur seuil de quantité de bois mort est nécessaire dans l'ensemble des forêts, quelle que soit la protection escomptée. De plus ce volume ne doit en aucun cas être limité au bois mort des ouvertures puisqu'il doit former un réseau continu au sein du peuplement. Cela encourage la mise en place de bois au sol dans l'ensemble du peuplement traité. Dans ce cadre, le volume des souches doit alors être estimé. L'équation définie en partie III.2.a. pourra être utilisée.

Le tableau ci-dessous (Figure 28), à disposition des praticiens, fait le récapitulatif des préconisations d'utilisation du bois mort au sol, selon les risques en question ou les enjeux d'installation du rajeunissement et de conservation de la biodiversité. Le tableau se trouve aussi en Annexe 16, pour l'usage. Les valeurs de quantité de bois au sol nécessaire seront bien entendues à adapter aux contextes locaux (densité du peuplement, diamètres des arbres, bois mort déjà au sol, forte rugosité naturelle du sol...).

|                       | Chutes de pierres   | Avalanches  | Rajeunissement   | Biodiversité  | Crues torrentielles<br>Bassin versant  | Glissements   | Incendies  |
|-----------------------|---|---|--|---|--|---|--|
| Zone de déclenchement | Falaise :<br>Zone de remobilisation :   |   |  |   |  |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Démontage des houppiers en zone à risque (billonnage court), voire export des rémanents</li> <li>- Bois au sol possible dans la limite de l'accessibilité en bande débroussaillée</li> <li>- Préférer des ancrages durs et durables</li> <li>- Éviter le billonnage excessif des arbres au sol</li> </ul> |
| Zone de transit       |   |   |  |   |  |   |  |
| Zone d'arrêt          |   |   |  |   |  |   |  |
| Quantité              | Dans les ouvertures : 150 à 200 arbres au sol/ha soit <b>un obstacle tous les 5 à 10 m</b> dans la ligne de pente<br>Efficacité : 10 à 15 ans | Dans les ouvertures : 50 à 100 arbres au sol/ha soit <b>un obstacle tous les 10 à 20 m</b> dans la ligne de pente<br>Efficacité : 20 à 30 ans | <b>100 à 150 supports/ha</b><br>Efficacité : de 5 à plus de 50 ans | <b>30 à 40 m<sup>3</sup>/ha</b> (tous types : sur pied et au sol, toutes décompositions)<br>Efficacité : > 50 ans | Bois au sol pour limiter les écoulements superficiels et favoriser l'installation du rajeunissement. CF quantité pour le rajeunissement. Laisser un gros arbre vivant tous les 25 à 30 m pour enracinement | Limiter le surplus : plutôt quantités basses recommandées |  |
| Légende               |   |   |  |   |  |   |  |
|                       |   |   |  |   |  |   |  |

**Figure 28 : Tableau récapitulatif des préconisations d'usage du bois mort au sol**

## IV.2. La durabilité du bois au sol : cadre du suivi, de l'entretien et de la responsabilité

La durabilité du bois au sol s'impose comme la variable la plus importante lorsque l'on considère le bois au sol pour sa protection et le rajeunissement. La littérature ainsi que le travail de terrain ont permis de définir une durée de 10 à 15 ans maximum pour l'efficacité de protection (contre les chutes de pierres) du bois au sol. Or c'est cette durée qui indique alors les dispositions à prendre si le bois mort est considéré comme protection. La législation oblige les gardes forestiers à suivre les recommandations du classeur NaiS pour la gestion des forêts de protection et donc d'utiliser du bois au sol pour assurer la fonction de protection lors des créations d'ouvertures. Finalement il est connu que ce bois ne peut fournir la protection que 10 ans environ. Il faut alors s'organiser en conséquence pour suivre ces ouvrages, les entretenir et les renouveler si besoin.

Les gardes ont évoqué leurs craintes vis-à-vis du bois au sol. Ils estiment créer des « bombes à retardement ». Les bois laissés au sol doivent donc être inventoriés (ou au moins les zones où du bois a été utilisé au sol pour de la protection contre les chutes de pierres) et suivis, de la même manière que les ouvrages de protection. Ce suivi est la condition nécessaire pour assurer une protection active du bois au sol. Ce suivi peut être très régulier dans le but de surveiller les éventuels blocs arrêtés par le bois au sol et menaçant de se remettre en mouvement. Parallèlement, et dans un objectif sylvicole, ces dispositifs peuvent être remplacés lors des soins apportés au rajeunissement dans les ouvertures, avec des périodes de retour de l'ordre de 10 à 15 ans.

Ce dispositif de suivi et entretien voire remplacement du bois au sol est absolument nécessaire pour assurer une protection dans le temps et éviter les risques artificiellement créés par des structures naturelles à décomposition « rapide ». De plus, des pierres arrêtées en forêt sont régulièrement observées, le suivi des bois au sol permettrait donc aussi d'annoncer les pierres menaçantes en forêt.

Par ailleurs, dans l'optique d'un remplacement du bois au sol tous les 10 à 15 ans pour assurer la protection continue, il s'agit de quantifier la disponibilité par rapport aux peuplements concernés. La ressource est-elle suffisante pour les recommandations faites ? La réponse à cette question est particulièrement difficile puisque le Valais ne dispose que de peu de valeurs d'accroissement et de renouvellement de ses forêts.

Un inventaire réalisé entre 1996 et 2011 à Ovronnaz donne des valeurs d'accroissement de 25 tiges par hectare et par an (toutes essences confondues). En utilisant les données LiDAR (MONNET et al. 2016) disponibles pour l'arrondissement (surface terrière, hauteur et densité), ainsi que l'accroissement de 6 à 7 m<sup>3</sup>/ha/an issu des estimations des ingénieurs et des valeurs du canton de Vaud, l'accroissement en nombre de tiges par hectare et par an vaut environ 20 t/ha/an (calculé avec une hauteur moyenne des arbres de 17 mètres, une surface terrière de 20 m<sup>2</sup>/ha et une densité de tiges de 600 t/ha). Cet accroissement diminue assez fortement pour les peuplements plutôt secs de la vallée du Rhône (« à dire d'expert ») pour atteindre des valeurs autour de 3 à 4 m<sup>3</sup>/ha/an. En reprenant les mêmes caractéristiques de peuplement (plutôt bien représentatives), l'accroissement en tiges est d'environ 10 t/ha/an. Ces accroissements représentent le besoin en arbres au sol s'ils sont positionnés dans l'ensemble du peuplement (130 arbres par hectare pour 10 ans). Or ces valeurs ne sont valables que pour les ouvertures effectuées, ne représentant jamais plus de la moitié de la surface traitée. Ce qui signifie que l'accroissement des peuplements fournit quasiment deux fois de bois qu'il n'en faut pour la protection vis-à-vis des chutes de pierres. Les nécessités en bois au sol pour les autres enjeux considérés sont moins élevées, donc l'accroissement suffit de nouveau amplement pour fournir la protection attendue dans les ouvertures.

En considérant une ouverture de 1 000 m<sup>2</sup> (20 m par 50 m), le bois au sol contre les chutes de pierres représenterait alors 13 arbres. En appliquant la formule  $V = f \times g \times h$ , avec une hauteur de 17 m, un diamètre de 30 cm (les arbres abattus étant plutôt les gros) et un coefficient de forme de 0,5, le bois au sol pour la

protection représenterait plus de 9 m<sup>3</sup> dont 7,8 m<sup>3</sup> pour les grumes et 1,3 m<sup>3</sup> pour les souches. Cela signifie que le volume de bois mort pour la protection contre les chutes de pierre sur 1 000 m<sup>2</sup> représente un quart du volume nécessaire à l'hectare pour la biodiversité.

### IV.3. Adaptation du formulaire 2 NaiS pour la nécessité d'utilisation de bois au sol

Il a été évoqué la difficulté d'adapter l'utilisation du bois au sol, notamment par l'emploi du formulaire 2 NaiS, dans lequel il est peu question de cette pratique. La proposition est donc faite d'aménager ce formulaire en créant une rubrique à part pour le bois au sol (le formulaire proposé est en Annexe 17, avec les modifications surlignées en jaune). Celle-ci sera, de la même manière que les autres, complétée selon les recommandations de bois au sol par rapport au risque en présence, pour les exigences minimales et idéales. Le garde pourra alors faire un diagnostic de l'existant et ainsi définir les besoins en bois mort propres à l'intervention. En outre, pour faire le lien avec l'entretien des bois, le formulaire 2 NaiS possède une case pour indiquer la nécessité d'un retour et sa date. Cette indication pourrait alors permettre de prévoir les zones sur lesquels il y aurait besoin de revenir rapidement pour renouveler le bois au sol et apporter des soins au rajeunissement.

Auparavant, il existe d'autres outils à disposition des gardes pour préciser les recommandations d'utilisation du bois au sol. Il s'agit alors de les rassembler afin de fournir aux gardes une liste à laquelle ils pourront se référer pour trouver les informations qu'ils cherchent (la liste est disponible en Annexe 18).

### IV.4. La communication nécessaire pour l'acceptation du bois au sol

La communication au sujet du bois mort au sol était, au départ du travail, le sujet qui semblait le plus problématique. Finalement les entretiens avec les gardes ont montré que les besoins sont divers et parfois très légers en termes de communication. Les mentalités ont déjà bien accepté ces nouvelles pratiques et le message se propage. De plus, il semble évident que les supports existants sont déjà multiples, alors autant les utiliser tous à bon escient. Pour cela, les outils de communication existants sont regroupés, avec une fiche qui en fait la synthèse selon les usages et thèmes abordés afin de fournir une liste complète et pratique à disposition des gardes. Cette liste se trouve en Annexe 19.

Par ailleurs, il pourrait être intéressant de réfléchir à la communication à travers les réseaux sociaux, comme conseillé par des gardes, afin d'adapter les supports à la population. Cette communication pourrait notamment se faire à travers des spots courts, plus accessibles au public que les vidéos très complètes déjà réalisées.

Finalement un poster très illustré (Figure 29) présentant les effets du bois mort au sol a été réalisé afin de pouvoir l'afficher dans les triages ou à proximité des chantiers, lorsque du bois est laissé au sol, afin d'informer directement les passants sur les objectifs de cette pratique.



Figure 29 : Poster illustrant les intérêts du bois au sol

#### IV.5. La communication circulaire au sein du monde forestier

La communication à travers des supports joue son rôle pour informer le public, mais il s'avère que de nombreuses questions sont posées durant les travaux, directement aux ouvriers présents sur le chantier. C'est pourquoi il est important que les bûcherons soient bien formés sur le bois au sol et ses intérêts. Cette formation apporte deux avantages : le travail ne peut être que mieux fait lorsque l'agent est convaincu de ce qu'il fait ; et les réponses au public sur les chantiers seront nettement plus efficaces si les agents ont les éléments pour argumenter efficacement. La formation se fait de prime abord à l'école, mais elle peut être complétée par la suite. Deux points ont été relevés pour atteindre l'objectif.

La présence de l'ingénieur forestier de l'arrondissement est importante lors du martelage pour les échanges avec les gardes et la bonne coordination entre ces derniers et le SFCEP. De plus, celle des bûcherons permet de compléter les visions par le dernier échelon, qui intervient pratiquement sur le terrain. Le martelage étant l'étape centrale et cruciale de l'intervention sylvicole pour la gestion des forêts protectrices, il est tout à fait pertinent de regrouper les acteurs. Le terrain est idéal pour les échanges et un résultat optimal grâce aux points de vue et connaissances complémentaires. Cela permet aussi de conforter les gardes et les bûcherons sur l'utilité du bois au sol et ainsi faciliter la diffusion du message auprès de la population.

D'autre part, un triage a organisé une visite sur un chantier effectué avec des représentants de la bourgeoisie en expliquant la réflexion menée pour la préparation de l'intervention, le remplissage du formulaire 2 NaiS, le tout en liaison avec le résultat du chantier. Cette visite s'est avérée particulièrement efficace pour la bourgeoisie puisqu'ils ont tous noté les réflexions construites pour préparer les travaux.

Cette formule pourrait être reprise dans l'ensemble des triages. Elle permet de faire comprendre la démarche générale appliquée pour les interventions et ainsi montrer qu'elles ne sont pas le fruit d'un seul individu. La même visite avec les bûcherons sur un chantier qu'ils ont réalisé permettrait de faire le point sur les réussites et échecs éventuels dans le but de pouvoir s'adapter aux différentes situations, forts des expériences passées. L'image du chantier terminé est importante pour se rendre compte des effets du bois au sol.

## V/ Limites et discussions

### V.1. Limites du travail

#### V.1.a. La difficulté d'étudier l'évolution du bois au sol sur le terrain

Le travail se veut faire le point sur la pratique de l'utilisation du bois mort au sol, avec son évolution comme principale problématique soulevée. Malheureusement le matériel à disposition pour évaluer l'évolution du bois mort au sol s'est révélé limité. En effet, la grande majorité des chantiers à disposition pour les relevés datait de 2010 ou plus tard, ce qui est trop jeune pour étudier la décomposition du bois ou l'installation du rajeunissement. Par la suite, les chantiers inventoriés n'ont pu fournir suffisamment de données pour mettre en évidence les éventuels liens entre les variables à expliquer et les facteurs climatiques. De même, l'efficacité de protection a été étudiée à l'aide des classes de décomposition, faute de moyen simple et efficace de faire des tests de résistance mécanique, ce qui limite grandement la précision des données. Il aurait été particulièrement intéressant de pouvoir tester la résistance aux impacts ponctuels pour compléter les travaux de Bigot (2014) avec d'autres essences et conditions climatiques.

De plus, comme dans l'ensemble des travaux traitant de la décomposition des bois morts, la cause et la date de la mort sont tout à fait importantes et difficiles à déterminer. En effet, les relevés se sont basés sur des travaux dont la date de réalisation était connue, mais il se peut que certains arbres fussent secs sur pied avant l'intervention (ce qui accélère la décomposition), ou que des arbres aient été abattus plus tard (imprécisions de toutes les archives des interventions). Malgré toute l'attention lors des relevés, ces variables-là ont pu fausser les mesures réalisées.

Les limites sont surtout dues au fait que l'étude s'est basée sur du matériel qui n'a pas été installé dans un but scientifique, ce qui n'a pas permis de contrôler un maximum de paramètres.

Afin de préciser les conclusions et de poursuivre l'acquisition de données, des remesures sur les chantiers déjà mesuré pourraient s'avérer utiles et particulièrement efficaces, notamment en termes de décomposition.

#### V.1.b. La diversité du périmètre de l'enquête

Cette étude s'est basée sur le territoire du Valais et plus précisément du Bas-Valais, avec le contexte qui lui est propre (propriétés forestières, stations forestières, climat, histoire...). Les résultats sont donc à adapter pour d'autres contextes.

Cependant, même au sein du Valais, les conditions sont variables. L'enquête a d'ailleurs mis en évidence les grandes disparités existantes entre les triages. Ces différences rendent la généralisation très difficile. Il est important de bien comprendre que les résultats s'adaptent aux contextes naturels et humains des différents triages. De plus, l'enquête s'est basée sur les témoignages des gardes. Il s'agit donc de considérer que l'ensemble de leurs propos ait été correctement interprété. Les entretiens menés dans le Haut-Valais, avec l'aide de mon maître de stage Roland MÉTRAL pour la traduction, ont montré l'importance d'avoir pu réaliser, seul, les entretiens avec les gardes du reste du Valais pour éviter la transformation des propos. En

effet, le passage de l'information par une tierce personne ne peut garantir une correspondance exacte avec la source, même avec tous les efforts faits. Les interprétations tirées de ces interviews sont légèrement biaisés malgré l'attention employée pour éviter ce biais. D'autre part, il s'agit de faire confiance sur la véracité des gardes, puisque dans certains cas il semblait que des réponses aient pu être données, « pour faire plaisir » et ne pas créer de débat.

La phase d'enquête aurait aussi pu être approfondie en augmentant le nombre de bûcherons interrogés. Cela aurait permis d'avoir un échantillon plus fiable par rapport aux conclusions tirées de ces interviews. Il en est de même pour les représentants des bourgeoisies rencontrés. Il a été particulièrement compliqué de définir des rendez-vous avec ces personnes. Dans le but de préciser les besoins en communication, la rencontre de personnes *lambda* aurait pu être intéressante. Cela aurait permis de se rendre compte de l'état actuel des connaissances de la population sur les forêts de protection, dont l'utilité du bois mort au sol, et surtout de recueillir leurs avis sur la question. Ces données auraient été un plus pour définir la manière et le fond, les plus efficaces pour atteindre la population et la convaincre de l'intérêt du bois au sol.

#### V.1.c. Le suivi des chantiers et la croissance des peuplements

Le suivi des peuplements est un manque assez surprenant par rapport à la précision de la planification des interventions et les moyens mis à disposition des gardes. L'accroissement des peuplements valaisans est très peu connu. Seuls quelques inventaires très ponctuels permettent d'obtenir des valeurs d'accroissement. Or celles-ci sont primordiales pour envisager l'évolution des peuplements et éventuellement la ressource disponible lorsqu'il est question de multifonctionnalité (export du bois et bois sur place).

De même il semble que les gardes ne prennent pas particulièrement le temps de revenir sur les surfaces traitées. Cela ne permet donc pas de se rendre compte de l'évolution et du besoin de revenir ou non. Or ceci semble important pour analyser les pratiques et les adapter par la suite.

Ces données de retour d'expériences ont parfois manqué pour accéder plus rapidement aux chantiers pertinents et pour estimer la disponibilité en ressource utilisable au sol (les calculs en partie IV.2. sont donc basés sur des données « à dire d'expert »)

#### V.1.d. Le bois mort au sol et bois mort sur pied

Cette étude traite du bois mort au sol pour la protection et l'installation du rajeunissement notamment. Cependant lorsqu'il est question du bois mort pour la biodiversité, le bois mort sur pied a toute son importance, autant que le bois au sol. Il est donc important, par rapport à ce besoin spécifique de bois mort sur pied pour la biodiversité, de ne pas systématiquement abattre les arbres morts.

Cet aspect a toute son importance par rapport aux risques sanitaires dont les attaques de bostryches. Il s'avère, selon les témoignages de gardes et ingénieurs, que l'abattage systématique et export des arbres secs sur pieds n'est pas toujours efficace, car il est difficile de supprimer l'ensemble des foyers potentiels. Les arbres infectés par le bostryche et secs sur pied sont les habitats de l'ensemble des parasites et prédateurs du bostryche. Selon ce point de vue, il paraît particulièrement judicieux de laisser au moins une partie de ces arbres afin d'installer la faune nécessaire à la régulation des populations de bostryche qui pourront limiter les invasions.

Dans le cas d'arbres non sujets au risque de colonisation par les scolytes, il est particulièrement intéressant de les conserver pour la biodiversité en créant des habitats inexistantes dans le bois mort au sol. Laisser les bois secs sur pied est d'autant plus approprié que ces bois sont déjà très fragiles et seraient peu efficaces au sol pour la protection.

### V.1.e. L'utilisation du bois mort au sol dans le peuplement

Le travail donne de nombreuses indications sur les quantités de bois au sol à disposer selon les objectifs fixés. Les effets du bois au sol sont valables pour l'ensemble des conditions dans lesquelles le bois mort est utilisé, soit dans un peuplement fermé ou dans les ouvertures créées pour le rajeunissement. Néanmoins, les indications données par le classeur NaiS ne se concentrent que sur les zones où le bois au sol est le plus utile, c'est-à-dire dans les ouvertures. Le bois laissé au sol dans le peuplement, autour des ouvertures, comme il est proposé de faire dans ce travail, est un complément des préconisations du NaiS. Dans le but de vouloir optimiser un maximum la protection des forêts, tout en favorisant l'installation du rajeunissement et la biodiversité, il pourrait être appliqué les préconisations du classeur NaiS à l'ensemble du peuplement. Néanmoins, ces indications seraient à revoir à la baisse (en termes de densité d'arbres au sol) puisque l'accroissement naturel des forêts valaisannes ne suffirait à peine à fournir la ressource nécessaire. Mais en aucun cas, le fait de laisser sur place, l'intégralité des bois abattus, ne gêne vis-à-vis de la protection contre les chutes de pierres. Il n'est en pas de même pour les autres risques (avalanches, glissements et crues torrentielles), puisque le bois au sol peut augmenter la charge des écoulements et donc les dégâts consécutifs.

Il faut donc garder en mémoire que l'utilisation du bois au sol, telle qu'elle est décrite ici, concerne essentiellement les ouvertures sylvicoles, créées pour l'entretien des forêts de montagnes. Une utilisation dans l'ensemble du peuplement pourrait alors se justifier pour la protection contre les chutes de pierres, pour augmenter la biodiversité ou à cause d'une difficulté accrue d'installation du rajeunissement. Cette pratique met d'autant plus en péril la fonction de production. Il s'agit alors de trouver le bon équilibre selon les objectifs fixés.

### V.2. L'adaptation au changement climatique et au risque d'incendies croissant

L'adaptation au changement climatique est au cœur de l'actualité forestière. La recherche est très active à ce sujet et les forestiers réfléchissent aux mesures à prendre pour répondre au changement climatique. Le bois au sol peut présenter un atout tout particulier dans le sens où il crée un climat favorable à la germination des graines, par rapport à un sol qui pourrait devenir rapidement très sec.

Par ailleurs, le réchauffement climatique aurait tendance à augmenter la proportion de feuillus dans les peuplements, essences moins propices au rajeunissement sur bois mort. Le rôle du bois au sol dans ce cadre serait alors limité à la création d'un microclimat favorable (frais et humide). Parallèlement, ces essences sont plus adaptées au rejet de souches et il pourrait donc être intéressant de les favoriser pour créer des peuplements de taillis denses, tout à fait efficaces contre les chutes de pierres.

Finalement, le réchauffement climatique aura aussi pour conséquence d'augmenter le risque incendie en plaine. À ce sujet, l'effet de protection des forêts, lié à la continuité horizontale et verticale, est exactement contraire aux recommandations actuelles pour prévenir les feux de forêts. L'utilisation du bois au sol peut créer une masse de combustible importante et difficile à éteindre lors d'un feu de forêt. Le risque peut aussi être lié à la propagation du feu de haut en bas des versants par chutes de braises issues du bois au sol. Néanmoins, des recherches sur les facteurs aggravant les incendies de forêts mettent en évidence l'origine anthropique de la majorité des grands feux. La prévention la plus efficace serait donc de se concentrer sur les interfaces forêt-habitat.

### V.4. L'économie et la filière bois peu portantes, causes de l'abandon de bois en forêt

L'utilisation du bois au sol suscite bien souvent de vives résistances liées au gâchis de la ressource bois. Or le contexte actuel du marché est une des principales causes d'abandon de bois sur les coupes. Ceci s'explique par l'ouverture du marché à l'international et les coûts élevés d'exploitation dans le contexte montagnard du Valais, en plus des coûts de main d'œuvre. Cette situation économique pousse donc à diminuer drastiquement l'exploitation des forêts. Le travail de stage a permis d'étudier les données

économiques fournies par les triages, qui prouvent les déficits d'exploitation sur la grande majorité des chantiers. Cette situation n'est, néanmoins, pas généralisable à l'ensemble des triages. Les différences des résultats économiques sont notables, pour des interventions semblables. Certains triages semblent donc mieux optimiser les coûts d'intervention et ainsi pouvoir vendre plus de bois, malgré le marché peu porteur.

Par ailleurs cette situation est directement liée au marché mondial et à l'importation de bois étrangers moins chers. Or le territoire valaisan étant couvert à près de 25 % de forêt, la ressource est disponible à proximité. Il serait particulièrement intéressant d'étudier les impacts environnementaux des bois importés par rapport aux bois locaux. Le label bois Suisse (Figure 30) est un outil certifiant l'origine du bois et donc intéressant pour favoriser le bois local. Cette utilisation entre en concurrence avec le bois utilisé sur place. Mais comme pour l'ensemble des fonctions de la forêt, le plus important est de trouver les manières de les concilier. Or le bois au sol, avec les objectifs cités dans ce travail, ne nécessite pas forcément l'ensemble du volume disponible dans les peuplements. Il est donc possible de concilier efficacement les besoins en bois pour la filière et les besoins en bois dans les peuplements.



Figure 30 : Logo du Certificat d'origine bois Suisse

## Conclusion

---

L'utilisation du bois mort au sol en sylvicultures des forêts de protection est imposée aux gardes forestiers valaisans notamment à travers le classeur NaiS, guide de gestion durables des forêts protectrices. Or les connaissances au sujet du bois mort au sol, de ses effets et des modalités d'utilisation ne sont pas figées et évoluent constamment avec la recherche et les retours du terrain. Ce travail avait donc pour but de faire un état des lieux de la technique après la première dizaine d'année de mise en place.

À travers l'enquête réalisée auprès des acteurs de la gestion des forêts protectrices dans le Valais, il a été possible de relever les points forts et points faibles de la technique, telles qu'elle est employée actuellement. Le premier point faible réside dans la difficulté de circulation des connaissances. Le présent travail s'est donc appuyé sur la bibliographie et les retours d'expériences pour préciser les modalités d'utilisation du bois mort au sol, préconisées par les chercheurs et forestiers. Celles-ci ont été détaillées selon les objectifs attendus du bois au sol et le contexte du chantier, comme espéré par les gardes forestiers. Ils auront alors à leur disposition des outils mis à jour et synthétiques.

En outre, cette technique, de type génie végétale n'est pas une solution éternelle. L'utilisation de la pratique, qui est déjà une réussite pour la majorité des chantiers visités au cours du stage, ne possède que peu de repères temporels. La présente étude a permis de préciser les durées maximales d'efficacité du bois au sol selon les objectifs souhaités. Elles pourront alors être un élément de réflexion pour l'organisation de la planification de la gestion des forêts de protection et les temps de retour sur les surfaces traitées.

Parallèlement, le déficit de communication observé, possède plusieurs sources, et une solution serait d'améliorer la formation des forestiers bûcherons à l'utilisation du bois mort au sol. Pour cela notamment les outils à disposition des gardes pourront aussi servir aux bûcherons sur le terrain. Finalement, il serait particulièrement pertinent de favoriser les échanges entre l'ingénieur forestier de l'arrondissement, les gardes et les bûcherons, à travers, entre autre, les martelages et visites d'efficacité de chantiers. Ces efforts de communication devraient aussi améliorer l'acceptation de la pratique par la population, puisque les bûcherons sont les plus sollicités et donc à même de faire comprendre la technique.

Ce dernier point a d'ailleurs été soulevé par les gardes lors de la présentation de mon travail à l'issu du stage. Cette présentation s'est avérée encourageante puisque les gardes ont adhéré aux propos et réagit positivement pour compléter le travail. Ceci montre bien la prise de conscience des gardes de l'ensemble des enjeux liés à l'utilisation du bois mort au sol et des évolutions à intégrer.

Il advient alors à l'État de prendre les dispositions nécessaires pour continuer à assurer la protection des populations par la forêt, à travers notamment les moyens financiers, juridiques et organisationnels donnés aux gardes pour qu'ils puissent garantir la protection optimale. Les triages devront alors poursuivre leurs efforts pour appliquer du mieux possible les préconisations d'utilisation du bois au sol en restant vigilants à l'évolution de la pratique. Il n'est pas inutile de rappeler que l'utilisation du bois au sol vient s'ajouter aux nombreux défis de la multifonctionnalité des forêts. L'enjeu majeur du forestier d'aujourd'hui est de trouver les solutions, adaptées aux forêts et à leurs environnements naturels, pour concilier l'ensemble des fonctions qui sont attribuées aux écosystèmes forestiers.



Figure 31 : Photo de deux rosaliés des Alpes observées sur une souche lors d'un relevé. Source personnelle : Évionnaz (2017)

## Références bibliographiques

- Assemblée fédérale de la Confédération suisse. 1991 – *Loi fédérale sur les forêts du 4 octobre 1991 (Etat le 1<sup>er</sup> janvier 2017)*.
- AUGUSTO L., ACHAT D., BAKKER M., BOULANGER V., CANTELOUP D., LANDMANN G., LEGOUT A., MEREDIEU C., PLOMION C., POUSSE N., RANGER J. et TRICHET P. 2014 – Intensification des itinéraires sylvicoles et des récoltes : implication pour la durabilité des systèmes – *Innovations Agronomiques* 41 – p. 13-30
- BACE R., SVOBODA M. and JANDA P. 2011 – Density and height structure of seedlings in subalpine spruce forests of Central Europe: logs vs. stumps as favourable substrate. – *Silva Fennica* 45 (5) – p. 1065-1078
- BEBI P., KULAKOWSKI D., RIXEN C. 2009 – Snow avalanche disturbance in forest ecosystems- State of research and implications for management. – *Forest ecology and management* 257 – p. 1883-1892.
- BERGER F., QUETEL C., DORREN L.K.A. 2002 – Forest: a natural protection mean against rockfall, but with which efficiency? The objectives and methodology of the ROCKFOR project. - Matsumoto/Japan: Proceedings of the International Conference on Congress Interpraevent 2002 in the Pacific Rim. – p. 815-826
- BERGER F., BOURRIER F., OLMEDO-MANICH I. et BIGOT C. 2014 – *Evaluation de l'effet pare-pierre des rémanents*. – Saint-Martin-d'Hères : Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture, Convention OFEV-IRSTEA – 115 p.
- BIGOT Christophe, ASTRADE Laurent, BERGER Frédéric, BRUN Jean-Jacques. 2013 – Optimisation de la gestion des forêts à fonction de protection contre les chutes de pierres par l'utilisation des rémanents. – *Arbres & dynamiques*. – p. 15-29
- BIGOT C. 2014 – *Cinématique de décomposition et rôle de protection pare-pierres du bois mort : le cas des rémanents*. – Grenoble : Université Grenoble Alpes – 234 p.
- BOURDIN Olivier, BRUCHEZ Jean-Baptiste et METRAL Roland. 2015 – *La sylviculture de montagne. Techniques et traitements des peuplements forestiers de montagne*. – Martigny : FORÊT VALAIS, Union des forestiers du Valais romand, CANTON DU VALAIS. – 44 p.
- BOURRIER F., DORREN L. and BERGER F. 2012 – Full scale field tests on rockfall impacting trees felled transverse to the slope. – Grenoble: 12<sup>th</sup> Congress INTERPRAEVENT, Conference Proceedings – p. 643
- BÜTLER R. 2006 – Les vieux arbres et le bois mort attestent d'une sylviculture moderne et durable. – *La Forêt* (n° 1/06), Société Forestière Suisse – p. 10-13
- DICKSON J. G., CONNER R. N., WILLIAMSON J. H. 1983 – Snag retention increases bird use of a clear-cut. – *The Journal of Wildlife Management* 47 – p. 799-804
- DORREN Luuk, BERGER Frédéric, JONSSON Martin, KRAUTBLATTER Michael, MÖLK Michael, STOFFEL Markus and WEHRLI André. 2007 – State of the art in rockfall – forest interactions. – *Schweizerische Zeitschrift Forstwesen* 158 (6) – p. 128-141
- DORREN Luuk K.A., MAIER Bernhard, PUTTERS Uif S., SEIJMONSBERGEN Arie C. 2004 – Combining field and modelling techniques to assess rockfall dynamics on a protection forest hillslope in the European Alps. – *Geomorphology*, 57 – p. 151-167
- État du Valais, Service des forêts et du paysage. 2011 – *Gestion durable des forêts de protection*. Mise en application à l'échelle valaisanne de l'ouvrage du même nom (FREHNER *et al.* 2005) – Sion : État du Valais – 95 p.
- État du Valais, Service des forêts et du paysage. 2014 – *Guide de la FORÊT VALAISANNE*. – Sion – 33 p.
- FEISTL Thomas, BEBI Peter, TEICH Michaela, BÜHLER Yves, CHRISTEN Marc, THURO Kuroschi, BARTELT Perry. 2014 – Observations and modelling of the braking effect of forests on small and medium avalanches. – *Journal of Glaciology*, Vol. 60, n° 219 – p. 124-138

- FRAVOLINI G., EGLI M., DERUNGS C., CHERUBINI P., ASCHER J., GOMEZ M., BARDELLI T., TOGNETTI R., LOMBARDI F. and MARCHETTI M. 2016 – Soil attributes and microclimate are important drivers of initial deadwood decay in sub-alpine Norway spruce forests. – *Science of the Total Environment*, Vol. 569-570 – p. 1064-1076
- FREHNER M., WASSER B., SCHWITTER R. 2005 – *Gestion durable des forêts de protection. Soins sylvicoles et contrôle des résultats (NaiS) : instructions pratiques.* – Berne : Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. – 564 p.
- FREY W. and THEE P. 2002 – Avalanche protection of windthrow areas: A ten year comparison of cleared and uncleared starting zones. – *Forest, Snow and Landscape Research*. Vol. 77(1/2) – p. 89-107
- FUHR M., CLOUET N., CORDONNIER T. et BERGER F. 2010 – Gestion multifonctionnelle des forêts de montagnes, quels compromis entre les fonctions de protection et conservation ? – *Sciences, Eaux & Territoires*, n° 3 – p. 20-25
- FUHR M., BOURRIER F. and CORDONNIER T. 2015 – Protection against rockfall along a maturity gradient in mountain forests – *Forest Ecology and Management*, 354 – p. 224-231
- GAUQUELIN Xavier et COURBAUD Benoît (Coordinateurs). 2006 – *Guide des Sylvicultures de Montagne. Alpes du Nord françaises.* – Cemagref, Centre régional de la propriété forestière Rhône-Alpes, Office national des forêts. – 289 p.
- GENSAC P. 1990 – Régénération en altitude de l'épicéa (*Picea abies* (L) Karst) sur les souches dans les Alpes françaises – *Annales des sciences forestières*, INRA/EDP Sciences, 47 (2) – p. 173-182
- GERBER W., RICKLI C. and GRAF F. 2002 – Surface erosion in cleared and uncleared mountain windthrow sites. – *Forest, Snow and Landscape Research*. Vol. 77(1/2) – p. 109-116
- HERRMANN S., KAHL T. and BAUHUS J. 2015 – Decomposition dynamics of coarse woody debris of three important central European tree species. – *Forest Ecosystems* 2:27 – 14 p.
- JAHN J. 1988 – Entwaldung und Steinschlag – Internationales Symposium Interpraevent 1988 – Graz. Tagungspublication Bland – p. 185-198
- KNUST C., SCHUA K., FEGER K.-H. 2016 – Estimation of Nutrient Exports Resulting from Thinning and Intensive Biomass Extraction in Medium-Aged Spruce and Pine Stands in Saxony, Northeast Germany – *Forests*, Vol. 7 (12), 302
- KRAUS Daniel et KRUMM Frank (dir.) – *Les approches intégratives en tant qu'opportunités de conservation de la biodiversité forestière* – Institut européen des forêts – 308 p.
- KRUMM. 2011 – *Natural dynamics in dense subalpine forests of the Swiss Alps.* – Freiburg: Faculty of Forest and Environmental Sciences. – 62 p. (Thèse de doctorat)
- KRUMM F., KULAKOWSKI D., SPIECKER H., DUC P. and BEBI P. 2011 – Stand development of Norway spruce dominated subalpine forests of the Swiss Alps. – *Forest Ecology and Management*, 262 – p. 620-628
- LACHAT T., BRANG P., BOLLIGER M., BOLLMANN K., BRÄNDLI U.-B., BÜTLER R., HERRMANN S., SCHNEIDER O. et WERMELINGER B. 2004 – *Bois mort en forêt : Formation, importance et conservation* – Notice pour le praticien, n°52 – Birmensdorf : Institut fédéral de recherche WSL – 12 p.
- LACHAT T., BOUGET C., BÜTLER R. et MÜLLER J. 2013 – Besoins quantitatifs et qualitatifs en bois mort pour la conservation de la biodiversité saproxylique – Dans : *Focus sur : la gestion des forêts en Europe, Les approches intégratives en tant qu'opportunité de conservation de la biodiversité forestière*, programme Integrate (voir chapitre 2.2) – Institut européen des forêts – p. 96-107
- LACLOS Éric de. 2006 – Les Coléoptères associés aux scolytes du chêne en forêt domaniale de Cîteaux (département de la Côte-d'Or). – Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon, 75<sup>e</sup> année, n° 2 – p. 67-82
- Le Grand Conseil du canton du Valais. 2011 – *Loi sur les forêts et les dangers naturels du 14 septembre 2011.*
- LEMPERIERE G. and MARAGE D. 2010 – The influence of forest management and habitat on insect communities associated with dead wood: a case study in forests of the southern French Alps – *Insect Conservation and Diversity*, 3 – p. 236-245

- MASUYA H., AMANUMA K., NISHIKAWA Y., and TSUJI T. 2009 – Basic rockfall simulation with consideration of vegetation and application to protection measure. – *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9 – p. 1835-1843
- MASER C. and TRAPPE J. 1984 – Seen and unseen world of fallen tree. – USDA Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, General Technical Report PNW-164 – 56 p.
- METRAL Roland. 1993 – *Documentation de la 9<sup>e</sup> séance de travail du Groupe suisse de soins aux forêts de montagne*. – Martigny : Groupe suisse de soins aux forêts de montagne. – 95 p.
- MONNET J.-M., MERMIN É. et DUPIRE S. 2016 – Mise en valeur des données LiDAR – Canton du Valais – Grenoble : IRSTEA – 66 p.
- MÜLLER J. and BÜTLER R. 2010 – A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests - *European Journal of Forest Research*, Vol. 129 (6) – p. 981-992
- NIERHAUS-WUNDERWALD D. 1996 – *Les ennemis naturels des scolytides*. – Notice pour le praticien, n° 19 – Birmensdorf : Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage – 8 p.
- ORMAN O. and SZEWCZYK J. 2015 – European beech, silver fir, and Norway spruce differ in establishment, height growth, and mortality rates on coarse woody debris and forest floor – a study from mixed beech forest in the Western Carpathians – *Annals of Forest Science* (72) – p. 955-965
- PETRILLO M., CHERUBINI P., SARTORI G., ABIVEN S., ASCHER J., BERTOLDI D., CAMIN F., BARBERO A., LARCHER R. and EGLI M. 2015 – Decomposition of Norway spruce and European larch coarse woody debris (CWD) in relation to different elevation and exposure in an Alpine setting. – *iForest*, 9 – p. 154-164
- PETRILLO M., CHERUBINI P., FRAVOLINI G., MARCHETTI M., ASCHER J., SCHARER N., SYNAL H.-A., BERTOLDI D., CAMIN F., LARCHER R. and EGLI M. 2016 – Time since death and decay rate constants of Norway spruce and European larch deadwood in subalpine forests determined using dendrochronology and radiocarbon dating. – *Biogeosciences*, 13 – p. 1537-1552
- PUTALLAZ J.-M. 2010 – *Protection à long terme contre les avalanches sur les surfaces de chablis* – Zürich : Institut pour l'Étude de la Neige et des Avalanches (SLF) – 76 p.
- REY Freddy, BALLAIS Jean-Louis, MARRE Alain, ROVERA Georges. 2004 – Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. – *Comptes Rendus Geoscience*, vol. 336 (n° 11) – p. 991-998
- RICKLI Christian and GRAF Frank. 2009 – Effects of forests on shallow landslides – case studies in Switzerland. – *Forest, Snow and Landscape Research*, 82 – p. 33-44
- SCHIEGG PASINELLI K. et SUTER W. 2000 – *Le bois mort – un habitat*. – Notice pour le praticien, n°33 – Birmensdorf : Institut fédéral de recherche WSL – 6 p.
- SCHNEIDER I. 2016 – *Influence of deadwood on the protective function of mountain forests against rockfall* – Saint-Martin-d'Hères : French national Research Institute of Science and Technology for Environment and Agriculture (IRSTEA), University of Padova (UNIPD) – 109 p.
- STÖCKLI B. 1996 – *La régénération des forêts de montagne sur du bois mort* – Notice pour le praticien, n° 26 – Birmensdorf : Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage – 8 p.
- STOKLAND J., SIITONEN J. and JONSSON B.G. 2012 – *Biodiversity in dead wood*. – Cambridge University Press. – 509 p.
- SZEWCZYK J. and SZWAGRZYK J. 1996 – Tree regeneration on rotten wood and soil in old-growth stand – *Vegetatio* 122 – p. 37-46
- TEICH Michaela, BARTLET Perry, GRET-REGAMEY Adrienne, BEBI Peter. 2012 – Snow avalanches in forested terrain: Influence of forest parameters, topography, and avalanche characteristics on runout distance. – *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, vol. 44 – p. 509-5019
- VENNETIER M., LADIER J., REY F. 2014 – Le contrôle de l'érosion des sols forestiers par la végétation face aux changements globaux. – *Revue Forestière Française*, Ecole nationale du génie rural, LXVI (4) – p. 467-478

- WASSER B., FREHNER M. 1996 – *Soins minimaux pour les forêts à fonction protectrice. Instructions.* – Berne: Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. – 228 p.
- ZELL J., KANDLER G. and HANEWINKEL M. 2009 – Predicting constant decay rates of coarse woody debris-A meta-analysis approach with a mixed model. – *Ecological Modelling*, 220 – p. 904-912

## Liste des contacts

| NOM<br>Prénom       | Fonction   | Adresse  | Téléphone<br>Mail   |
|---------------------|--|--|---|
| BERGER<br>Frédéric  | Chercheur IRSTEA<br>Chutes de pierres  | 2 Rue de la Papeterie<br>38402 Saint-Martin-d'Hères<br>France                          | + 33 (0)4 76 76 28 00<br><a href="mailto:frederic.berger@irstea.fr">frederic.berger@irstea.fr</a>         |
| BÜTLER<br>Rita      | Responsable de l'interface de<br>recherche - pratique pour la<br>Suisse romande<br>WSL Lausanne                  | Case postale 96<br>CH - 1015 Lausanne 15   | + 41 (0)21 693 63 36<br><a href="mailto:rita.buetler@wsl.ch">rita.buetler@wsl.ch</a>                      |
| DUPIRE<br>Sylvain   | Ingénieur forestier<br>Doctorant IRSTEA  | 2 Rue de la Papeterie<br>38402 Saint-Martin-d'Hères<br>France                          | + 33 (0)4 76 76 28 29<br><a href="mailto:sylvain.dupire@irstea.fr">sylvain.dupire@irstea.fr</a>           |
| FAYARD<br>Olivier   | Chef de Projet<br>Service études - Agence<br>territoriale Haute-Savoie<br>ONF                                    | 6 avenue de France<br>74000 Annecy<br>France   | + 33 (0)4 50 23 06 00<br><a href="mailto:olivier.fayard@onf.fr">olivier.fayard@onf.fr</a>                 |
| FUHR<br>Marc        | Chercheur IRSTEA<br>Écologie des forêts de<br>montagne   | 2 Rue de la Papeterie<br>38402 Saint-Martin-d'Hères<br>France                          | + 33 (0)4 76 76 27 28<br><a href="mailto:marc.fuhr@irstea.fr">marc.fuhr@irstea.fr</a>                     |
| GLANZMANN<br>Lukas  | Collaborateur et professeur<br>Centre de sylviculture de<br>montagne   | ibW Centre forestier de<br>formation<br>Bovel / Case postale 52<br>CH - 7304 Maienfled | + 41 (0)81 403 34 10<br><a href="mailto:lukas.glanzmann@ibw.ch">lukas.glanzmann@ibw.ch</a>                |
| LACOMBE<br>Éric     | Enseignant chercheur UFR<br>Forêt, Arbre, milieux naturels<br>AgroParisTech Nancy                                | 14 rue Girardet<br>54000 Nancy<br>France   | + 33 (0)3 83 39 68 70<br><a href="mailto:eric.lacombe@agroparistech.fr">eric.lacombe@agroparistech.fr</a> |
| LETEY<br>Corrado    | Inspecteur forestier<br>Département Agriculture et<br>Ressources Naturelles<br>Région Autonome Vallée<br>d'Aoste | LOC. Torrent de Maillod, 9<br>11020 QUART<br>Italie                                    | + 39 (0) 165 775722<br><a href="mailto:c.letey@regione.vda.it">c.letey@regione.vda.it</a>                 |
| MÉTRAL<br>Roland    | Ingénieur forestier<br>Service des forêts, des cours<br>d'eau et du paysage<br>Canton du Valais                  | Rue du Léman 29<br>CH - 1920 Martigny  | + 41 (0)27 607 10 05<br><a href="mailto:roland.metral@admin.vs.ch">roland.metral@admin.vs.ch</a>          |
| PONSART<br>Frédéric | Technicien Forestier<br>Territorial<br>Unité territoriale Pays du<br>Mont Blanc ONF                              | 82 impasse du Four<br>74190 Passy<br>France  | + 33 (0)4 50 91 28 34<br><a href="mailto:frederic.ponsart@onf.fr">frederic.ponsart@onf.fr</a>             |

# Lexique

---

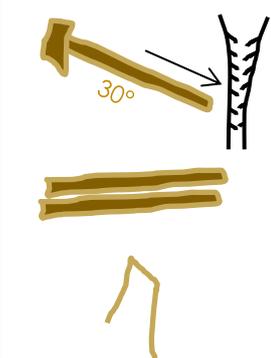
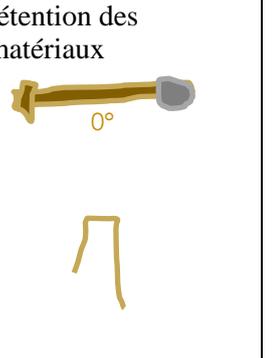
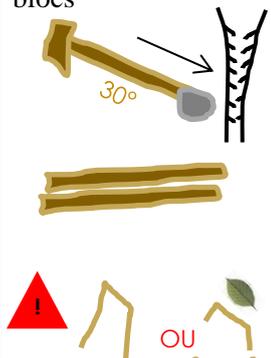
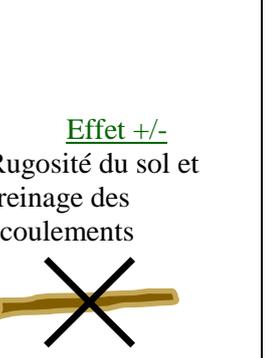
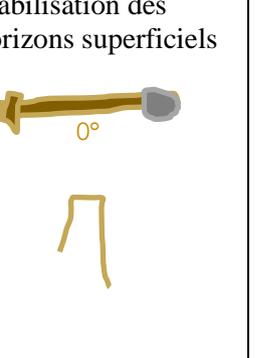
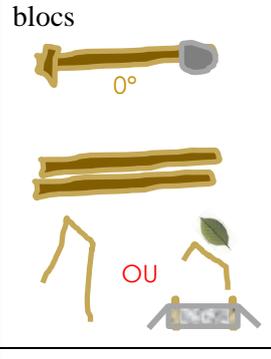
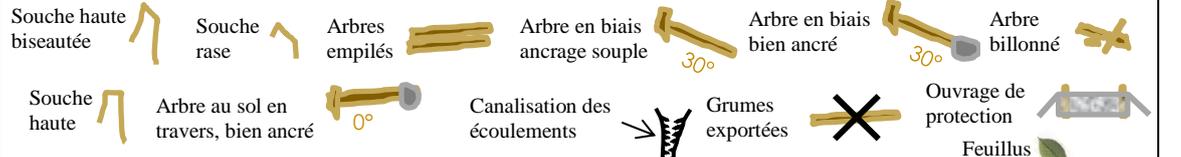
- Abiotique : adjectif caractérisant quelque chose de non vivant.
- Anaérobique : se réfère à un milieu où l'oxygène est absent
- Biomasse : masse totale de la matière organique
- Chablis : arbre déraciné
- Chaîne trophique (ou chaîne alimentaire) : ensemble des relations qui s'établissent entre les organismes en fonction de la façon dont ceux-ci se nourrissent
- Embâcle : accumulation naturelle de matériaux transportés dans un cours d'eau
- En plein : se dit d'une intervention traitant l'ensemble du peuplement en continuité
- Grume : tronc d'arbre abattu
- Martelage : opération qui consiste à identifier les arbres à abattre
- Ouverture : zone résultant de la coupe de tous les arbres, créée en montagne pour l'installation du rajeunissement
- Rajeunissement (régénération) : ensemble du matériel forestier (semis et perchis) assurant le renouvellement du peuplement
- Reptation : phénomène de glissement des particules superficielles vers le bas
- Volis : arbre brisé
- Xylophage : organisme vivant dont le régime alimentaire est composé principalement de bois

# Annexes

## Table des annexes répétée

|  |    |
|--|----|
| Annexe 1 : Tableau des préconisations en termes d'utilisation du bois au sol pour la protection selon la bibliographie.....      | 68 |
| Annexe 2 : Guides d'entretien pour l'enquête auprès des gardes .....   | 69 |
| Annexe 3 : Guide d'entretien pour l'enquête auprès des forestiers-bûcherons.....   | 72 |
| Annexe 4 : Guide d'entretien pour l'enquête auprès des politiques .....  | 74 |
| Annexe 5 : Classes de décomposition des arbres au sol et des souches.....  | 76 |
| Annexe 6 : Protocole retenu pour l'acquisition des données d'intérêt sur le terrain.....   | 77 |
| Annexe 7 : Tableau utilisé sous format informatique pour les relevés .....   | 80 |
| Annexe 8 : Tableau des variables inventoriées avec leurs significations et unités .....  | 84 |
| Annexe 9 : Tableau récapitulatif des relevés .....   | 88 |
| Annexe 10 : Matrice des corrélations, variables étudiées pour le rajeunissement et la décomposition.....                         | 89 |
| Annexe 11 : Graphique de l'analyse en composantes principales des variables étudiées .....                                       | 90 |
| Annexe 12 : Résultats des tests de Student pour l'âge du bois mort support de rajeunissement viable ....                         | 91 |
| Annexe 13 : Statistiques du modèle liant l'âge des semis à l'âge du bois mort support.....                                       | 92 |
| Annexe 14 : Résultats des tests de Student pour l'âge du bois mort selon les classes de décomposition..                          | 93 |
| Annexe 15 : Résultats des tests de variance et modèles de décomposition des souches et arbres au sol selon leurs dimensions..... | 94 |
| Annexe 16 : Tableau récapitulatifs des préconisations d'utilisation du bois mort au sol selon les contextes.....                 | 96 |
| Annexe 17 : Formulaire 2 NaiS, modifié.....  | 97 |
| Annexe 18 : Recueil des documents à disposition des gardes pour déterminer le besoin en bois au sol...                           | 98 |
| Annexe 19 : Fiche de synthèse des outils de communications au sujet du bois mort au sol.....                                     | 99 |

Annexe 1 : Tableau des préconisations en termes d'utilisation du bois au sol pour la protection selon la bibliographie

|   | Chutes de pierres   | Avalanches   | Crues torrentielles / Bassin versant   | Glissements   |
|---|---|--|--|---|
| Zone de déclenchement<br>Bassin versant | <p><b>Effet ++</b><br/>Freinage et arrêt des blocs</p>     | <p><b>Effet +++</b><br/>Ancrage du manteau neigeux</p>      | <p><b>Effet ++</b><br/>Stabilisation du bassin versant et rétention des matériaux</p>  |   |
| Zone de transit                         | <p><b>Effet +</b><br/>Freinage et arrêt des blocs</p>    | <p><b>Effet +</b><br/>Freinage des coulées, rugosité</p>  | <p><b>Effet +/-</b><br/>Rugosité du sol et freinage des écoulements</p>              | <p><b>Effet +/-</b><br/>Stabilisation des horizons superficiels</p>  |
| Zone de dépôt                           | <p><b>Effet +++</b><br/>Freinage et arrêt des blocs</p>  | <p><b>Effet ++</b><br/>Freinage et arrêt des coulées</p>  |  |   |
| Légende                                 |   |  |  |   |

## Annexe 2 : Guides d'entretien pour l'enquête auprès des gardes

GARET Élie

Date d'édition : 30.08.2017

### Préparation de l'enquête terrain auprès des gardes

---

Triage : Garde(s) : Date entretien :

L'enquête est anonyme et vise à faire le point sur l'utilisation du bois mort au sol en sylviculture dans l'arrondissement du Bas-Valais, en l'inscrivant dans un contexte européen de développement de cette technique.

Grands thèmes à aborder :

- Utilisation du bois mort au sol ?
  - o Type (souche, tronc, branches)
  - o Fréquence (régulier ou seulement sur demande extérieure)
  - o Motivations
    - Protection/biodiversité/rajeunissement/cycle de la matière/exploitation impossible/obligation juridique
    - Effet escompté
  - o Réussite ou échec globalement

En se concentrant sur des exemples marquants (réussite ou échec):

- Contexte du chantier :
  - o Lieu
  - o Propriétaire
  - o Essences
  - o Station
  - o Pente
  - o Desserte
  - o Date
  - o Altitude
  - o Proximité avec site à enjeu social/tourisme
  - o Météo du chantier ?
  - o Bois mort au sol déjà en place ? Depuis quand ? Etat ?
  - o Point de vue juridique
  - o Motivation du chantier/Type d'intervention NaiS
  - o Aléas en question et historique connu
- Mise en place du chantier :
  - o Débardage partiel ou absent (distinction des arbres à laisser au martelage ou pendant travaux, quels critères)

- o Nature de la coupe : éclaircie en plein/arrêtes de poisson/trouées
- o Chantiers arbres débardés et laissés sur place différents
- o Techniques d'abattage particulières ?
- o Techniques mise en œuvre pour mise en place des arbres (Angle dans la pente)
- o Billonnage ? Ecorçage ? Hérisson ?
- o Troncs ancrés grâce aux souches
- o Nombre d'arbres (par hectare)/proportion
- o Problèmes techniques rencontrés pendant le chantier ?
- o Quelle entreprise/personnes (triage ou non)
  - Quel contact avec le(s) bucherons/ garde (respectivement) présence au martelage?
  - Quelles consignes ? Connaissance de NaïS (bucherons)?
- o Suivi du chantier ?
- o Remarque du public/des usagers, communication au public ?
- Fin du chantier :
  - o Résultat conforme aux attentes ?
  - o Remarques particulières au sujet de l'impact du chantier sur la parcelle (érosion notable, dégâts aux arbres alentours, ...)
  - o Durée du chantier
  - o Traitement des rémanents
  - o Bilan économique : positif/négatif/ sacrifices exploitabilité / Subventions obligatoire ?
- Suivi de l'évolution :
  - o Dégradation des bois/problèmes sanitaires
  - o Mouvements des bois ?
  - o Efficacité de l'ouvrage ?
    - Blocs retenus/neige retenue/disparition des événements/accumulation d'éléments fins/canalisation des phénomènes
    - Apparition de rajeunissement à proximité du bois mort
    - Meilleure qualité/quantité du rajeunissement ?

- Observation d'espèces d'intérêt
- Diminution des phénomènes passés (blocs, avalanches, érosion)
- Quel temps de retour sur la parcelle
- Amélioration de la station ? Du sous étage ?
- Impact paysager ? Remarques du public/des usagers
- Idée de communication (panneaux, sites internet, journaux officiels, brochures office du tourisme/communes, réunions publiques)
- Ouverture :
  - Quelle vision de la technique après la discussion et la présentation de ses avantages ?
  
  - Proposition de lieux où la technique pourrait s'avérer utile/inutile
    - Contexte particulier
  
    - Lieux où la technique a été utilisée avant 2008/2010 pour reculer sur l'évolution et efficacité ou non

---

Remarques diverses :

## Annexe 3 : Guide d'entretien pour l'enquête auprès des forestiers-bûcherons

GARET Élie

Date d'édition : 30.08.2017

### Guide d'entretien auprès des bûcherons

---

Triage : Nom : Date entretien :  
Parcours :

L'enquête est anonyme et vise à faire le point sur l'utilisation du bois mort au sol en sylviculture dans l'arrondissement du Bas-Valais, en l'inscrivant dans un contexte européen de développement de cette technique.

Grands thèmes à aborder :

- Utilisation du bois mort au sol ?
  - o Type (souche, tronc, branches)
  - o Depuis quand ? Source de cette connaissance ?
  - o Motivations
    - Protection/biodiversité/rajeunissement/cycle de la matière/exploitation impossible/obligation juridique/économie
    - Effet escompté
  - o Réussite ou échec globalement

Et concrètement :

- o Distinction des arbres à laisser au sol, martelage ou plus tard ? Tous les chantiers ?
- o Essences ?
- o Chantiers arbres débardés et laissés sur place différents
- o Retour sur le chantier pour nettoyage ?
- o Techniques d'abattage particulières ?
- o Techniques mise en œuvre pour mise en place des arbres (Angle dans la pente)
- o Troncs ancrés grâce aux souches
- o Pente limite ?
- o Billonnage ? Ecorçage ? Hérisson ?
- o Traitement des rémanents
- o Nombre d'arbres (par hectare)/proportion
- o Problèmes techniques rencontrés pendant les chantiers, liés à l'obligation de bois au sol ?
- o Quel contact avec le garde ? Suivi du chantier ?

- o Quelles consignes du garde ? Présence au martelage ? Connaissance de NaiS ?
- o Contact entreprise

Analyse/Évaluation de la technique et de son évolution :

- o Résultat conforme aux attentes ?
- o Sacrifice d'exploitabilité
- o Dégradation des bois/problèmes sanitaires
- o Mouvements des bois ?
- o Efficacité de l'ouvrage ?
  - Blocs retenus/neige retenue/disparition des événements/accumulation d'éléments fins/canalisation des phénomènes
  - Diminution des phénomènes passés (blocs, avalanches, érosion)
  - Apparition de rajeunissement à proximité du bois mort
  - Meilleure qualité/quantité du rajeunissement ?
- o Impact paysager ? Remarques du public/des usagers ? Comportement spécifique si enjeu social proche
- o Idée de communication (panneaux, sites internet, journaux officiels, brochures office du tourisme/communes, réunions publiques)

Conclusion :

- o Quelle vision de la technique après la discussion et la présentation de ses avantages ?

---

Remarques diverses :

## Annexe 4 : Guide d'entretien pour l'enquête auprès des politiques

GARET Élie

30.08.2017

### Guide entretien enquête terrain auprès des politiques

*Utilisation du bois mort au sol*

---

L'enquête est anonyme et vise à faire le point sur l'utilisation du bois mort au sol en sylviculture dans l'arrondissement du Bas-Valais, en l'inscrivant dans un contexte européen de développement de cette technique.

Grands thèmes à aborder/déroulé :

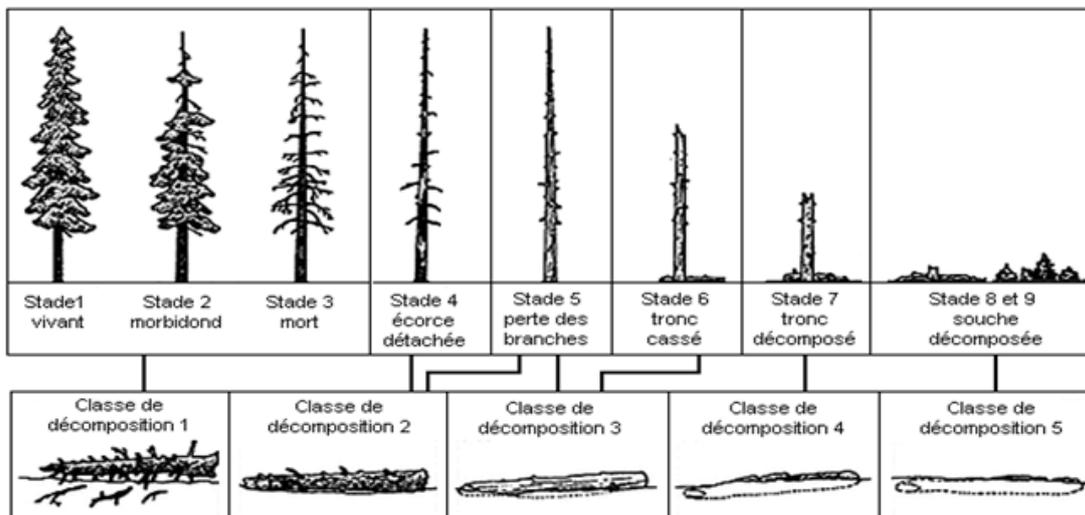
- Qui ?
  - o Privé ou commune ?
  - o Fonction, métier
  - o Profil : environnement/nature/sylviculture/risques naturels
  
  - o Habitant de la commune ? Proximité de la forêt ?
  
- Milieu naturel/forêts de la propriété :
  - o Risques ? directs/indirects ?
  
  - o Ouvrages ?
  
  - o Forêt concernée ?
  
- Forêt :
  - o Rapport à la forêt
  
  - o Proximité à la forêt
  
  - o Essences
  
  - o Coupes ? Vision des coupes ?
  
  - o Utilisation du bois
  
- Bois mort au sol ?
  - o Vision du bois mort au sol (quoi ? qu'est-ce que ça signifie ? positif/négatif)
  
  - o Utilisation/impact ?
  
  - o Positif/négatif ?

- Expérience personnelle avec bois mort/une situation marquante :
  - o Contexte :
    - Lieu
    - Forêt/essences
    - Risque
  - o Type (troncs, souches, branches) Quel bois au sol ?
  - o Pour quelle Efficacité :
    - Événements antérieurs et postérieurs
    - Combinaison avec ouvrages de génie civil ?
- Bilan économique du bois au sol ?
- Impact paysager
  - Ressenti du point de vue du public
  - Idée de communication (panneaux, sites internet, journaux officiels, brochures office du tourisme/communes, réunions publiques)

Pour conclure :

- Quelle évolution du point de vue lorsque l'on présente tous les avantages du bois mort utilisé au sol ? Quelle utilisation ? Quels avantages ?

**Annexe 5 : Classes de décomposition des arbres au sol et des souches**



**Classes de décomposition des arbres au sol selon MASER & TRAPPE (1984)**

| Caractéristiques des arbres tombés  | Classes de décomposition des arbres au sol |   |                              |   |                         |
|-------------------------------------|--|---|------------------------------|---|-------------------------|
|                                     | 1  | 2   | 3                            | 4   | 5                       |
| Ecorce                              | intacte                                    | intacte                                     | traces                       | aucune                                    | aucune                  |
| Branches (3 cm)                     | existantes                                 | aucune                                      | aucune                       | aucune                                    | aucune                  |
| Texture                             | intacte                                    | intacte à partiellement tendre              | dure, gros morceaux          | petits morceaux tendres en forme de cubes | tendre et pulvérulente  |
| Forme                               | ronde                                      | ronde                                       | ronde                        | ronde à ovale                             | ovale                   |
| Couleur du bois                     | couleur originelle                         | couleur originelle                          | couleur originelle à colorée | brun clair à rouge-brun                   | rouge-brun à brun foncé |
| Part de bois en contact avec le sol | seulement aux points d'appui               | aux points d'appui, tronc légèrement penché | tronc penché vers le sol     | tout le tronc au sol                      | tout le tronc au sol    |
| Implantation de racines de plantes  | aucune                                     | aucune                                      | dans l'aubier                | dans le duramen                           | dans le duramen         |

*Classe*

|                             | I        | II                           | III                          | IV   | V                                    |
|-----------------------------|----------|------------------------------|------------------------------|--|--------------------------------------|
| Agé en MAC B                | 6 ans    | 20 ans                       | 40 ans                       | ?  | ?                                    |
| Ecorce                      | en place | décollée, persistante autour | absente en partie            | absente                                      | absente                              |
| Aubier                      | dur      | Friable en périphérie        | friable sous forme de prisme | friable pulvérulent                          | pourri                               |
| Cœur                        | dur      | dur                          | dur                          | début pourriture                             | pourriture brun-rouge ou grise       |
| Litière                     | absente  | peu abondante                | mince et non fermentée (OL)  | ± épaisse en transformation (OF) sur les 3/4 | abondante humification (OH) complète |
| Colonisation par végétation | absente  | très faible                  | faible                       |  |                                      |

**Classes de décomposition des souches et critères de reconnaissance (Gensac 1990)**

## Annexe 6 : Protocole retenu pour l'acquisition des données d'intérêt sur le terrain

Le protocole de relevés présenté ci-après a pour objectif l'acquisition de données quant à l'efficacité du bois au sol et sa durabilité. Ces sujets sont en partie bien traités par diverses études, néanmoins certains points restent flous et difficile à retranscrire dans le contexte valaisan. C'est pourquoi ces protocoles visent à préciser les deux points suivants :

- La vitesse d'installation des semis sur le bois mort au sol dans les peuplements et climats du Bas-Valais
- Les vitesses de décomposition des essences dans le climat du Bas-Valais, mis en perspective avec la diminution de l'effet protecteur

Ce protocole de relevés sera mis en œuvre à l'échelle des ouvertures créées lors des interventions en forêt de protection, dans le but de l'installation du rajeunissement. Pour cela une première partie consiste donc en la caractérisation du contexte du relevé, correspondant aux caractéristiques de l'ouverture. Les relevés devront se porter sur un maximum de chantier dans des conditions variables (peuplements, âge, expositions, pentes ...). L'objectif n'étant pas de comparer les différents chantiers mais plutôt des ouvertures et les pièces de bois au sol disposées en son sein, la répétition de relevés sur un même chantier n'est pas la plus pertinente. Il faut plutôt se concentrer sur l'inventaire d'un maximum de pièces de bois avec du rajeunissement ou non, plus ou moins décomposées et dans des conditions naturelles diverses.

### Description des parties du protocole :

#### *Partie 1 : contexte du relevé : caractéristiques de l'ouverture*

- Date, nom des agents, coordonnées GPS de l'ouverture, lieu
- Forme de l'ouverture (ronde, ovale, rectangulaire, carrée, ou en fente : très allongée)
- Taille de l'ouverture : longueur dans la pente et largeur en travers de pente, mesure réalisée à l'aide d'un décimètre
- Exposition de l'ouverture<sup>2</sup>
- Pente<sup>1</sup>
- Altitude<sup>1</sup>
- Station forestière<sup>1</sup>
- Relief général de l'ouverture (creux, crête ou versant rectiligne)
- Caractéristiques du peuplement adjacent :
  - o Essences principales (3 essences majoritaires retenues, avec leurs proportions respectives au sein du peuplement, en pourcentage, la somme valant 100)
  - o Strates (recouvrement au sol de chacune des strates, en pourcentages, la somme pouvant valoir plus de 100 par superposition des strates)

<sup>2</sup> Éléments disponibles au bureau par le SIG, non obligatoires sur le terrain

- o Rajeunissement (recouvrement du rajeunissement des trois essences majoritaires dans le peuplement)
- Recouvrement arbustif de l'ouverture (exprimé en pourcentage)
- Recouvrement herbacé de l'ouverture (exprimé en pourcentage, la somme des recouvrements arbustif et herbacé doit valoir 100)
- Présence/absence de traces d'abroustissement sur la végétation de l'ouverture

*Partie 2 : relevé du bois mort au sol (d'origine anthropique afin d'avoir un âge de mort précis), chaque pièce de bois mort au sol de l'ouverture est inventoriée*

- Position dans l'ouverture (lisière basse, lisière haute, lisière latérale, centre)
- Essence
- Classe de décomposition (1 à 5, selon la classification de Maser et Trapp)
- Âge (déterminé selon la date de l'intervention et la date du relevé)
- Type (souche ou tronc)
- Contact avec le sol (Aucun, Partiel ou Total)
- Angle dans la pente (90° correspondant à la plus grande pente)
- Hauteur du bois mort par rapport au sol (mesurée à l'amont)
- Longueur (mesure réalisée seulement sur les arbres au sol)
- Diamètre à mi-billon pour les arbres au sol
- Diamètre à la coupe pour les souches
- Recouvrement par la végétation environnante (Oui/Partiel/Non) et si oui, espèce majoritaire
- État de l'écorce (Oui/Partielle/Non)
- Présence/absence de marques de striage (observation abandonnée au cours de la campagne d'inventaire car trop difficile à déterminer, d'autant plus à cause de la décomposition parfois avancée. Cette caractéristique pourrait être intéressante si elle est renseignée à l'origine de la mise en place du bois au sol)
- Présence/absence de mousse
- Présence/absence significative de champignons
- Présence/absence de terre recouvrant le bois mort
- Durée d'ensoleillement en juin (boussole solaire)

*Partie 3 : relevé pour qualifier l'effet protecteur du bois mort, comme la partie 2, pour chacune des pièces de bois mort présente dans l'ouverture*

- Nombre de pierres (dimensions > 20 cm) retenues
- Dimension maximale des pierres retenues
- Dimension minimale des pierres retenues
- Nombre de traces d'impacts de pierres (observation abandonnée au cours de la campagne d'inventaire car trop difficilement discernable à cause de la décomposition et des nombreuses causes d'impacts autres que celle d'intérêt)
- Quantité de minéraux en amont du bois mort (en pourcentage de la hauteur du bois mort recouverte, mesure réalisée seulement pour les arbres au sol)

- Présence/absence d'une cassure (cassure fin bout, cassure gros bout ou absence), caractère difficile à relever à causes des nombreuses sources d'erreurs d'appréciation au sujet de la cause de la cassure, et du faible nombre d'observations
- Nombre d'ancrages en aval du bois mort (souches, arbres, relief ...), seulement pour les arbres au sol

*Partie 4 : relevé de tous les semis installés sur les pièces de bois mort inventoriées dans la partie 2*

- Essence
- Hauteur du semis
- Hauteur de la base du semis par rapport au sol
- Estimation de l'âge du semis (notamment à l'aide des verticilles)
- Présence/absence d'abroutissement
- Présence/absence d'avenir (jugement personnel selon certains indicateurs tels que : la difficulté d'enracinement si le support bois au sol est trop peu décomposé, les traces de dépérissements)
- Présence/absence de dégâts dus à la neige (base en cor des Alpes)
- Installation du semis dans une fente (oui/non), observation qui se voulait apporter une information sur les emplacements d'installation du rajeunissement sur les souches, mais qui ne s'est pas avérer utile lors de relevé sur le terrain.
- Longueur de la pousse terminale
- Référence du bois mort sur lequel le semis est installé

**Matériel nécessaire pour l'inventaire :**

- Clisimètre (sauf si la pente est relevée à partir du SIG)
- Boussole (sauf si l'exposition est relevée à partir du SIG)
- Altimètre ou carte précise avec lignes de niveau (sauf si l'altitude est relevée à partir du SIG)
- Décamètre
- Carte des stations forestières ou clé de détermination (sauf si l'information est tirée du SIG)
- Clé de détermination des classes de décomposition (souches et grumes au sol)
- Rapporteur
- Compas forestier
- Règle
- Boussole solaire

Annexe 7 : Tableau utilisé sous format informatique pour les relevés

|  |        |                       |
|--|--------|-----------------------|
|  | unite  | Nombre                |
|  | code   | ID                    |
|  | date   | Date                  |
|  | code   | Triage                |
|  | texte  | Lieu                  |
|  | texte  | Nom                   |
|  | degres | GPS_X                 |
|  | MGS_84 | degres                |
|  | MGS_84 | GPS_Y                 |
|  | texte  | Microrelief           |
|  | metres | Taille_ouv_larg       |
|  | metres | Taille_ouv_long_pente |
|  | texte  | Forme_ouv             |
|  | texte  | P_essence1            |
|  | %      | P_essence1_pour       |
|  | %      | P_essence1_raj        |
|  | texte  | P_essence2            |
|  | %      | P_essence2_pour       |
|  | %      | P_essence2_raj        |
|  | texte  | P_essence3            |
|  | %      | P_essence3_pour       |
|  | %      | P_essence3_raj        |
|  | %      | Strate1               |
|  | %      | Strate2               |
|  | %      | Strate3               |
|  | %      | Strate4               |
|  | %      | Arbu_recouv           |
|  | texte  | Arbu_espece1          |
|  | texte  | Arbu_espece2          |
|  | texte  | Arbu_espece3          |
|  | metres | Arbu_hmoy             |
|  | %      | Herb_recouv           |
|  | texte  | Herb_espece1          |
|  | texte  | Herb_espece2          |
|  | texte  | Herb_espece3          |
|  | metres | Herb_hmoy             |
|  | texte  | Abrou_veg_ouv         |
|  | texte  | Homogeneite_ouv       |
|  | texte  | schema                |

Feuille de relevé contexte

| ID   | Lit_germi | Recrû initial |                |             |             |            |             |               | Rajeunissement établi |            |         |         |        |         |           | Remarque |
|------|-----------|---------------|----------------|-------------|-------------|------------|-------------|---------------|-----------------------|------------|---------|---------|--------|---------|-----------|----------|
|      |           | Rec_ini_ess   | Rec_ini_recouv | Rec_ini_bmc | Rec_ini_bma | Rec_ini_av | Rec_ini_gib | Rec_ini_neige | Raj_ess               | Raj_recouv | Raj_bmc | Raj_bma | Raj_av | Raj_gib | Raj_neige |          |
| code | %         | texte         | %              | %           | %           | %          | %           | %             | texte                 | %          | %       | %       | %      | %       | %         | texte    |
|      |           |               |                |             |             |            |             |               |                       |            |         |         |        |         |           |          |
|      |           |               |                |             |             |            |             |               |                       |            |         |         |        |         |           |          |
|      |           |               |                |             |             |            |             |               |                       |            |         |         |        |         |           |          |
|      |           |               |                |             |             |            |             |               |                       |            |         |         |        |         |           |          |
|      |           |               |                |             |             |            |             |               |                       |            |         |         |        |         |           |          |
|      |           |               |                |             |             |            |             |               |                       |            |         |         |        |         |           |          |
|      |           |               |                |             |             |            |             |               |                       |            |         |         |        |         |           |          |
|      |           |               |                |             |             |            |             |               |                       |            |         |         |        |         |           |          |
|      |           |               |                |             |             |            |             |               |                       |            |         |         |        |         |           |          |
|      |           |               |                |             |             |            |             |               |                       |            |         |         |        |         |           |          |
|      |           |               |                |             |             |            |             |               |                       |            |         |         |        |         |           |          |
|      |           |               |                |             |             |            |             |               |                       |            |         |         |        |         |           |          |
|      |           |               |                |             |             |            |             |               |                       |            |         |         |        |         |           |          |
|      |           |               |                |             |             |            |             |               |                       |            |         |         |        |         |           |          |
|      |           |               |                |             |             |            |             |               |                       |            |         |         |        |         |           |          |
|      |           |               |                |             |             |            |             |               |                       |            |         |         |        |         |           |          |
|      |           |               |                |             |             |            |             |               |                       |            |         |         |        |         |           |          |
|      |           |               |                |             |             |            |             |               |                       |            |         |         |        |         |           |          |

Feuille de relevé du rajeunissement de l'ouverture (sans distinction entre rajeunissement sur bois mort ou non)

État des lieux de l'utilisation du bois mort au sol  
 Utilisation du bois au sol en sylviculture de montagne  
 GARET Élie

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | code   | ID             |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------|----------------|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | nb     | NUM_BMS        |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | texte  | BM_ess         |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | classe | BM_decomp      |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | nb     | BM_age         |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | texte  | BM_type        |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | texte  | BM_sol         |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | °      | BM_angle       |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | m      | BM_haval       |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | m      | BM_hamont      |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | m      | BM_long        |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | cm     | BM_diam        |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | cm     | BM_dsol        |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | texte  | BM_veg_recouv  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | texte  | BM_vegmaj      |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | code   | NUM_BMS        |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | O/I/N  | BM_ecorce      |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | O/N    | BM_striage     |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | O/N    | BM_champi      |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | O/N    | BM_mousse      |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | O/N    | BM_terre       |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | nombre | BM_soleil      |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | texte  | BM_position    |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | nombre | BM_nbpierres   |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | cm     | BM_dmaxpierres |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | cm     | BM_dminpierres |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | nb     | BM_impacts     |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | %      | BM_mineraux    |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | m      | BM_cass        |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | nombre | BM_ancrage     |

Inventaire bois mort sol

Feuille de relevé pour le bois mort au sol



## Annexe 8 : Tableau des variables inventoriées avec leurs significations et unités

| Variables               | Unité                | Signification  |
|-------------------------|----------------------|--|
| Feuille Relevé Contexte |                      |  |
| Nombre                  | unite                | Nombre de relevés enregistrés  |
| ID                      | code                 | Identifiant du relevé  |
| Date                    | date                 | Date du relevé   |
| Triage                  | code                 | Triage forestier dans lequel le relevé se trouve   |
| Lieu                    | texte                | Description du lieu du relevé  |
| Nom                     | texte                | Nom des personnes ayant réalisé le relevé  |
| GPS_X                   | degres_WGS_84        | Longitude du relevé (degrés, en WGS_84)  |
| GPS_Y                   | degres_WGS_84        | Latitude du relevé (degrés, en WGS_84)   |
| Microrelief             | texte, 3 valeurs     | Description du microrelief du relevé   |
| Taille_ouv_larg         | metres               | Taille de l'ouverture, largeur (en travers de la pente)  |
| Taille_ouv_long         | metres               | Taille de l'ouverture, longueur (dans le sens de la pente)   |
| Forme_ouv               | texte, 5 valeurs     | Forme de l'ouverture   |
| Exposition              | Degres (0 à 360)     | Exposition de l'ouverture (obtenue par le SIG)   |
| Expo_4                  | 1, 2, 3 ou 4         | Exposition en variable discrète (1 de 315° à 45°, 2 de 45° à 135°, 4 de 135° à 225° et 3 de 225° à 315°) 1 à 4 de plus en plus séchard |
| Expo_180                | degres (0 à 180)     | Exposition en degré, Nord-Sud, sans distinction Est-Ouest  |
| Altitude                | metres               | Altitude de l'ouverture (obtenue par le SIG)   |
| Pente                   | degres               | Pente dans l'ouverture (obtenue par le SIG)  |
| Station_forest          | texte                | Station forestière de l'ouverture (obtenue par le SIG)   |
| P_essence1              | texte liste essences | Description du peuplement, essence majoritaire   |
| P_essence1_pour         | %                    | Pourcentage de l'essence majoritaire du peuplement   |
| P_essence1_raj          | %                    | Pourcentage de recouvrement du rajeunissement de l'essence majoritaire (dans le peuplement)  |
| P_essence2              | texte liste essences | Description du peuplement, deuxième essence  |
| P_essence2_pour         | %                    | Pourcentage de la deuxième essence du peuplement   |
| P_essence2_raj          | %                    | Pourcentage de recouvrement du rajeunissement de la deuxième essence (dans le peuplement)  |
| P_essence3              | texte liste essences | Description du peuplement, troisième essence   |
| P_essence3_pour         | %                    | Pourcentage de la troisième essence du peuplement  |
| P_essence3_raj          | %                    | Pourcentage de recouvrement du rajeunissement de la troisième essence (dans le peuplement)   |
| Strate1                 | %                    | Description du peuplement, recouvrement de la strate 1 ( $H > 3/4H_0$ )  |
| Strate2                 | %                    | Description du peuplement, recouvrement de la strate 2 ( $1/2H_0 < H < 3/4H_0$ )   |
| Strate3                 | %                    | Description du peuplement, recouvrement de la strate 3 ( $1/4H_0 < H < 1/2H_0$ )   |
| Strate4                 | %                    | Description du peuplement, recouvrement de la strate 4 ( $H < 1/4H_0$ )  |
| Arbu_recouv             | %                    | Recouvrement de la strate arbustive dans l'ouverture en question   |
| Arbu_espece1            | texte                | Composition de la strate arbustive, 1 à 3 espèces majoritaires   |
| Arbu_espece2            | texte                |  |

|                                 |                      |   |
|---------------------------------|----------------------|---|
| Arbu_espece3                    | texte                |   |
| Arbu_hmoy                       | metres               | Hauteur moyenne de la strate arbustive  |
| Herb_recouv                     | %                    | Recouvrement de la strate herbacée dans l'ouverture en question   |
| Herb_espece1                    | texte                | Composition de la strate herbacée, 1 à 3 espèces majoritaires   |
| Herb_espece2                    | texte                |   |
| Herb_espece3                    | texte                |   |
| Herb_hmoy                       | metres               | Hauteur moyenne de la strate herbacée   |
| Abrou_veg_ouv                   | texte, 3 valeurs     | Indicateur des traces d'abrouissement sur la végétation dans l'ouverture (Importantes, Légères, Absentes)         |
| Homogeneite_ouv                 | texte (oui/non)      | Homogénéité des observations sur la surface de l'ouverture  |
| schema                          | texte (oui/non)      | Réalisation d'un schéma de représentation de l'ouverture  |
| <b>Feuille Rajeunissement</b>   |                      |   |
| ID                              | code                 | Identifiant du relevé   |
| Lit_germi                       | %                    | Pourcentage de recouvrement des lits de germination favorables dans l'ouverture                                   |
| Rec_ini_ess                     | texte liste essences | Essence présente en recrû initial dans l'ouverture (1 ligne par essence et par relevé)                            |
| Rec_ini_recouv                  | %                    | Pourcentage de recouvrement du recrû initial de l'essence par rapport à la surface totale de l'ouverture          |
| Rec_ini_bmc                     | %                    | Pourcentage du recrû initial de l'essence installé sur le bois mort au sol issu du dernier chantier               |
| Rec_ini_bma                     | %                    | Pourcentage du recrû initial de l'essence installé sur le bois mort au sol antécédent au dernier chantier         |
| Rec_ini_av                      | %                    | Pourcentage du recrû initial de l'essence installé en aval de bois mort (arbres au sol/souches)                   |
| Rec_ini_gib                     | %                    | Pourcentage du recrû initial de l'essence présentant des traces d'abrouissement                                   |
| Rec_ini_neige                   | %                    | Pourcentage du recrû initial de l'essence présentant des dégâts dus à la neige                                    |
| Raj_ess                         | texte liste essences | Essence présente en rajeunissement établi dans l'ouverture (1 ligne par essence et par relevé)                    |
| Raj_recouv                      | %                    | Pourcentage de recouvrement du rajeunissement établi de l'essence par rapport à la surface totale de l'ouverture  |
| Raj_bmc                         | %                    | Pourcentage du rajeunissement établi de l'essence installé sur le bois mort au sol issu du dernier chantier       |
| Raj_bma                         | %                    | Pourcentage du rajeunissement établi de l'essence installé sur le bois mort au sol antécédent au dernier chantier |
| Raj_av                          | %                    | Pourcentage du rajeunissement établi de l'essence installé en aval de bois mort (arbres au sol/souches)           |
| Raj_gib                         | %                    | Pourcentage du rajeunissement établi de l'essence présentant des traces d'abrouissement                           |
| Raj_neige                       | %                    | Pourcentage du rajeunissement établi de l'essence présentant des dégâts dus à la neige                            |
| <b>Feuille bois mort au sol</b> |                      |   |
| ID_BMS                          | code                 | Identifiant de la pièce de bois mort  |
| BM_ess                          | texte liste essences | Essence de la pièce de bois mort  |
| BM_decomp                       | classe               | Classe de décomposition de la pièce de bois mort  |
| BM_age                          | nb                   | Âge de la pièce de bois mort (déterminée à partir de l'année du chantier et de celle du relevé)                   |
| BM_type                         | texte                | Souche ou tronc   |

**État des lieux de l'utilisation du bois mort au sol**  
 Utilisation du bois au sol en sylviculture de montagne  
 GARET Élie

|   |                      |  |
|---|----------------------|--|
| BM_sol                                  | texte                | (arbres au sol uniquement) Contact au sol : total, partiel ou absent   |
| BM_angle                                | °                    | (arbres au sol uniquement) Angle dans la pente   |
| BM_haval                                | m                    | Hauteur mesurée à l'aval de la pièce de bois   |
| BM_hamont                               | m                    | (souches uniquement) Hauteur mesurée à l'amont   |
| BM_long                                 | m                    | (arbres au sol uniquement) Longueur  |
| BM_diam                                 | cm                   | Diamètre de la pièce de bois (médián pour les arbres au sol, à la coupe pour les souches)                            |
| BM_dsol                                 | cm                   | (souches uniquement) Diamètre au niveau du sol   |
| BM_veg_recouv                           | texte                | Recouvrement de la pièce de bois par la végétation : Total, Partiel, Absent  |
| BM_vegmaj                               | texte                | Type de végétation de recouvrement   |
| BM_ecorce                               | O/N                  | Présence significative/absence d'écorce  |
| BM_striage                              | O/N                  | Présence/absence de striage  |
| BM_champi                               | O/N                  | Présence significative/absence de champignons  |
| BM_mousse                               | O/N                  | Présence significative/absence de mousse   |
| BM_terre                                | O/N                  | Présence significative/absence de terre/humus sur la pièce de bois mort  |
| BM_soleil                               | nombre               | Nombre d'heures d'ensoleillement en juin   |
| BM_position                             | texte                | Position du bois mort dans l'ouverture (Haut, Bas, Gauche, Droite, Centre)   |
| BM_nbpierres                            | nombre               | Nombre de pierres arrêtées par la pièce de bois  |
| BM_dmaxpierres                          | cm                   | Diamètre maximal des pierres   |
| BM_dminpierres                          | cm                   | Diamètre minimal des pierres   |
| BM_impacts                              | nb                   | Nombre d'impacts   |
| BM_mineraux                             | %                    | (arbres au sol uniquement) Pourcentage de la hauteur amont recouverte par la terre fine                              |
| BM_cass                                 | O/N                  | (arbres au sol uniquement) Présence/absence de cassure   |
| BM_ancrage                              | nombre               | (arbres au sol uniquement) Nombre d'ancrage  |
| Semis_av                                | O/N                  | Présence/absence d'un semis d'avenir sur la pièce de bois  |
| Age_semis                               | années               | Âge du semis le plus vieux inventorié sur la pièce de bois mort  |
| H_semis                                 | m                    | Hauteur du semis le plus haut inventorié sur la pièce de bois mort   |
| v_decomp                                | Classe/an            | Vitesse de décomposition, obtenue par le rapport de la classe de décomposition sur l'âge du bois mort                |
| Feuille rajeunissement sur le bois mort |                      |  |
| ID_semis                                | code                 | Identifiant du semis   |
| Semis_ID_BM                             | code                 | Identifiant de la pièce de bois mort sur laquelle le semis est installé  |
| Semis_ess                               | texte liste essences | Essence du semis   |
| Semis_h                                 | metres               | Hauteur du semis (bas du tronc à apex)   |
| Semis_hpied                             | metres               | Hauteur du pied du semis (sol à base du tronc)   |
| Semis_age                               | années               | Âge estimé du semis  |
| Semis_abrou                             | O/N                  | Présence/absence de marques d'abrouissement  |
| Semis_avenir                            | O/N                  | Présence/absence d'avenir pour le semis  |
| Semis_neige                             | O/N                  | Présence/absence de marques de dégâts dus à la neige   |
| Semis_lpousse                           | cm                   | Longueur de la pousse terminale  |
| v_raj                                   |                      | Obtenue par soustraction de l'âge du semis à l'âge du bois mort support (équivalent à l'âge d'installation du semis) |



### Annexe 9 : Tableau récapitulatif des relevés

| Nb | Identifiant | Date du relevé      | Triage                    | Lieu                        | Coordonnées GPS (WGS 84) |                        | Date du chantier               |                                    |
|----|-------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
|    |             |                     |                           |                             | X                        | Y                      |                                |                                    |
| 1  | A           | 21/06/2017          | Martigny-Vallée du Trient | Au-dessus de Martigny bourg | 7,064367962              | 46,08905393            | 2012                           |                                    |
| 2  | B           | 26/06/2017          | Cime de l'Est             | Au-dessus d'Evionnaz        | 7,00770949               | 46,17030678            | 2010                           |                                    |
| 3  | C           | 04/07/2017          | Cime de l'Est             | Au-dessus d'Evionnaz        | 7,007458431              | 46,1731965             | 2008                           |                                    |
| 4  | D           | 04/07/2017          | Cime de l'Est             | Au-dessus d'Evionnaz        | 7,006538457              | 46,17327394            | 2008                           |                                    |
| 5  | E           | 05/07/2017          | CDF                       | Chibo                       | 7,13900007               | 46,1691797             | 2007                           |                                    |
| 6  | F           | 05/07/2017          | CDF                       | Chibo                       | 7,137540898              | 46,16847414            | 2007                           |                                    |
| 7  | G           | 10/07/2017          | Chamonix                  | Caillet                     | 6,903106                 | 45,93172               | 2009                           |                                    |
| 8  | H           | 10/07/2017          | Argentière                | Lioutre                     | 6,919154                 | 45,977832              | 2008                           |                                    |
| 9  | I           | 12/07/2017          | Forst Goms                | Ritzingen                   | 8,229612661              | 46,44432511            | 1990                           |                                    |
| 10 | J           | 17/07/2017          | Deux Rives                | Bregneux                    | 7,15745788               | 46,18541355            | 1988                           |                                    |
| 11 | K           | 18/07/2017          | CDF                       | Corday                      | 7,10126164               | 46,15740949            | 1992                           |                                    |
| 12 | L           | 19/07/2017          | Deux Rives                | Ardèche                     | 7,19778045               | 46,19854322            | 2009                           |                                    |
| 13 | M           | 21/07/2017          | Bagnes                    | Sarreyer                    | 7,260069098              | 46,06673327            | 2009                           |                                    |
| 14 | N           | 27/07/2017          | Bagnes                    | Bruson, dzeu issartes       | 7,206255086              | 46,04837555            | 2000                           |                                    |
| 15 | O           | 28/07/2017          | Monthey                   | Les cerniers                | 6,956364153              | 46,21910618            | 1998                           |                                    |
| 16 | P           | 02/08/2017          | Haut Lac                  | Torgons                     | 6,838628279              | 46,30859039            | 1998                           |                                    |
| Nb | Identifiant | Exposition (degrés) | Altitude (m)              | Précipitations (mm/an)      | Pente (degrés)           | Association forestière | Nombre de souches inventoriées | Nombre d'arbres au sol inventoriés |
| 1  | A           | 330                 | 580                       | 1113                        | 31                       | Hêtraie                | 9                              | 6                                  |
| 2  | B           | 65                  | 1070                      | 1400                        | 40                       | Hêtraie-Sapinière      | 12                             | 11                                 |
| 3  | C           | 90                  | 1070                      | 1400                        | 35                       | Hêtraie-Sapinière      | 17                             | 14                                 |
| 4  | D           | 80                  | 1125                      | 1400                        | 32                       | Hêtraie-Sapinière      | 5                              | 7                                  |
| 5  | E           | 150                 | 1420                      | 1400                        | 30                       | Sapinière-Pessière     | 15                             | 15                                 |
| 6  | F           | 120                 | 1445                      | 1400                        | 35                       | Sapinière-Pessière     | 7                              | 6                                  |
| 7  | G           | 337                 | 1680                      | 1900                        | 40                       |                        | 4                              | 3                                  |
| 8  | H           | 120                 | 1280                      | 1500                        | 31                       |                        | 6                              | 6                                  |
| 9  | I           | 350                 | 1740                      | 1300                        | 38                       | Pessière               | 0                              | 2                                  |
| 10 | J           | 60                  | 1740                      | 1900                        | 27                       | Pessière               | 0                              | 7                                  |
| 11 | K           | 105                 | 1520                      | 1700                        | 37                       | Hêtraie-Sapinière      | 5                              | 5                                  |
| 12 | L           | 50                  | 1480                      | 1100                        | 22                       | Sapinière-Pessière     | 2                              | 3                                  |
| 13 | M           | 180                 | 1650                      | 1300                        | 37                       | Pessière               | 5                              | 4                                  |
| 14 | N           | 20                  | 1780                      | 1370                        | 35                       | Pessière               | 5                              | 6                                  |
| 15 | O           | 85                  | 1435                      | 1700                        | 33                       | Sapinière-Pessière     | 12                             | 18                                 |
| 16 | P           | 145                 | 1660                      | 2000                        | 24                       | Pessière               | 26                             | 22                                 |

## Annexe 10 : Matrice des corrélations, variables étudiées pour le rajeunissement et la décomposition

**Corrélations grumes et souches**

|               | BM_decomp | BM_age | BM_haval | BM_diam | BM_veg_recouv | BM_ecorce | BM_champi | BM_mousse | BM_soleil | BM_semis | Age_semis | H_semis | Expo_180 | Altitude | Precipitation | Pente | Arbu_recouv | Herb_recouv | Semis_av | v_raj | Expo_4 | v_decomp |   |
|---------------|-----------|--------|----------|---------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|---------|----------|----------|---------------|-------|-------------|-------------|----------|-------|--------|----------|---|
| BM_decomp     | 1         |        |          |         |               |           |           |           |           |          |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| BM_age        | 0.62      | 1      |          |         |               |           |           |           |           |          |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| BM_haval      | -0.36     |        | 1        |         |               |           |           |           |           |          |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| BM_diam       |           | 0.35   | 0.39     | 1       |               |           |           |           |           |          |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| BM_veg_recouv | 0.34      | 0.40   |          |         | 1             |           |           |           |           |          |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| BM_ecorce     | -0.49     | -0.43  |          |         |               | 1         |           |           |           |          |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| BM_champi     |           |        |          |         |               |           | 1         |           |           |          |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| BM_mousse     | 0.45      | 0.59   |          | 0.31    | 0.33          |           |           | 1         |           |          |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| BM_soleil     |           |        |          |         |               |           |           |           | 1         |          |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| BM_semis      | 0.33      | 0.47   |          | 0.37    |               |           |           | 0.40      |           | 1        |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| Age_semis     | 0.33      | 0.55   |          | 0.43    |               |           |           | 0.50      |           | 0.54     | 1         |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| H_semis       |           | 0.32   |          |         |               |           |           |           |           |          | 0.76      | 1       |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| Expo_180      |           |        |          |         |               |           |           |           |           |          |           |         | 1        |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| Altitude      | 0.43      | 0.69   |          |         | 0.32          | -0.39     |           | 0.35      |           | 0.30     |           | 0.39    | 0.39     | 1        |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| Precipitation | 0.44      | 0.64   |          | 0.32    |               | -0.42     |           | 0.47      |           | 0.33     |           | 0.36    | 0.66     | 0.36     | 1             |       |             |             |          |       |        |          |   |
| Pente         |           | -0.49  |          |         |               |           |           |           |           |          |           | -0.45   | -0.35    | -0.49    | 0.45          | 1     |             |             |          |       |        |          |   |
| Arbu_recouv   |           | -0.38  |          |         |               |           |           | -0.32     |           |          |           | 0.48    |          | -0.34    | 0.34          | 0.34  | 1           |             |          |       |        |          |   |
| Herb_recouv   |           | 0.60   |          |         | 0.36          |           |           | 0.41      |           | 0.31     |           | 0.48    | 0.53     | -0.45    | -0.53         | -0.45 | 0.45        | 1           |          |       |        |          |   |
| Semis_av      |           | 0.50   |          | 0.35    |               |           |           | 0.49      |           | 0.36     | 0.67      | 0.52    |          |          |               |       |             | 0.41        | 1        |       |        |          |   |
| v_raj         | 0.53      | 0.83   | -0.34    |         | 0.40          | -0.35     |           | 0.38      |           |          |           |         | 0.63     | 0.55     | -0.50         | -0.33 | 0.52        |             | 0.41     | 1     |        |          |   |
| Expo_4        |           | 0.34   |          |         |               |           |           |           |           |          |           |         | 0.90     | 0.44     | -0.57         |       |             |             | 0.41     | 0.32  | 1      |          |   |
| v_decomp      |           | -0.58  |          |         |               |           |           |           |           |          |           |         | -0.48    | -0.40    |               |       | -0.37       |             | -0.50    |       |        | 1        | 1 |

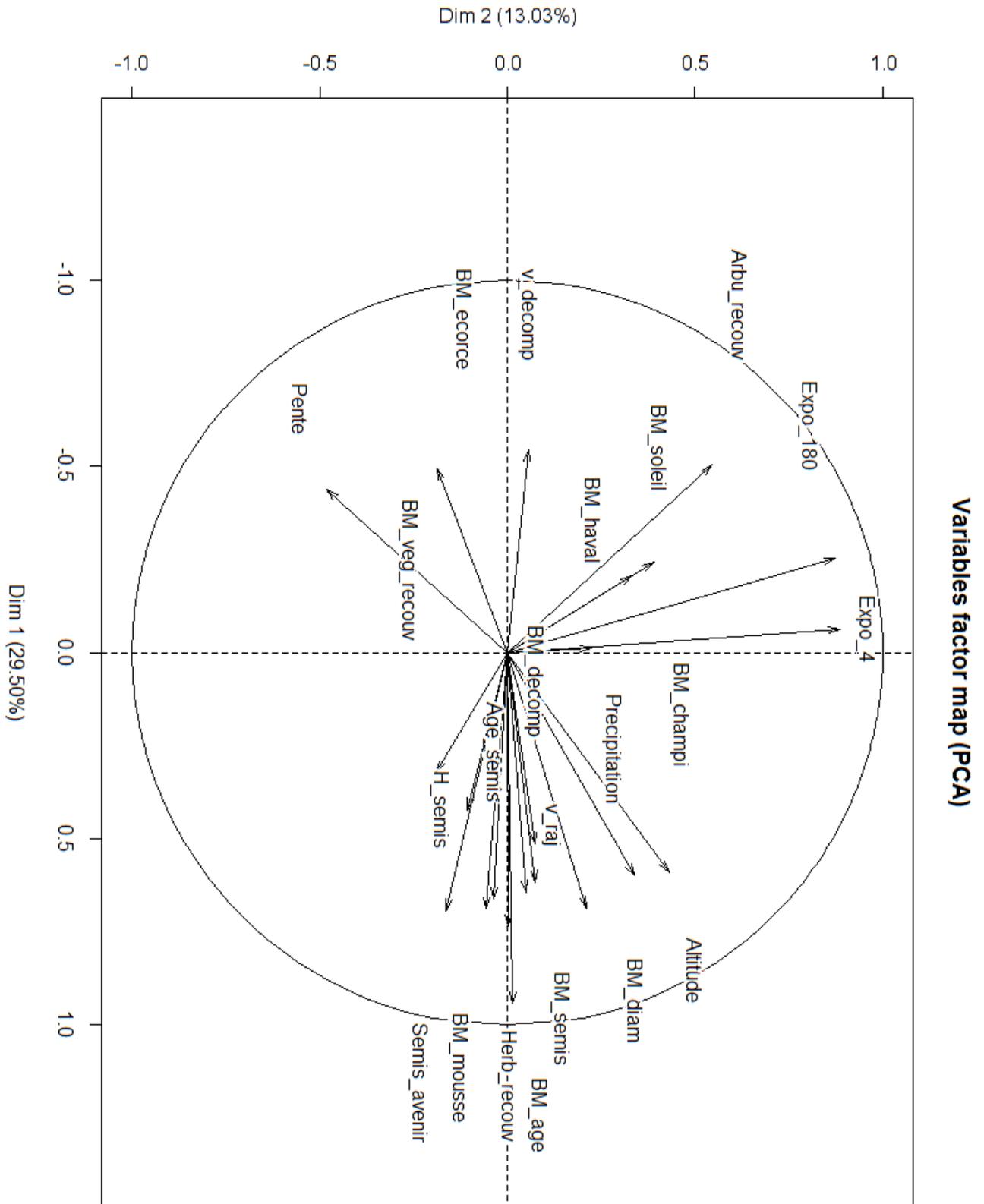
Corrélations calculées sur l'ensemble des données bois mort avec la méthode Spearman

**Corrélations partielles Spearman**

|               | BM_decomp | BM_age | BM_haval | BM_diam | BM_veg_recouv | BM_ecorce | BM_champi | BM_mousse | BM_soleil | BM_semis | Age_semis | H_semis | Expo_180 | Altitude | Precipitation | Pente | Arbu_recouv | Herb_recouv | Semis_av | v_raj | Expo_4 | v_decomp |   |
|---------------|-----------|--------|----------|---------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|---------|----------|----------|---------------|-------|-------------|-------------|----------|-------|--------|----------|---|
| BM_decomp     | 1         |        |          |         |               |           |           |           |           |          |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| BM_age        | 0.57      | 1      |          |         |               |           |           |           |           |          |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| BM_haval      |           |        | 1        |         |               |           |           |           |           |          |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| BM_diam       |           |        | 0.56     | 1       |               |           |           |           |           |          |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| BM_veg_recouv |           |        |          |         | 1             |           |           |           |           |          |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| BM_ecorce     |           |        |          |         |               | 1         |           |           |           |          |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| BM_champi     |           |        |          |         |               |           | 1         |           |           |          |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| BM_mousse     |           |        |          |         |               |           |           | 1         |           |          |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| BM_soleil     |           |        |          |         |               |           |           |           | 1         |          |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| BM_semis      |           |        |          |         |               |           |           |           |           | 1        |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| Age_semis     |           |        |          |         |               |           |           |           |           |          | 1         |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| H_semis       |           |        |          |         |               |           |           |           | 0.52      | 0.59     | 0.59      | 1       |          |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| Expo_180      |           |        |          |         |               |           |           |           |           |          |           |         | 1        |          |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| Altitude      |           | 0.43   |          |         |               |           |           |           |           |          |           |         | 0.78     | 1        |               |       |             |             |          |       |        |          |   |
| Precipitation |           |        |          |         |               |           |           |           |           |          |           |         |          |          | 1             |       |             |             |          |       |        |          |   |
| Pente         |           | -0.41  |          |         |               |           |           |           |           |          |           |         | -0.62    | 0.71     | 0.71          | 1     |             |             |          |       |        |          |   |
| Arbu_recouv   |           |        |          |         |               |           |           |           |           |          |           |         | 0.64     | -0.41    | 0.38          | 0.38  | 1           |             |          |       |        |          |   |
| Herb_recouv   |           |        |          |         |               |           |           |           |           |          |           |         | -0.85    | 0.89     | -0.75         | 0.41  | 0.41        | 1           |          |       |        |          |   |
| Semis_av      |           |        |          |         |               |           |           |           |           |          |           |         |          |          |               |       |             |             | 1        |       |        |          |   |
| v_raj         |           | 0.63   |          |         |               |           |           |           | 0.32      | -0.32    |           |         |          |          |               |       |             |             |          | 1     |        |          |   |
| Expo_4        |           |        |          |         |               |           |           |           |           |          |           |         | 0.94     | -0.67    | 0.45          | -0.56 | 0.74        |             |          |       | 1      |          |   |
| v_decomp      |           | 1      | -0.54    |         |               |           |           |           |           |          |           |         |          |          |               |       |             |             |          |       |        | 1        | 1 |

Corrélations partielles calculées sur l'ensemble des données bois mort avec la méthode Spearman

Annexe 11 : Graphique de l'analyse en composantes principales des variables étudiées



## Annexe 12 : Résultats des tests de Student pour l'âge du bois mort support de rajeunissement viable

Test sur l'échantillon des souches (108 souches ne portent pas de semis viables contre 22 qui en portent)

welch Two Sample t-test

```
data:  souches$BM_age[souches$Semis_avenir == 0] and souches$BM_age[souches$Semis_avenir == 1]
t = -9.1391, df = 50.525, p-value = 2.759e-12
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -9.149951 -5.853416
sample estimates:
mean of x mean of y
11.40741 18.90909
```

Test sur l'échantillon des arbres au sol (113 arbres au sol ne portent pas de semis viables contre 20 qui en portent)

welch Two Sample t-test

```
data:  grumes$BM_age[grumes$Semis_avenir == 0] and grumes$BM_age[grumes$Semis_avenir == 1]
t = -8.1053, df = 30.681, p-value = 4.04e-09
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -12.160639 -7.269449
sample estimates:
mean of x mean of y
12.88496 22.60000
```

Test sur l'échantillon complet

welch Two Sample t-test

```
data:  BMS$BM_age[BMS$Semis_avenir == 0] and BMS$BM_age[BMS$Semis_avenir == 1]
t = -11.145, df = 70.194, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -10.053684 -7.001622
sample estimates:
mean of x mean of y
12.13901 20.66667
```

Statistiques de l'âge du bois mort lors de l'installation de semis viables (variable v\_raj)

| Min. | 1st Qu. | Median | Mean  | 3rd Qu. | Max.  | n  |
|------|---------|--------|-------|---------|-------|----|
| 4.00 | 11.00   | 14.00  | 13.71 | 16.00   | 25.00 | 42 |

## Annexe 13 : Statistiques du modèle liant l'âge des semis à l'âge du bois mort support

Analyse du modèle linéaire de l'âge des semis en fonction de l'âge du bois mort :

```
Call:
lm(formula = BMS$Age_semis ~ (BMS$BM_age))

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-6.3611 -1.2694 -0.1777  0.4407 15.1847

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -2.60486    0.42642  -6.109  3.6e-09 ***
BMS$BM_age   0.30917    0.02867  10.782 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.921 on 263 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3065, Adjusted R-squared:  0.3039
F-statistic: 116.3 on 1 and 263 DF, p-value: < 2.2e-16
```

Analyse de variance du modèle :

```
Analysis of Variance Table

Response: BMS$Age_semis
          Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
BMS$BM_age  1  991.64   991.64  116.25 < 2.2e-16 ***
Residuals 263 2243.45     8.53
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

## Annexe 14: Résultats des tests de Student pour l'âge du bois mort selon les classes de décomposition

Test entre classes 1 et 2 (différence significative) :

```
welch Two Sample t-test
data: BMS$BM_age[BMS$BM_decomp == 1] and BMS$BM_age[BMS$BM_decomp == 2]
t = -2.5114, df = 47.069, p-value = 0.01551
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -4.0955489 -0.4525188
sample estimates:
mean of x mean of y
 8.290323 10.564356
```

Test entre classes 2 et 3 (différence significative) :

```
welch Two Sample t-test
data: BMS$BM_age[BMS$BM_decomp == 2] and BMS$BM_age[BMS$BM_decomp == 3]
t = -7.3026, df = 177.59, p-value = 9.141e-12
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -6.778770 -3.894498
sample estimates:
mean of x mean of y
10.56436 15.90099
```

Test entre les classes 3 et 4 (différence significative) :

```
welch Two Sample t-test
data: BMS$BM_age[BMS$BM_decomp == 3] and BMS$BM_age[BMS$BM_decomp == 4]
t = -4.4675, df = 60.43, p-value = 3.533e-05
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -6.502771 -2.480963
sample estimates:
mean of x mean of y
15.90099 20.39286
```

Test entre les classes 4 et 5 (différence non-significative) :

```
welch Two Sample t-test
data: BMS$BM_age[BMS$BM_decomp == 4] and BMS$BM_age[BMS$BM_decomp == 5]
t = 0.50174, df = 3.2927, p-value = 0.6475
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -9.531408 13.317123
sample estimates:
mean of x mean of y
20.39286 18.50000
```

## Annexe 15 : Résultats des tests de variance et modèles de décomposition des souches et arbres au sol selon leurs dimensions

Résultats de l'analyse de variance de la vitesse de décomposition des souches en fonction des dimensions :

### Analysis of Variance Table

```

Response: souches_EPC$v_decomp
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
souches_EPC$BM_hamont  1 0.11282 0.112821 29.8776 3.506e-07 ***
souches_EPC$BM_diam    1 0.01451 0.014515  3.8439  0.05277 .
Residuals              98 0.37006 0.003776
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
  
```

Résultats du modèle linéaire vitesse de décomposition en fonction des diamètres et hauteurs des souches :

Call:

```
lm(formula = souches_EPC$v_decomp ~ souches_EPC$BM_hamont + souches_EPC$BM_diam)
```

Residuals:

```

      Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.110787 -0.043488 -0.003451  0.028905  0.178101
  
```

Coefficients:

```

              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    0.1665786   0.0241673   6.893 5.35e-10 ***
souches_EPC$BM_hamont  0.0830282  0.0190703   4.354 3.29e-05 ***
souches_EPC$BM_diam   -0.0007279  0.0003713  -1.961  0.0528 .
---
  
```

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Residual standard error: 0.06145 on 98 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.256,    Adjusted R-squared:  0.2408
F-statistic: 16.86 on 2 and 98 DF,  p-value: 5.092e-07
  
```

Résultats de l'analyse de variance de la vitesse de décomposition des arbres au sol en fonction des dimensions :

### Analysis of Variance Table

```

Response: grumes_EPC$v_decomp
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
grumes_EPC$BM_havall  1 0.00150 0.0014953  0.3500 0.55535
grumes_EPC$BM_diam    1 0.02483 0.0248289  5.8120 0.01762 *
grumes_EPC$BM_long    1 0.00994 0.0099371  2.3261 0.13017
Residuals             107 0.45710 0.0042720
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
  
```

Résultats du modèle linéaire Vitesse de décomposition en fonction des diamètres, hauteurs et longueurs des arbres au sol :

```
Call:
lm(formula = grumes_EPC$v_decomp ~ grumes_EPC$BM_hava1 + grumes_EPC$BM_diam +
    grumes_EPC$BM_long)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.120794 -0.044035 -0.007828  0.027439  0.198815

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    0.2218127  0.0189717  11.692  <2e-16 ***
grumes_EPC$BM_hava1 0.0170540  0.0301658   0.565  0.5730
grumes_EPC$BM_diam -0.0012383  0.0006234  -1.986  0.0495 *
grumes_EPC$BM_long  0.0023920  0.0015683   1.525  0.1302
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.06536 on 107 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.0735, Adjusted R-squared:  0.04752
F-statistic: 2.829 on 3 and 107 DF, p-value: 0.04194
```

Annexe 16 : Tableau récapitulatifs des préconisations d'utilisation du bois mort au sol selon les contextes

|                       | Chutes de pierres   | Avalanches   | Rajeunissement   | Biodiversité   | Crues torrentielles<br>Bassin versant   | Glissements   | Incendies |
|-----------------------|---|--|--|--|---|---|-----------|
| Zone de déclenchement | <p>Falaise : <br/>                     Zone de remobilisation : </p>  | <p>0° à 45°</p>  | <p>90°</p>   | <p>30°</p>   | <p>0°</p>   | <p>0°</p>   | <p>0°</p> |
| Zone de transit       | <p>30°</p>  | <p>0°</p>  | <p>90°</p>   | <p>30°</p>   | <p>0°</p>   | <p>0°</p>   | <p>0°</p> |
| Zone d'arrêt          | <p>0°</p>   | <p>0°</p>  | <p>90°</p>   | <p>30°</p>   | <p>0°</p>   | <p>0°</p>   | <p>0°</p> |
| Quantité              | Dans les ouvertures :<br>150 à 200 arbres au sol/ha soit <b>un obstacle tous les 5 à 10 m</b> dans la ligne de pente<br>Efficacité : 10 à 15 ans  | Dans les ouvertures :<br>50 à 100 arbres au sol/ha soit <b>un obstacle tous les 10 à 20 m</b> dans la ligne de pente<br>Efficacité : 20 à 30 ans | <b>100 à 150 supports/ha</b><br>Efficacité : de 5 à plus de 50 ans | <b>30 à 40 m<sup>3</sup>/ha</b><br>(tous types : sur pied et au sol, toutes décompositions)<br>Efficacité : > 50 ans | Bois au sol pour limiter les écoulements superficiels et favoriser l'installation du rajeunissement. CF quantité pour le rajeunissement.<br>Laisser un gros arbre vivant tous les 25 à 30 m pour enracinement | Limiter le surplus : plutôt quantités basses recommandées |           |
| Légende               | <p>                         Souche haute biseauté<br/>                         Souche rase<br/>                         Souche Arbre au sol en travers, bien ancré<br/>                         Arbres empilés<br/>                         Arbre en biais ancrage souple<br/>                         Arbre en biais bien ancré<br/>                         Arbre à 30° bilonné<br/>                         Arbre entier ancré<br/>                         Feuillus<br/>                         Arbre dans la pente<br/>                         Ouvrage de protection chutes de pierre<br/>                         Arbre sec sur                     </p> <p>                         Attention particulière au risque d'effet tremplin des souches hautes pour les pierres =&gt; souches en biseau recommandées puis coupées rasées en amont d'un ouvrage ou pour les rejets                     </p> |  |  |  |   |   |           |

**Annexe 17 : Formulaire 2 NaiS, modifié**

| Nais / Formulaire 2  |   | Evaluation de la nécessité d'intervenir                 |   |             | Version proposée sept 2017                                       |   |
|--|---|---|---|-------------|--|---|
| Commune  | Lieu :  | Placette témoin n°                                      | Date:   | Auteur :    |  |   |
| <b>1. Type(s) de station</b>   |   |   |   |             |  |   |
| <b>2. Danger naturel + efficacité</b>  |   |   |   |             |  |   |
| Caractéristiques du peuplement et des arbres   |   | Profil minimal (dont dangers naturels)                  | Profil idéal (dont dangers naturels)  | Etat actuel | Etat actuel évolution sur 10 et 50 ans                           | Mesures efficaces   |
| <b>3. Etat actuel, tendance évolutive et mesures</b>   |   |   |   |             |  |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Mélange</b><br/>- genre et degré</li> </ul>  |   |   |   |             |  | approprié   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Struct. verticale</b><br/>- classes de diamètre<br/>- nombre de strates</li> </ul>                                       |   |   |   |             |  |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Struct. horizont.</b><br/>- degré de recouvr.,<br/>- longueur des trouées (dans la pente)<br/>- nbre de tiges</li> </ul> |   |   |   |             |  |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Élém. stables.</b><br/>- développement couronne<br/>- coefficient d'élançement<br/>- diamètre final visé</li> </ul>      |   |   |   |             |  |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Rugosité au sol</b><br/>- sol<br/>- bois au sol</li> </ul>   | Selon danger naturel en présence et enjeun biodiversité | Selon danger naturel en présence et enjeun biodiversité | Rugosité du sol naturelle<br>Bois mort déjà au sol<br>Bois mort dans l'ensemble du peuplement |             | Qté de bois au sol nécessaire<br>Préconisations de mise en place | Indication de la nécessité de suivi ou de remplacement du bois au sol |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Raïsunissement</b><br/>- lit de germination<br/>- bois au sol</li> </ul>   |   |   | Bois mort déjà au sol   |             | Qté de bois au sol nécessaire<br>Préconisations de mise en place |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Raïsunissement</b><br/>- recrd initial<br/>(10 - 40 cm de hauteur)</li> </ul>  |   |   |   |             |  |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Raïsunissement</b><br/>recrd établi, jusqu'au fourré compris, 40 cm de hauteur jusqu'à 12 cm DHP)</li> </ul>             |   |   |   |             |  |   |

très mauvais    minimal    idéal

**4. Intervention nécessaire**    " oui "    " non "

**5. Urgence**    " faible "    " moyenne "    " élevée "

**6 : Période de retour :**

## Annexe 18 : Recueil des documents à disposition des gardes pour déterminer le besoin en bois au sol

### Documents informatiques :

- Checklist des questions à se poser avant l'évacuation des chablis (reprend les préconisations pour chaque risque et le rajeunissement) :  
Réparation des dégâts aux forêts d'importance cantonale, manuel annexe – Canton du Valais – 25 p.  
« Checklist evacuation bois post chablis.pdf »
- Manuel complet de réflexion sur la réparation des dégâts aux forêts et donc les intérêts du bois au sol :  
Réparation des dégâts aux forêts d'importance cantonale – Service des forêts et du paysage – Sion : Canton du Valais, Département des transports, de l'équipement et de l'environnement, 2015 – 50 p.  
« manuel complet evacuation bois post chablis15\_04\_15.pdf »
- Formulaire dégâts aux forêts pour le calcul des coûts des différentes options (évacuation des bois ou « abandon sur place »)  
« 1203\_02 Formulaire concernant les dégâts aux forêts.pdf »
- Classeur NaiS du Valais, fiches thématiques du rôle de la forêt face aux risques, et préconisations pour chaque station  
Gestion durable des forêts de protection – Service des forêts et du paysage – Sion : Canton du Valais, 2011 – 95 p.
- Clé de détermination de l'utilité de laisser du bois au sol avant une intervention sylvicole :  
Annexe 7 : Utilisation du bois sur place en forêt. *Gestion durables des forêts de protection* – FREHNER M., WASSER B., SCHWITTER R. – Berne : Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. 2005 – 564 p.  
« NaiS\_F\_Annexe\_07\_Bois\_mort.pdf »
- Préconisation en matières sylvicoles par rapport aux risques naturels :  
Annexe 1 : Dangers naturels. *Gestion durables des forêts de protection* – FREHNER M., WASSER B., SCHWITTER R. – Berne : Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. 2005 – 564 p.  
« NaiS\_F\_Annexe\_01\_Bois\_mort.pdf »

## Annexe 19 : Fiche de synthèse des outils de communications au sujet du bois mort au sol

### Documents informatiques :

#### Communication aux médias, forêts de protection :

- Boîte à outils « Médias – forêts de protection », document de soutien au travail d'information des services forestiers – ZIMMERMANN U. – Maienfeld : Centre de sylviculture de montagne, OFEV, 2008 – 32 p.

#### Communication au public/propriétaires, coupes de bois :

- Coupe de bois : 10 bonnes raisons d'intervenir en forêt – Service des forêts et du paysage – Sion : Canton du Valais, Département des transports, de l'équipement et de l'environnement, 2009 – 2 p.
- Trois panneaux explicatifs des raisons des coupes : Forêt Valais, Canton du Valais et Union des forestiers du Valais romand
- Lettre d'information Fribourg : *Le « propre en ordre » n'est plus d'actualité en forêt ... et ce n'est pas un mal !* – SCHNEIDER F. – Hauterive : Service des forêts et la faune, 2007 – 1 p. (« Fribourg\_foret\_sale.pdf »)

#### Communication au public, bois mort et biodiversité :

- Poster ou version dépliant PDF : *Bois mort plein de vie* – Association suisse pour la protection des oiseaux ASPO/BirdLife Suisse – Zurich, 2012 – 2 p. (« DepliantASPO\_bois\_mort\_plein\_de\_vie.pdf »)
- Poster PDF : *Le bois mort : milieu vivant !* – Association suisse pour la protection des oiseaux ASPO/BirdLife Suisse – Cudrefin – 1 p. (« PosterASPO\_bois\_mort\_milieu\_vivant\_low.pdf »)
- Poster PDF : *Oiseaux forestiers et bois mort* – Association suisse pour la protection des oiseaux ASPO/BirdLife Suisse, Association forestière suisse – Cudrefin – 1 p. (« PosterASPO\_oiseaux\_forestiers\_bois\_mort\_low.pdf »)
- Poster PDF : *Le bois mort : milieu vivant ! Tas de branches* – Association suisse pour la protection des oiseaux ASPO/BirdLife Suisse, Association forestière suisse – Cudrefin – 1 p. (« PosterASPO\_tas\_de\_branches\_low.pdf »)
- Notice pour le praticien (WSL), CF documents complets ci-dessous : *Le bois mort – un habitat*

#### Communication au public, bois mort tous intérêts :

- PowerPoint schéma et photos : *Importance du bois mort en forêt* – Service des forêts et du paysage – Martigny : Canton du Valais – 15 diapositives
- Document word, tableau récapitulatif des effets du bois mort : « Bois mort tableau FR-DE.doc »
- Poster PDF Migros : Pourquoi la forêt aime le chaos. – Migros, FSC (« foret\_chaos\_Migros.pdf »)
- Notice pour le praticien (WSL) CF documents complets ci-dessous : *Bois mort en forêt – Formation, importance et conservation*
- *Guide de la forêt valaisanne* – État du Valais – Sion : Service des forêts et du paysage, Canton du Valais – 33 p.

### Communication au public, bois mort et protection :

- Article OFEV : Une forêt plus protectrice qu'il n'y paraît – Les ressources naturelles en Suisse, environnement, Dossier Dangers Naturels, no 2, 2015 – OFEV – p. 23-25 (« foret protect bio p23-25\_efficacite-foret.pdf »)
- Newsletter Forêt de protection Suisse : La forêt protectrice contre les chutes de pierres – le bois plus dur que la pierre ? – *Forêt de protection Suisse*, n° 7 – Centre de sylviculture de montagne, 2012 – 4 p. (« foret-protection-blocs.pdf »)

### Communication au public, bois mort support de vie (biodiversité et rajeunissement) :

- Dépliant PDF : *Bois mort, de la vie à l'intérieur du bois mort* – Annen A. – Sion : Département des transports, de l'équipement et de l'environnement, Service des forêts et du paysage, Canton du Valais – 3 plis (« Bois mort VS »)
- Dépliant PDF (version allemande) : « Infoblatt\_Totholz VS.pdf »
- Notice pour le praticien (WSL), CF documents complets ci-dessous : *La régénération des forêts de montagne sur bois mort*

### Documents complets d'information sur le bois mort et ses atouts :

- Document français : *Bois et forêts ... à arbres vieux ou morts* – DODELIN B. – Les cahiers techniques, Conservatoire Rhône-Alpes des Espaces Naturels, 2010 – 20 p. (« CTboismort.pdf »)
- Dossiers français : *Arbres à cavités et oiseaux cavernicoles. Les enseignements d'un suivi dans le pays de Bitche* et Enjeux du bois mort pour la conservation de la biodiversité et la gestion des forêts – MULLER Y. et BUGET C. – RDV techniques n° 16, printemps 2017 – Office national des forêts – 8 p. (« ONF\_bois-mort.pdf »)
- Notices pour le praticien (Birmensdorf : Institut fédéral de recherches WSL), disponible sur le site internet du WSL ([http://www.wsl.ch/dienstleistungen/publikationen/schriftenreihen/merkblatt/mb\\_alle\\_FR](http://www.wsl.ch/dienstleistungen/publikationen/schriftenreihen/merkblatt/mb_alle_FR)) :
  - o *Bois mort en forêt – Formation, importance et conservation* – n° 52, mai 2014 – 12 p.
  - o *Le bois mort – un habitat* – n° 33, 2000 – 6 p.
  - o *La régénération des forêts de montagne sur bois mort* – n° 26, 1996 – 8 p.
  - o *Les ennemis naturels des scolytides* – n° 19, 1996 – 8 p.
  - o *Biologie de deux genres d'Ips* – n° 18, 1997 – 8 p.
  - o *L'héritage de Vivian – Le développement des forêts de montagne après la tempête* – n° 36, 2003 – 12 p.
- Fiche sanitaire scolyte : Les scolytes – Entretenir sa forêt – Fiche sanitaire – *Forêts de France*, n° 481, 2005 – p. 29-30 (« les\_scolytes.pdf »)
- Article OFEV : Rôle de la forêt protectrice dans la gestion intégrée des risques – LOSEY S. et SANDRL A. – *Schweizerische Zeitschrift Forstwesen*, 165 (9) – OFEV, 2014 – 8 p.
- Document CRPF sur la biodiversité forestière : *Dix facteurs clés pour la diversité des espèces en forêt – Comprendre l'Indice de Biodiversité Forestière (IBP)* – EMBERGER C., LARRIEU L. et GONIN P. – Centre national de la propriété forestière – p. 16-21 (<http://www.foretpriveefrancaise.com/ibp/>)

### Documents au sujet de la responsabilité :

- Article La Forêt : La responsabilité du propriétaire forestier – HELBLING A. – *La Forêt*, n° 3 (10) – p. 20-22 (« responsabilite-propretaire-foret.pdf »)

- Article La Forêt : Chacun répond lui-même du risque, mais ... - OBERER F. – *La Forêt*, n° 7/8 (16) – p. 25-26 (« responsabilite-propietaire-foret\_activites.pdf »)

### Films, tout public :

- Disponibles sur le site SFCEP (lien vers Youtube), Rubrique Gestion des Forêts <https://www.vs.ch/web/sfcep/gestion-des-forets> :
  - o [La forêt multifonctionnelle](#) – Film/clip de 1m30 sur le site SFCEP
  - o Les risques naturels en montagne, le rôle de la forêt et sa gestion adaptée – Film 18min site SFCEP « [La forêt et les dangers naturels](#) »
  - o Les forêts de protection dans l'arc alpin, projet INTERREG – Film 30min sur le site du SFCEP « [Les forêts alpines au service des populations de montagne](#) »
  - o La gestion des forêts de l'arc alpin, multifonctionnalité et protection – Film 25min site SFCEP « [La gestion durable des forêts de montagne](#) »
- Gestion des forêts, multifonctionnalité et utilisation du bois mort au sol - Film commune de Bagnes, 15 min
- Zonage des forêts, fonction de protection – Film 7min, youtube <https://www.youtube.com/watch?v=iIj3UOmPUMI>

### Sites internet :

- [www.boismort.ch](http://www.boismort.ch) (multiples rubriques : biodiversité, protection, rajeunissement ...)

