FORMATION DES INGÉNIEURS FORESTIERS

Boisements de protection des terrains domaniaux RTM de l'Isère

État des lieux, construction d'une typologie et propositions de gestion



Mémoire de fin d'études

Antoine Durand
20e promotion FIF
2009 – 2012

Juin 2012

Sources des photographies

Photographies noir et blanc : archives des services RTM de l'Isère, fournies par Matthieu Chaney.
Photographies couleurs : Matthieu Chaney.

Rangée de photographies du haut :

1899 : Bassin du Dourdouillet vu depuis les Sures, forêt domaniale RTM du Coiro, Le Périer, Isère.
Juste après la construction de barrages en pierres sèches

1989 : Cliché datant du 14 juin 1989, bassin du Dourdouillet vu depuis les Sures, forêt domaniale RTM du Coiro, Le Périer, Isère.

2010 : Cliché datant du 3 août 2010, bassin du Dourdouillet, forêt domaniale RTM du Coiro, Le Périer, Isère.

Rangée de photographies du bas :

1885 : Bassin inférieur du Villard, forêt domaniale RTM du Gargas, Entraigues, Isère.
Avant la réalisation d'ouvrage dans le lit du torrent

1929 : Bassin inférieur du Villard, forêt domaniale RTM du Gargas, Entraigues, Isère.
Juste après la construction de barrages en pierres sèches

2012 : Cliché du 4 mai 2012, bassin inférieur du Villard, forêt domaniale RTM du Gargas, Entraigues, Isère.

Sauf mention contraire, l'ensemble des photographies présentées par la suite dans ce rapport a été réalisé par mes soins dans le département de l'Isère.

AGROPARISTECH – ENGREF
FORMATION DES INGÉNIEURS FORESTIERS

OFFICE NATIONAL DES FORÊTS
SERVICE DE RESTAURATION
DES TERRAINS DE MONTAGNE

Boisements de protection des terrains domaniaux RTM de l'Isère

État des lieux, construction d'une typologie et propositions de gestion

Mémoire de fin d'études

Antoine Durand
20e promotion
2009 – 2012

Juin 2012

FICHE SIGNALÉTIQUE D'UN TRAVAIL D'ÉLÈVE DE LA FIF

Formation des ingénieurs forestiers d'AgroParisTech-ENGREF	**TRAVAUX D'ÉLÈVES**
TITRE : Boisements de protection des terrains domaniaux RTM de l'Isère *État des lieux, construction typologique et propositions de gestion sylvicole*	**Mots clés :** RTM, boisement de protection, phénomène naturel, risque, typologie forestière, forêt domaniale, gestion forestière
AUTEUR : *Antoine Durand*	**Promotion :** *FIF 20*
Caractéristiques : 1 volume ; 103 pages ; 24 illustrations ; 28 tableaux ; 9 annexes ; bibliographie.	

CADRE DU TRAVAIL

ORGANISME PILOTE OU CONTRACTANT :

Office national des forêts, service de Restauration des terrains en montagne de l'Isère

Nom du responsable : *Yannick Robert*

Fonction : *Géologue, expert risque*

Correspondant ENGREF : *Max Bruciamacchie*

Tronc commun	☒	**Stage en entreprise**	☐	**Autre**	☐
Option	☐	**Stage à l'étranger**	☐		
D. d'approfondissement	☐	**Stage fin d'études**	☒		
		Date de remise : 25/06/2012			

SUITE À DONNER (réservé au service des études)

☒ **Consultable et diffusable**

☐ **Confidentiel de façon permanente**

☐ **Confidentiel jusqu'au / / , puis diffusable**

Résumé

Ce rapport aborde les fonctions de protection jouées par la forêt contre les phénomènes naturels en montagne ; érosion, avalanches, chutes de blocs, crues torrentielles et glissements de terrain.

Parmi les programmes actuellement consacrés à ce sujet, le renouvellement des peuplements de protection prévoit un état des lieux des boisements des forêts domaniales RTM. Réalisé dans le service RTM du département de l'Isère, mon stage s'inscrit dans le cadre de ce programme.

Une synthèse des connaissances sur les interactions entre forêt et phénomène naturel est d'abord présentée. Une typologie de boisements construite sur la base de relevés en forêt vient ensuite. Chaque peuplement forestier est décrit au moyen d'une fiche de présentation.

Abstract

This report deals with forest protection against natural manifestations in mountain environment.The considered phenomena were erosion, snowfall, rock fall, torrential rising in water level and landslides.

Among recent programs dedicated to this subject, the renewal of protection forests includes an assessment of the state of the protection forests present on state-owned land. The internship I realized in the National Office of Forestry in Isère was linked to this program.

During the following paragraphs I described a summary of the knowledge about interactions between forests and natural phenomenon. A classification of the forests through a determination key is proposed. This work is the result of a field campaign in the department.

Riassunto

Questa tesi di fine laurea affronta la funzione di protezione delle foreste dai fenomeni naturali dei territori montani, come erosione, valanghe, caduta massi, piene dei torrenti e frane.

Tra i programmi attualmente dedicati a questo soggetto, il rinnovamento delle foreste di protezione prevede un bilancio dello stato di salute delle foreste statali. Questa tesi, realizzata nelle foreste statali del dipartimento dell'Isère, ha come scopo questo tipo di studio.

In primo luogo, la tesi presenta una sintesi dell'interazione tra foreste e fenomeni naturali; in seguito è proposta una classificazione delle tipologie di popolazioni forestali, con documenti per la descrizione e gestione delle stesse.

Resumen

Este informe trata de los bosques que tienen funciones de protección contra fenómenos naturales, tales como erosión, avalancha, caídas de piedras, subidas de agua súbitas o movimientos de terrenos.

Entre los programas actualmente dedicados a ese tema ; renovación de bosques de protección incluye un análisis del estado actual de los mismos ubicados en los terrenos patrimoniales, por los servicios de restauración de los terrenos de montaña. Fue en estos terrenos que recogí los datos que se dan mención aquí.

El trabajo realizado se puede resumir así ; análisis bibliográfica de las funciones de protección de los bosques, propuesta de clasificación de los bosques medidos, balance de la situación en Isère y propuestas de gestión adaptadas.

Remerciements

Les personnes que je souhaite remercier pour le concours qu'elles ont apporté au bon déroulement de mon stage sont nombreuses. Je souhaite, à travers ces quelques lignes qui me permettent de leur témoigner ma gratitude, n'oublier aucune d'entre elles. Ce souci d'exhaustivité seul me retient dans mon envie première de les citer toutes. Je sais toutefois qu'elles sauront se reconnaître et espère qu'il ne m'en sera pas trop tenu rigueur.

Tout d'abord un immense merci à Yannick Robert, mon maître de stage, pour le temps et le soutien qu'il m'a apporté au cours de ces six mois. Pour sa confiance et la grande autonomie qu'il m'a accordée également, sans lesquelles la qualité de mon stage n'eut pas été si grande.

Un grand merci également à l'ensemble des personnes du service RTM de l'Isère, celles basées à Grenoble ainsi que l'ensemble des techniciens de secteur ; les premières pour avoir été toujours présentes, disponibles et de bonne humeur au cours des phases de recherche et de rédaction de ce rapport, les secondes pour leur concours et leurs apports importants lors des phases de relevé terrain. Merci particulièrement à celles qui m'auront accompagné, voire logé.

Je n'oublie aucun des bons moments passés ensembles.

Parmi elles se comptent également les personnes de l'Agence départementale de l'Isère ; agents patrimoniaux, aménagistes et responsables d'unités territoriales, qui m'ont aidé dans mes choix d'échantillonnage et parfois accompagné en forêt.

Merci également aux chercheurs à l'IRSTEA de Grenoble pour leur aide au moment des travaux bibliographiques sur les fonctions de protection jouées par la forêt en montagne.

Merci à Max Bruchiamacchie, référent école pour ce stage, ainsi qu'aux enseignants et camarades de promotion pour leurs conseils pratiques au moment de l'analyse des données relevées.

Enfin un grand merci aux personnes qui m'ont aidé dans la relecture de ce rapport. Elles ont permis que sa lecture en soit plus aisée.

« Nous attendons en premier lieu de la forêt de montagne qu'elle nous protège contre les avalanches, l'érosion, et les chutes de pierres et de glace. Cette protection plus ou moins efficace ne constitue pas simplement l'accomplissement d'une fonction qu'on aurait attribué à la forêt, mais c'est au contraire une véritable prestation économique.

En montagne, nous devons raisonner en termes de stabilité et non de concurrence, la sélection en fonction de critères économiques conduit à de graves mécomptes.

Admettez que nous, forestiers, ne sommes ni ne voulons être infaillibles !

Parlez des arbres au gens, avec le cœur plus qu'avec la tête ».

N. Bischoff, 1987

« S'il est un domaine où la maxime hâte-toi lentement devrait être la règle d'or, c'est bien celui de la régénération naturelle en montagne.

On admet généralement aujourd'hui qu'en montagne la forêt doit être irrégulière ».

J.-B. Bavier, 1910

Table des matières

Remerciements **1**

Table des matières **3**

Table des illustrations **4**

Table des annexes **6**

Index alphabétique des sigles **7**

Avant – propos **8**

Introduction **9**

1. Phénomènes naturels et forêts de montagne **10**

1.1 De l'érosion au ravinement, l'inéluctable ablation des terrains 11

1.2 Du ruissellement aux crues torrentielles, quelques heures suffisent 13

1.3 Les glissements de terrain, rupture des forces d'équilibre du sol 17

1.4 Les avalanches, rupture d'équilibre au sein du manteau neigeux 18

1.5 Chutes de blocs et éboulements, une libération soudaine d'énergie 21

2. Programmes récents consacrés à la forêt de protection **26**

2.1 Les projets Interreg, une initiative de l'Union européenne 26

2.2 Renouvellement des peuplements de protection (RPP) 34

2.3 Prise en compte de la forêt dans les documents d'affichage du risque 39

3. Typologie des boisements domaniaux RTM de l'Isère **45**

3.1 Méthodologie et protocole employé pour l'échantillonnage 45

3.2 Résultats obtenus et proposition de typologie 49

3.3 Perspectives et limites de l'étude 64

Conclusion **66**

Références bibliographiques **67**

Liste des contacts **70**

Table des illustrations

Illustration 1 : Ravinement dans la région naturelle du Trièves 13

Illustration 2 : Les zones fonctionnelles d'un bassin versant torrentiel 14

Illustration 3 : Classification des phénomènes d'écoulements 15

Illustration 4 : Les étages d'un torrent et ses transports 16

Illustration 5 : Phénomène de crues torrentielles sous couvert forestier 17

Illustration 6 : Glissement de terrains saturés en eau 18

Illustration 7 : Versants forestiers et avalanches 20

Illustration 8 : Chutes de blocs en versants forestiers 22

Tableau 1 : Interactions entre peuplements forestiers et phénomènes naturels 23

Tableau 2 : Interactions entre peuplements forestiers et phénomènes naturels 24

Illustration 9 : Quelques exemples d'imbrication de phénomènes naturels 25

Illustration 10 : Profil de répartition des blocs le long d'un versant 28

Illustration 11 : Calcul de l'angle de ligne d'énergie β 28

Illustration 12 : Modélisation de la propagation maximale pour les avalanches 29

Tableaux 3a et 3b : Valeurs IFP d'IMA pour les forêts de protection contre les avalanches 30

Tableau 4 : Valeurs IFP d'IMA pour les forêts de protection contre les chutes de blocs 30

Tableau 5 : Classification IFP des peuplements en ZIFP 31

Illustration 13 : Guides de sylviculture des Alpes du Nord et du Sud françaises 31

Tableau 6 : Préconisations générales des GSM en forêt à fonction de protection 32

Tableau 7 : Préconisation particulières des GSM en forêt à fonction de protection 33

Tableau 8 : Départements dotés de services RTM 34

Tableau 9 : Liste des départements RTM non dotés de services RTM 35

Tableau 10 : Notations des aléas, volet 1 du programme RPP 36

Tableau 11 : Grille d'appréciation des enjeux de la BD RTM 37

Tableau 12 : Définition du niveau de risque à partir des aléas et des enjeux 38

Tableau 13 : Comparaison de 3 méthodes d'estimation de l'occupation du sol 38

Tableau 14 : IMA Chute de blocs 42

Tableaux 15a et 15b : IMA Avalanche 42

Tableau 16 : IMA Ravinement 42

Tableaux 17a, 17b et 17c : IMA Crue torrentielle 43

Tableau 18 : IMA Glissement de terrain..... 43

Illustration 14 : Place du stage au sein des programmes et connaissances actuelles sur les boisements de protection..... 44

Tableaux 19a et 19b : Répartition des relevés par type de phénomène naturel 45

Tableau 20 : Liste des sites forestiers parcourus..... 46

Tableau 19 : notation IMA chute de blocs utilisée pour les relevés 47

Tableau 20 : notation IMA érosion utilisé pour les relevés 48

Tableau 21 : notation IMA torrentiel utilisé pour les relevés 48

Tableau 22 : Paramètres forestiers considérés dans la construction des types de peuplements..... 48

Illustration 15 : Diagramme des valeurs propres de l'ACP 50

Illustration 16a et 16b : Cercles des corrélations des axes F1*F2 et F3*F4 50

Tableau 23 : Corrélations des variables structurantes pour les peuplements aux axes factoriels retenus 51

Illustration 17a : Représentation des relevés dans le plan factoriel F3*F4 52

Illustration 17b : Représentation des relevés dans le plan factoriel F1*F3..... 52

Illustration 18 : Arbre des distances issu de la classification automatique 53

Illustration 19a et 19b : Redécoupages au sein du groupe 3 54

Tableau 24 : Correspondances des relevés entre construction statistique des groupes et classement final au sein de ces groupes.... 55

Illustration 20 : Organigramme décisionnel et types de peuplements 57

Illustration 21 : Regroupement des relevés au regard des phénomènes..... 59

Illustration 22 : Plans factoriels pour l'AFC finalement retenue 59

Illustration 23 : Organigramme décisionnel et types de maîtrises des phénomènes 60

Tableau 25 : Répartition des couples boisement-phénomène par type de phénomène naturel 61

Tableau 26 : Situations rencontrées déclinées par type de peuplement 62

Tableau 27 : Classement des types de peuplements selon leur maîtrise des phénomènes 62

Tableaux 28a et 28b : Recoupement entre types de peuplements et phénomènes observés 63

Illustration 24 : Exemple d'une fiche peuplement – boisements de type 2aps 65

Table des annexes

Annexe 1 : Formulaire de description des peuplements à fonction de protection – projet IFP

Annexe 2 :Fiche de description des peuplements à fonction de protection – zones vertes des PPR

Annexe 3 : Évaluation de l'enjeu de protection au cours de l'aménagement

Annexe 4a : Fiche de relevé en peuplement à enjeu fort de protection – diagnostic IMA ;données obligatoires

Annexe 4b : Fiche de relevé en peuplement à enjeu fort de protection – diagnostic IMA ;données facultatives

Annexe 5a : Cartographie d' aléas RPP ; division domaniale du Grand Ferrand

Annexe 5b : Cartographie d'aléas RPP ; division domaniale de Pellafol

Annexe 5c : Cartographie d'aléas RPP ; division domaniale du Saint-Eynard

Annexe 5d : Cartographie d'aléas RPP ; division domaniale du Sautet

Annexe 5e : Cartographie d'aléas RPP ; division domaniale du Gargas

Annexe 6a : Choix de la localisation des points de relevé ; division domaniale du Saint-Eynard

Annexe 6b : Choix de la localisation des points de relevé ; division domaniale du Sautet

Annexe 6c : Localisation des points de relevé ; division domaniale du Gargas

Annexe 6d : Points de relevé ; FC RTM de Saint-Martin-le-Vinoux

Annexe 6e : Localisation des points de relevé ; division domaniale de Trezanne

Annexe 7a : Fiche de relevé utilisée sur le terrains – recto phénomènes

Annexe 7b : Fiche de relevé utilisée sur terrains – verso peuplement

Annexe 8a : Présentation des 30 relevés les plus représentatifs selon l'axe F1

Annexe 8b : Présentation des 30 relevés les plus représentatifs selon l'axe F2

Annexe 8c : Présentation des 30 relevés les plus représentatifs selon l'axe F3

Annexe 8d : Présentation des 30 relevés les plus représentatifs selon l'axe F4

Annexe 9a : Boisements 0 – peuplements clairs et ouverts Types L ou C du *GSM Alpes du Nord*

Annexe 9b : Boisements 1a – peuplements chétifs Type CH du *GSM Alpes du Nord*

Annexe 9c : Boisements 3a – peuplements très denses de PB à BM à tendance monospécifique

Annexe 9d : Boisements 2dm – peuplements diversifiés mixtes

Index alphabétique des sigles

ACP : analyse en composantes principales
AFC : analyse factorielle des correspondances
BD Topo® de l'IGN : base de données topographiques de l'IGN
CLPA : carte de localisation des phénomènes avalancheux
CRPF : centre régional de la propriété forestière
DD RTM : division domaniale RTM
DDT : direction départementale des territoires
DN RN RTM : délégation nationale aux risques naturels RTM
EPA : enquête permanente sur les avalanches
FEDER : fond européen pour le développement régional
GSM : guide des sylvicultures de montagne
IFN : Institut forestier national
IFP : interreg forêt de protection
IGN : Institut national de l'information géographique et forestière
IMA : indice de maîtrise de l'aléa
IRSTEA : Institut national de recherche en sciences et techniques pour l'environnement
LiDAR : light detection and ranging
MAAPRAT : ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire
MEEDDAT : ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'aménagement du territoire
DGPR MEEDDAT : direction générale de la prévention des risques du ministère de l'Écologie
MIG : mission d'intérêt général
MNT : modèle numérique de terrain
ONF : Office national des forêts
PER : plan d'exposition aux risques
PLU : plan local d'urbanisme
RPP : renouvellement des peuplements de protection
PPR : plan de prévention des risques naturels prévisibles
RTM : restauration des terrains en montagne
SIG : système d'information géographique
UAE : unité aléa-enjeux
ZIFP : zone d'intervention forestière prioritaire

Avant – propos

Le sujet abordé s'inscrit dans le domaine de la prévention et de la gestion des risques naturels en montagne. À ce titre, il semble opportun de rappeler que ces phénomènes naturels, même si la connaissance que l'on a d'eux ne cesse de s'affiner, restent aléatoires et tributaires des évolutions climatiques ou écologiques soudaines et imprévisibles qui peuvent survenir.

La caractérisation d'un phénomène naturel selon une intensité donnée et son occurrence correspond à la notion d'aléa. Ce terme, selon le contexte dans lequel il est employé, peut présenter certaines variations de sens. Nous retiendrons la notion d'*aléa* au sens des plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR), comme elle est présentée dans les guides publiés par le ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du territoire. Cette notion fait appel essentiellement à des connaissances historiques sur la survenue du phénomène et fait abstraction de toute considération des enjeux socio-économiques potentiellement menacés. De plus, si le rôle protecteur de la forêt est reconnu, il est demandé aux experts, lors de l'analyse des aléas, de faire abstraction du couvert forestier et d'envisager le phénomène potentiel sur terrain nu. La forêt est en revanche prise en compte dans la définition du niveau de risque. L'exercice d'interprétation demandé ici pourrait être discuté, notamment pour les phénomènes contre lesquels la forêt joue une protection active.

Ne pouvant prétendre à une caractérisation aussi fine des phénomènes au cours de mes relevés terrain que celle développée au cours de la réalisation d'un PPR, le terme de *phénomène naturel* sera préféré à celui d'*aléa* dans la suite de ce rapport.

$$\boldsymbol{Phénomène\ naturel_{(intensité,\ fréquence\ de\ retour)} \times Enjeux = Risque\ naturel}$$

L'aléa n'est qu'une des deux composantes qui, lorsqu'elles sont réunies en un même site, font apparaître un risque naturel. La meilleure façon de se prémunir des dégâts que peut occasionner un phénomène naturel, c'est-à-dire d'éviter le risque, restera toujours de ne pas y exposer d'enjeux. Les pressions démographiques et socio-économiques ne le permettent parfois pas. Tout le travail des organismes de prévention des risques naturels, dont font partie le service de la restauration des terrains en montagne (RTM) et les directions départementales des territoires (DDT), consiste alors à ne pas autoriser que des enjeux soient exposés au-delà de la limite du raisonnable.

L'amélioration de notre connaissance des aléas et les évolutions technologiques permettent que cette limite soit repoussée. Gardons toutefois à l'esprit qu'elles ne doivent pas faire perdre le bon sens et l'humilité qui ont permis aux populations de montagne de vivre en relative sécurité dans cet environnement naturel difficile.

Introduction

Les écosystèmes forestiers sont entre autre reconnus pour constituer des milieux tampons vis-à-vis des variations de l'environnement. Cela reste vrai pour le sujet auquel s'intéresse ce mémoire. La forêt présente souvent, en montagne, un caractère atténuateur de phénomènes naturels pouvant générer des risques. Elle peut par exemple faire obstacle à des pierres ou des blocs dévalant un versant après s'être décrochés d'une falaise, limiter voire empêcher le départ d'une avalanche ou encore s'opposer aux phénomènes d'érosion.

Ce service protecteur rendu, s'il est admis depuis plusieurs siècles, fait récemment l'objet d'une attention plus particulière. Des projets d'études visant à caractériser la fonction de protection de la forêt et à développer des sylvicultures adaptées à la gestion du risque ont ainsi vu le jour. Ces projets sont le plus souvent menés conjointement par des organismes de recherche et de gestion. C'est le cas en Isère avec l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement de Grenoble (Irstea) et l'Office national des forêts (ONF). Ces projets peuvent s'inscrire dans des programmes européens, tels ceux qui ont donné naissance aux guides de sylviculture de montagne pour les Alpes, ou encore faire suite à des directives nationales, comme c'est le cas de la mission d'intérêt général (MIG) de renouvellement des peuplements de protection (RPP) confiée aux services RTM de l'ONF par le ministère de l'Agriculture.

C'est au sein du service RTM du département de l'Isère que s'est déroulé mon stage. Conjointement avec l'agence ONF, il assure entre autres la gestion du domaine forestier privé de l'État dans le département.

Parmi les terrains présentant des forêts en situation de protection, certains portent le statut particulier de terrains domaniaux RTM. Ils ont été acquis par l'État entre la fin du XIX^{e} et le début du XX^{e} siècle, suite à la parution des lois fondatrices de la restauration des terrains en montagne. Le reboisement de ces sites, alors hautement générateurs de phénomènes naturels, appuyé par des actions de correction au moyen d'ouvrages de génie civil, apparaissait comme le meilleur moyen de « soutenir les terres croulantes, capter les eaux surabondantes et fixer les neiges sur les pentes » (P. Mougin, *Les torrents de Savoie*, 1914). Dans l'ensemble, la réussite des travaux entrepris a été impressionnante. Il incombe aujourd'hui de savoir quelles politiques mener pour ces forêts, quels choix de gestion adopter et à quels coûts, afin de rendre pérenne un état des boisements assurant une protection efficace.

En effet, l'État ayant engagé sa responsabilité juridique en acquérant ces terrains, souvent par voie d'expropriation, il se doit d'atteindre des résultats de bonne gestion au regard des risques naturels.

Dans cette optique, un large programme de recensement des terrains à statut RTM présents sur 25 départements français a été lancé en 2006. Il doit aboutir à une estimation des besoins en renouvellement des peuplements de protection sur les 534 000 ha concernés. Le stage dont ce rapport est l'un des aboutissements s'inscrit dans le cadre du développement du second volet de ce programme pour le département de l'Isère.

Il trouve sa place dans la partie forestière du programme, visant à caractériser les peuplements. Quel est l'état actuel de ces boisements ? Sont-ils aujourd'hui encore tous soumis à des phénomènes naturels préoccupants ? Peuvent-ils atténuer efficacement les phénomènes naturels auxquels ils sont exposés ? Semble-t-il urgent d'engager des travaux forestiers afin d'aider à leur renouvellement ? Le cas échéant, les guides de sylvicultures alpins apportent-ils les solutions techniques aux situations rencontrées ?

Voilà des questions auxquelles mon stage a tenté d'apporter des éléments de réponses.

Ainsi, une première partie — illustrée à l'aide de photographies prises sur les sites forestiers parcourus — propose une synthèse des connaissances relatives aux interactions entre forêts et phénomènes naturels. Elle présente dans quelle mesure la forêt peut limiter l'ampleur de ces phénomènes. Elle sera complétée par un aperçu des différents projets de recherche et programmes récents ou actuels consacrés aux forêts alpines à fonction de protection. L'importance consacrée à ces deux premières parties pourrait paraître conséquente. Elles ont toutefois été jugées complémentaires et nécessaires car elles permettent de replacer l'étude menée dans le contexte épistémologique et institutionnel qui est le sien.

La dernière partie du rapport sera dédiée à l'étude ayant fait l'objet de ce stage : la réalisation d'une typologie des boisements présents sur les forêts domaniales RTM du département de l'Isère. Le choix de l'échantillon, l'analyse des données relevées et des propositions de gestion sylvicole adaptée aux risques y seront développés.

1. Phénomènes naturels et forêts de montagne

Dans la mesure où elle est à la fois un lieu de concentration de nombreuses activités socio-économiques et un site hautement générateur de phénomènes naturels dangereux, la montagne est un environnement dans lequel le risque naturel est omniprésent. Par risque naturel il faut entendre coexistence en un même site d'enjeux et de phénomènes naturels susceptibles de venir impacter ces derniers. La connaissance que l'on a des phénomènes est à la fois le fruit de témoignages, d'observations, d'expérimentations et de modélisations. Cette dernière approche du risque est utilisée notamment lorsque l'on soupçonne qu'un phénomène, non observé actuellement, pourrait survenir suite à une modification des conditions de l'environnement.

C'est par exemple le cas de versants d'altitude boisés qui pourraient être le siège d'avalanches ou d'érosion s'ils venaient à être totalement dénudés.

On sent de façon intuitive, à travers cet exemple, que la forêt peut revêtir un caractère protecteur. Or, il est assez fréquent qu'en montagne des phénomènes naturels surviennent sur des versants boisés et entrent donc en interactions avec la forêt. Lorsque cette dernière fait obstacle au phénomène naturel et empêche qu'il ne se propage jusqu'à des enjeux en aval, on dit qu'elle joue une fonction de protection. La fonction de protection de la forêt contre les phénomènes naturels générateurs de risques que sont les chutes de pierres et de blocs, les avalanches, le ravinement, les crues torrentielles et les glissements de terrains, est depuis quelques années l'objet d'un regain d'intérêt manifeste. Cela peut s'expliquer entre autres par le faible coût que représente une gestion forestière adaptée à la protection au regard du coût d'entretien d'ouvrages ayant la même destination. Sous certaines conditions, la durabilité de la protection offerte par la forêt, le peu d'entretien qu'elle requiert et sa capacité à récupérer suite à un choc subit — sa résilience — sont autant d'atouts qu'elle présente par rapport à des ouvrages de génie civil de protection active ou passive. Toutefois, sa vulnérabilité, son caractère évolutif et son hétérogénéité surtout, propre de tout écosystème naturel, sont reprochés à la forêt. C'est pourquoi l'acquisition de connaissances solides, qualitatives et quantitatives est nécessaire si l'on veut mettre à profit et utiliser la fonction de protection des forêts face au risque naturel.

La forêt nous protège ; entre croyances historiques et réalités naturelles

De ce besoin de connaissance relative à la protection jouée par les forêts, procèdent les études scientifiques et les programmes relatifs aux interactions entre forêts et phénomènes. Un aperçu synthétique des différents résultats est proposé dans cette première partie. L'objet n'est pas ici de réaliser une synthèse bibliographique détaillée des études relatives à la fonction de protection des forêts, ce qui par ailleurs a déjà été fait avec application (Berger, Rey, Chenost, 2005), mais plutôt d'en proposer une synthèse afin de replacer le sujet d'étude dans son contexte. La plupart des précisions relatives aux avalanches et chutes de blocs sont issus de la synthèse citée ci-dessus.

À chaque présentation des phénomènes naturels étudiés au cours de ce stage, fait suite un bref aperçu des principaux résultats connus sur les interactions entre forêt et phénomènes naturels générateurs de risque en montagne.

Il a paru intéressant, dans la mesure du possible, de retracer ces éléments de connaissance dans leur contexte épistémologique. En effet, là où des enjeux importants sont en cause, les résultats de la recherche ne sont jamais neutres. En outre, des événements majeurs aux conséquences graves sont le plus souvent nécessaires à une prise de conscience réelle et au développement de la connaissance.

Les phénomènes naturels présentés par la suite ont pour point commun d'être sous la double dépendance des conditions climatiques et géologiques. Bien qu'aucun formalisme ne soit possible dans le domaine des risques naturels, ces deux éléments en conditionnent fortement le déclenchement et les dimensions. La forêt apparaît comme un facteur supplémentaire capable de moduler le déclenchement ou l'intensité de ces phénomènes naturels.

Dès 1841, cette idée est admirablement résumé par Alexandre Surell qui considère dans son Étude sur les torrents des Hautes-Alpes que si « leur influence est incontestable, elles (les forêts) ne constituent pas une raison première, et l'érosion torrentielle eût été nulle sous un autre ciel et dans d'autres terrains ».
Enfin, de nombreux éléments relatifs à l'érosion, aux crues et glissements, présentés dans les paragraphes suivants sont issus de l'ouvrage universitaire, synthétique et très complet L'homme et l'érosion (Neboit, 2010).

1.1 De l'érosion au ravinement, l'inéluctable ablation des terrains

Un aperçu des phénomènes naturels…

L'érosion est un terme vaste sous lequel sont regroupés tous les phénomènes naturels d'ablation inexorablement subis par un terrain émergé, suite à une phase de surrection au cours des temps géologiques. Son intensité est fonction du climat, de la nature des matériaux érodés, de la pente ou encore du type d'occupation du terrain. Physiquement, l'érosion correspond à l'entraînement de matériaux du sol d'une zone amont vers une zone aval. C'est pourquoi la pente est un paramètre si important du phénomène d'érosion. Proposer une brève description de l'érosion et de ses mécanismes élémentaires permettra de mieux comprendre pourquoi la couverture forestière agit efficacement pour limiter l'intensité et ralentir les phénomènes d'érosion en zone de montagne.

Différents termes servent à caractériser l'érosion selon la nature, l'intensité et la vitesse à laquelle se produit le phénomène naturel considéré.

L'érosion en nappe est une des formes les plus discrètes et ténues de l'érosion. Elle est cependant la plus ubiquiste et la plus insidieuse. Cette forme d'érosion est liée au ruissellement diffus à la surface du sol : l'eau va éroder le sol dès que, faute de s'y infiltrer, elle court à sa surface. Cette forme d'érosion est sélective et emporte majoritairement les fractions fines et organiques du sol : argiles, limons fins et humus. Avec l'érosion pluviale, ces formes d'ablation sont regroupées sous la notion plus large d'érosion aréolaire ; érosion qui affecte des aires dont la surface s'abaisse parallèlement à elle-même, par opposition à l'érosion linéaire.

Plus problématique, le ravinement est une forme d'érosion linéaire permanente qui creuse le terrain en ravines de taille variable. À l'inverse des rigoles qui sont des formes de creusements linéaires dépendantes de la pente du versant, les ravines sont des formes de creusements autonomes avec en miniature, leur propre talweg et leurs propres versants.

… et des interactions que la forêt entretient avec eux.

Le couvert végétal forestier, ainsi que les conditions pédologiques et climatiques propres aux écosystèmes forestiers vont minimiser l'impact des phénomènes d'érosion à travers différents types d'interactions.

Tout d'abord par l'interception de la pluie au cours des averses, ce qui diminue son pouvoir érosif. Lorsqu'une pluie s'abat sur une formation végétale, elle se répartit en trois fractions dont l'importance relative varie avec la nature du peuplement.

Le feuillage retient une première fraction de l'eau, qui pourra s'évaporer. Une forêt tempérée résineuse peut intercepter jusqu'à la moitié du total annuel des précipitations selon leur intensité, leur durée et leur répartition. Cette capacité de rétention des feuillages — quelques millimètres d'eau — (Lebourgeois, 2002) persiste essentiellement en début d'averse. Elle ne sera retrouvée qu'une fois les houppiers ressuyés. Lorsque l'averse se prolonge, les houppiers arrivent à saturation et ne retiennent pratiquement plus rien.

Une autre fraction de la pluie est arrêtée au passage et s'écoule le long des tiges, des branches et des troncs. Son importance dépend beaucoup de la morphologie des plantes. La proportion de l'eau ainsi acheminée en douceur vers le sol serait relativement élevée dans le cas de formations dégradées, arbustives ou buissonnantes, du type maquis, qui, du point de vue de la protection du sol, valent mieux que leur réputation.

Le reste de la pluie traverse l'écran formé par la végétation dès lors que le houppier des arbres ne stocke plus d'eau. Des gouttes se reforment à la partie inférieure des feuilles et des houppiers et tombent au sol. Leur capacité érosive dépend de l'énergie cinétique qu'elles parviennent à acquérir. Une goutte d'eau atteint environ 95 % de sa vitesse maximale au bout de 8 mètres de chute libre seulement. La présence et la densité des strates inférieures susceptibles d'amortir, à leur tour, l'impact de cette pluie secondaire, ne sont donc pas négligeables. Le choc des gouttes sur le sol provoque le détachement de fragments d'agrégats du sol et la projection de particules dans toutes les directions. La longueur des trajectoires varie de quelques millimètres à plusieurs dizaines de centimètres (De Ploey et Savat, 1968). C'est l'effet de rejaillissement, ou effet splash. Cet effet ne dépend que de l'énergie des gouttes et de la résistance des agrégats du sol ; il est indépendant de la pente et la direction des trajectoires est aléatoire. Seulement, lorsque ces déplacements surviennent sur une pente, l'allongement des trajectoires orientées vers le bas se traduit par un transfert de matière dans le sens de la pente, donc par une ablation.

L’impact que peut avoir cet effet splash sur le sol dépend à la fois des caractéristiques de la pluie et de celles du sol. La trituration du sol, commandée par l’intensité de la pluie, est tributaire d’un certain nombre d’effets de seuil relatifs à la hauteur d’eau tombée, et à la durée de l’averse. La perte de cohésion des agrégats du sol n’est en effet pas instantanée. La résistance d’un sol augmente avec la teneur en argile, et plus encore avec la teneur en matière organique humifiée, l’humus constituant le ciment naturel le plus solide des agrégats. Or les formes d’humus les mieux préservées sont celles des sols forestiers. Ainsi, la formation d’une croute de battance — cause d’imperméabilisation du sol — liée à l’effet splash, est-elle inhibée sous forêt.

Après sa structure, la texture du sol, c’est-à-dire sa composition granulométrique, détermine dans une mesure considérable sa tenue sous la pluie. En cas de déficience de la stabilité structurale, le comportement du sol passe sous le contrôle des données texturales. La présence, en surface, d’éléments grossiers, qui encaissent le choc des gouttes, protège efficacement les sols, alors que la richesse en éléments de la classe des limons ou des sables fins les rend plus vulnérables.

Ensuite, l’impact du ruissellement, soit la présence d’eau courante à la surface du sol, est largement limité sous forêt. Le ruissellement apparaît lorsque le sol — milieu poreux et perméable — ne peut pas, ou ne peut plus absorber tout ou partie de l’eau que lui apportent les précipitations. Cela peut correspondre à deux : soit le sol n’a plus la capacité d’absorber la pluie parce qu’il est saturé, soit il ne l’absorbe pas parce qu’il est imperméable. Or la capacité d’absorption d’un sol est très élevée sous couvert végétal : l’infiltration y est environ cent fois plus importante que le ruissellement. Même une pelouse d’altitude, fermée et non dégradée, protège bien le sol et lui confère une perméabilité suffisante, comme le prouvent les mesures expérimentales effectuées dans un bassin versant expérimental du versant sud du mont Lozère (Cosandey et al., 1990). Les formations végétales naturelles assurent ainsi une ou plusieurs fonctions de prévention des phénomènes d’érosion : elles protègent le sol des impacts physiques des gouttes d’eau, lui confèrent une vitesse d’infiltration élevée et la lui conservent tout le temps de l’averse, évitant de ce fait une concentration des eaux de ruissellement pouvant conduire à la formation de rigoles, voire de ravines.

Il semblerait que le comportement du sol change brusquement en fonction du taux de recouvrement par la végétation. Le seuil de 60% a été évoqué pour une région du Maroc (Beaudet, 1969). Au-dessus de ce recouvrement, peu d’eau reçue par le versant ruisselle alors qu’en dessous, l’essentiel s’écoule au lieu de s’infiltrer. Freddy Rey, chargé de recherche à l’Irstea, docteur en gestion des espaces naturels, retient le taux de 70 % suite à ses travaux sur le ravinement. Il précise de plus que pour le phénomène de ravinement, la localisation et la nature de la végétation constituent un facteur important. Ainsi, des strates buissonnantes couvrant 30 % en surface du lit des ravines devraient permettre d’entraver la progression du phénomène et aller jusqu’à le résorber. Le phénomène de ravinement étant le plus préoccupant et à la fois le plus facilement observable, il retiendra plus particulièrement notre attention au cours des relevés de terrain réalisés.

Enfin, à une échelle de temps plus large, l’atténuation des variations climatiques sous couvert forestier affaiblit et ralentit les processus d’érosion.

En conclusion, la couverture forestière au sens large, l’ancienneté de l’état boisé, les composantes du sol ou encore la stratification de la végétation semblent des critères pertinents pour juger de l’efficacité de formations boisées à limiter l’érosion.

Les illustrations qui suivent donnent un aperçu des phénomènes d’érosion qui peuvent se manifester sur les terrains domaniaux RTM échantillonnés au cours du stage (illustration 1). Le plus souvent, de micro-ravines intraforestières sont observées, essentiellement dans la région naturelle du Trièves. Ce sont des terrains historiquement acquis par les services RTM dans le but de les reboiser afin de lutter contre l’érosion.



Lieu dit Les Petits Moulins,
Entre Lalley et Tréminis



Forêt domaniale RTM du Petit Veymont



Forêt domaniale RTM du Grand Ferrand

Illustration 1 : Ravinement dans la région naturelle du Trièves

1.2 Du ruissellement aux crues torrentielles, quelques heures suffisent

Un aperçu des phénomènes

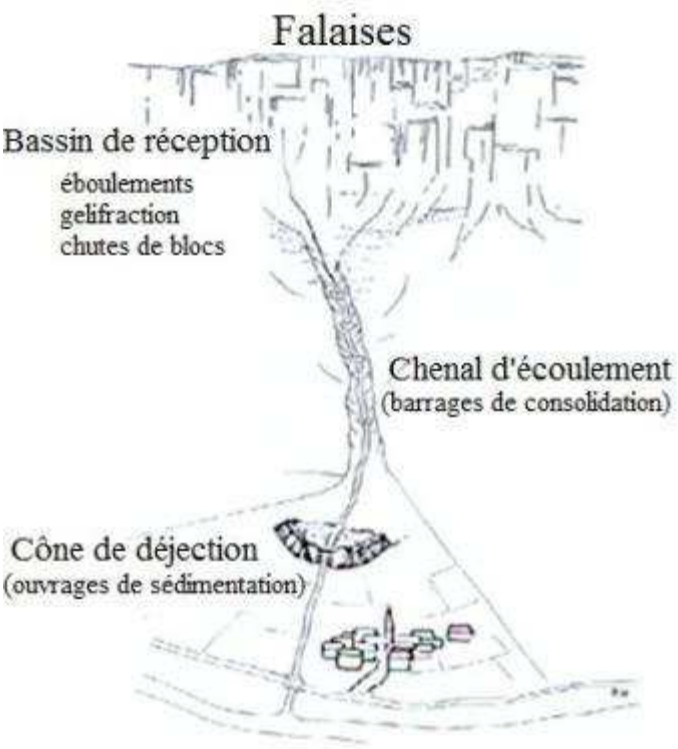
Les torrents sont des organismes hydrologiques spécifiquement montagnards. La configuration d'un torrent est assez simple. Elle comporte trois sections : un bassin de réception à l'amont, formé par un ensemble de ravins en pente très forte, le plus souvent disposés en amphithéâtre, un chenal d'écoulement vers lequel convergent les écoulements concentrés en partie amont et un cône de déjection, sur lequel débouche ce chenal, construit par les dépôts successifs de matériaux transportés par le torrent (illustration 2). Il existe de très grands torrents comme celui du Manival sur le massif de la Chartreuse, dont le bassin versant de 730 hectares s'étage d'environ 200 à 1700 mètres d'altitude, ou d'autres beaucoup plus modestes. Ainsi les bassins de réception des torrents peuvent-ils être présents pour partie dans l'étage alpin, occupé par la pelouse ou des corniches rocheuses, ou seulement aux étages subalpins et montagnards, naturellement occupés par la forêt mais largement défrichée — essentiellement en adrets — au cours des siècles passés afin d'étendre la surface des alpages ou des terres cultivables.

Les manifestations intermittentes des torrents sont une des caractéristiques de leur fonctionnement hydrologique. Même s'il existe souvent un écoulement de base pérenne, l'essence de la torrentialité, c'est le retour à intervalles plus ou moins réguliers de crues soudaines et brutales. Ces à-coups brusques sont le fait de la concentration des écoulements collectés dans le bassin de réception au niveau du chenal d'écoulement. Cette concentration du ruissellement est à la fois le fruit de la collecte des eaux de ruissellement, des résurgences et des écoulements souterrains superficiels lorsque le taux de saturation en eau du sol est atteint.

Différents types d'événements sont recensés en fonction des caractéristiques du débit liquide et de la charge solide qu'ils transportent (illustration 3). Une crue torrentielle peut aller d'un écoulement liquide, transportant une charge solide le plus souvent, à la formation d'une lave. Ainsi distingue-t-on, selon le niveau de localisation dans le bassin versant, les torrents à clappes (clappe signifie cailloux en patois)

remobilisant les matériaux solides libérés par la falaise et accumulés temporairement en amont du chenal d'écoulement, les torrents mixtes et les torrents à affouillement, à l'aval des écoulements (illustration 4).

Une lave torrentielle est un événement majeur ne relevant pas de la segmentation présentée ci-dessus. Il s'agit d'un matériau ductile, très boueux, auquel sa densité très supérieure à celle de l'eau et la vitesse que son écoulement tire de la pente confèrent une compétence très élevée. La formation d'un tel phénomène est liée à l'incorporation de matériaux du sol à l'écoulement : érosion et glissement de terrains dans le bassin de réception et affouillement de berges lors de son passage alimentent une lave torrentielle.



D'après un schéma du site www.irma-grenoble.com



Bassin versant torrentiels boisé en feuillus
combe de la Chaboulance, forêt communale de Corps

Illustration 2 : Les zones fonctionnelles d'un bassin versant torrentiel

… et des interactions que la forêt entretient avec eux.

Dès le premier siècle de notre ère, les interactions qui peuvent exister entre forêt et phénomènes de crues ont été constatées et des formalisations en ont été proposées. Les relations entre eau et forêt sont le fruit des plus anciennes allusions (Andréassian, 2004) : Pline l'Ancien, observait que « souvent, après que l'on a coupé des bois, naissent des sources que les arbres consommaient pour leur nourriture » puis ajoute : « souvent, en abattant les bois qui couvraient une colline, […] on a vu se former des torrents désastreux ». Il y a fort à parier que les torrents mentionnés correspondent à des laves torrentielles, pouvant engraver des zones de culture.

Une attention particulière a été accordée aux torrents par les ingénieurs depuis le XVIII^{e} siècle. La question principale qui a alimenté les polémiques était celle du degré d'implication des activités humaines dans la recrudescence de la torrentialité constatée aux XVII^{e} et surtout XVIII^{e} siècles. Les défrichements, l'extension de l'agriculture à des espaces anciennement forestiers et le surpâturage sont-ils à l'origine de cette recrudescence ? Il faut attendre le milieu du XIX^{e} siècle avec, entre autres, la création de l'École forestière de Nancy, pour que la relation eau-forêt soit abordées en privilégiant des raisonnements physiques et des démonstrations empiriques.

Surell est le premier à formaliser l'idée selon laquelle il existe un lien direct entre la torrentialité et l'état du couvert végétal : « partout où il y a des torrents récents, il n'y a plus de forêt, et partout où l'on a déboisé le sol, des torrents récents se sont formés ; en sorte que les mêmes yeux qui ont vu tomber une forêt

sur le penchant d'une montagne y ont vu apparaître incontinent une multitude de torrents ». Autrement dit, la présence de la forêt sur un versant entrave le fonctionnement des torrents, tandis que son absence leur livre le sol en proie. Ce propos fut accompagné de critiques vives de la part de détracteurs qui refusaient l'idée d'un déboisement anthropique de la forêt alpine, et de là toute interaction entre forêt et régime des crues (Lenoble, 1923). Selon eux, la reconquête postglaciaire des territoires par la forêt aurait été largement exagérée par des ingénieurs forestiers avides de reboisement. Des analyses palynologiques permettent aujourd'hui de trancher dans le sens de la thèse du déboisement sur la base de données objectives couvrant l'ensemble du postglaciaire. Toutefois si le déboisement est une réalité, les premiers défrichements recensés remontent à – 2 800 ans et les grands défrichements seraient déjà antérieurs au Moyen Âge.

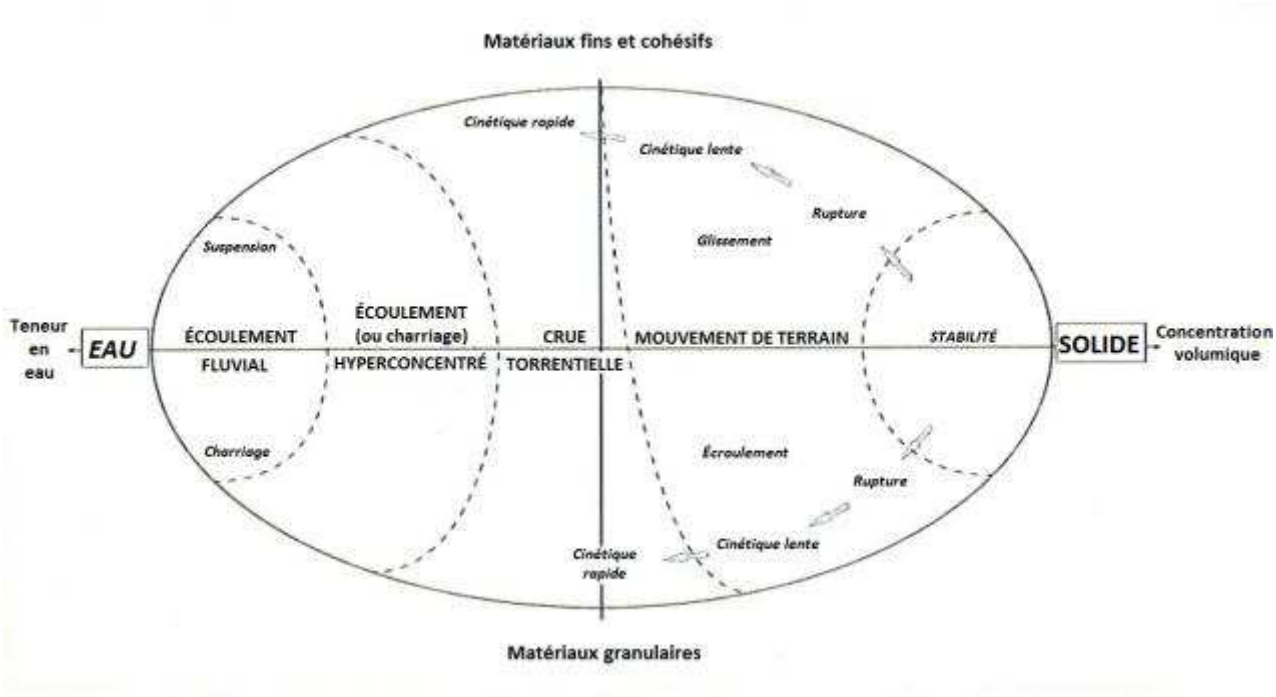


Illustration 3 : Classification des phénomènes d'écoulements
d'après Le torrent du Manival, 150 ans de lutte contre les risques naturels, *2010. ONF RTM*

Les paramètres climatiques n'ont jusque là pas été abordés comme critère explicatif du développement des phénomènes de crue torrentielle. S'il est admis que devenus trop nombreux dans un milieu aux ressources limitées, les montagnards ont procédé à des défrichements excessifs sur des pentes vulnérables, aggravant ainsi les phénomènes torrentiels, il n'est en revanche pas exclut depuis les années 1980, qu'il existe une relation de causalité entre la reprise d'activité des torrents et le petit âge de glace. La météorologie du XVIII^{e} siècle reste toutefois mal connue. On pourra se reporter à l'*Histoire du climat depuis l'an mil* (Leroy-Ladurie, 1983) pour plus de précisions.

Il semblerait cependant que les Temps modernes aient été le théâtre de la répétition de phénomènes orageux. Il a pu être relevé, dans le département des Hautes-Alpes, une répétition d'orages estivaux de grêle entre 1670 et 1810, avec une assez bonne corrélation entre chutes de grêle et phénomènes de crues torrentielles. De plus, des recherches récentes de J.-P. Bravard montrent que le climat entre 1750 et 1870 était moins tranché qu'au XX^{e} siècle, lequel a été en moyenne le siège d'épisodes pluvieux plus longs et durables à la fin du printemps et à l'automne. Ainsi la recrudescence de la torrentialité serait-elle née de la rencontre malheureuse d'une péjoration climatique et d'un accroissement de la pression de l'homme sur le milieu naturel montagnard. Décennies après décennies, précipitations importantes se sont combinées au déboisement entraînant l'exhaussement des lits des torrents et rivières torrentielles.





Aval du torrent ; transport liquide essentiellement
forêt domaniale RTM du Trièves occidental

Amont du torrent ; transport de matériaux
forêt domaniale RTM du Grand Ferrand



Aval du torrent ; dépôt de matériaux et affouillement
forêt domaniale RTM du Grand Ferrand



Partie médiane du torrent ; transport et affouillement
forêt domaniale du Trièves occidental

Illustration 4 : Les étages d'un torrent et ses transports

Modéré par Cézanne à la fin du XX^{e} siècle, qui conclut que la forêt réduit et ralentit les crues moyennes, mais demeure sans effet sur les crues majeures, le propos de Surell devient : « En ce qui concerne spécialement l'écoulement des eaux et les inondations, il est évident que le rôle des forêts a été exagéré. Les crues sont antérieures au déboisement ; lors même qu'on reboiserait la France entière, on ne serait pas assuré de mettre à l'abri du fléau les propriétés qui y sont exposées ». L'état des connaissances actuelles diffère peu de ces dernières conclusions.

Il est aujourd'hui démontré que la forêt a une influence sur le rendement en eau d'un bassin versant. Des exemples de torrents éteints ont pu être rencontrés au cours de la phase terrain du stage (illustration 5). Un boisement forestier fermé consomme davantage d'eau que tout autre type de couvert végétal, diminuant ainsi les débits d'étiage. Les caractéristiques propres aux sols forestiers semblent également jouer un rôle important dans la régulation des crues modestes dans la mesure où le reboisement de terres agricoles n'entraîne qu'une très faible réduction des crues.

Cependant, plus la taille du bassin versant est importante, moins le rôle joué par les boisements devient net. Les crues dans les grands bassins versants sont peu corrélées au taux de boisement. Les résultats évoqués ne sont valables que pour des bassins versants d'une surface de l'ordre du kilomètre carré, taille des bassins versants expérimentaux à partir desquels ils ont été établis. Enfin il semblerait qu'il existe un seuil de densité du boisement de 10 $m^2.ha^{-1}$ en dessous duquel il est difficile d'interpréter le rôle joué par la forêt sur le comportement hydrologique d'un bassin versant (Andressian, 2002).

Peuvent être retenues les conclusions suivantes sur le rôle de la forêt vis-à-vis des crues torrentielles (Hurand, Andréassian, 2003) : réduction des crues moyennes mais impact marginal pour les crues extrêmes, forte réduction des transports grossiers (cailloux, graviers, sables et limons) et aggravation du transport de corps flottants (branches et troncs), diminution de l'écoulement annuel issu des bassins versants, réduction des débits d'étiage et meilleure régulation du régime des eaux.





Barrage en pierres sèches partiellement enseveli
forêt domaniale RTM du Gargas

Écoulement torrentiel devenu temporaire
forêt domaniale RTM du Gargas

Illustration 5 : Phénomène de crues torrentielles sous couvert forestier

1.3 Les glissements de terrain, rupture des forces d'équilibre du sol

Un aperçu des phénomènes…

L'appellation glissement de terrain regroupe une grande variété de processus affectant des formations très hétérogènes. Le critère le plus approprié à leur distinction reste celui de leur vitesse de déroulement. Ils peuvent correspondre à un mouvement imperceptible des terrains, appelé solifluxion, comme à des décrochements rapides et brutaux. Ces derniers sont très difficilement prévisibles. Ils sont les plus dangereux et générateurs des plus grands risques lorsqu'ils surviennent dans des zones à enjeux.

Schématiquement, trois cas peuvent être retenus. Le premier correspond au raidissement d'un talus au-delà de sa pente d'équilibre, ce qui le rend instable et s'accompagne, à court ou moyen terme, de glissements ou d'éboulements. Cela se produit banalement lorsqu'une rivière en crue sape ses berges. Le second cas concerne les formations poreuses au sein desquelles l'eau va modifier l'équilibre des forces en présence. Lorsqu'un sol en pente devient saturé en eau, l'apparition d'une nappe aquifère, en plus d'en augmenter le poids, réduit sa capacité de résistance au cisaillement et peut le rendre instable. L'origine la plus banale de cette suraccumulation d'eau dans le sol à l'origine de l'instabilité est la pluie (illustration 6). Enfin, le troisième cas est propre aux formations argileuses, du fait de leur comportement mécanique particulier. En effet, tant que la teneur en eau d'une argile est faible, le mince film d'eau absorbé qui entoure les particules argileuses contribue à la rigidité de l'ensemble. Cependant au-delà d'une valeur seuil de teneur en eau, les formations argileuses acquièrent le comportement d'un fluide visqueux et s'écoulent, sans se rompre, sous l'action de leur propre poids.

… et des interactions que la forêt entretient avec eux.

Il a pu être écrit et avancé que les déboisements favorisent les mouvements de terrain. La multiplication des défrichements au XVIII^{e} siècle serait ainsi à l'origine des coulées boueuses survenues dans le massif des Carpates ou dans le flysch de l'Apennin. La thèse contraire a également été soutenue, basée sur trois objections convergentes : l'observation montre que la forêt n'empêche pas les mouvements de terrain de se produire, les formations boisées favorisent l'infiltration de l'eau de pluie aux dépens du ruissellement, or c'est l'accumulation d'eau dans le sol qui le rend instable et favorise les mouvements de masse, enfin, des preuves ont été apportées qu'aussi bien dans les Carpates que dans l'Apennin, des mouvements de masse ont fonctionnés antérieurement au déboisement.

Ainsi, si la forêt peut avoir une fonction stabilisatrice des sols, renforçant leur résistance aux forces de cisaillement par le biais des systèmes racinaires, cette dernière n'est admise que pour les glissements superficiels inférieurs à deux mètres de profondeur. Au-delà, la forêt ne joue plus aucune fonction. Enfin, la composante que représente le poids de la forêt elle-même dans les mouvements de terrain devient négligeable pour des phénomènes un tant soit peu conséquents.



Forêt domaniale RTM de l'Ebron



Forêt domaniale RTM de l'Ebron

Illustration 6 : Glissement de terrains saturés en eau

1.4 Les avalanches, rupture d'équilibre au sein du manteau neigeux

Un aperçu des phénomènes…

Sous le terme très large d'avalanches sont regroupés un ensemble de modalités d'écoulements gravitaires rapides sur une pente, suite à une rupture du manteau neigeux. Ils diffèrent de la reptation par leur extension moindre mais leur vitesse bien supérieure. La reptation, mouvement inexorable et beaucoup plus lent du manteau neigeux, pourrait rester imperceptible sans la forme de crosse qu'elle imprime aux troncs qui y sont soumis.

Le manteau neigeux, fruit de l'accumulation au sol des précipitations neigeuses, est composé d'un empilement de couches présentant une cristallographie, une densité, une teneur en eau et une cohésion différente. Il s'agit donc d'un milieu hétérogène au sein duquel les forces de contact responsables de la cohésion entre les couches peuvent localement s'annuler. L'altitude, la pente, une rupture dans le profil topographique, la rugosité du sol, les conditions météorologiques récentes, l'épaisseur de neige fraîche ou encore les facteurs thermiques sont autant de paramètres pouvant être à l'origine de cette rupture, donc du déclenchement d'une avalanche.

Deux classes majeures d'avalanches sont définies : les avalanches coulantes (denses, de neige lourde) et les aérosols. Les aérosols sont des écoulements très fortement turbulents d'un mélange d'air et de particules de glace dans l'atmosphère. Leur vitesse d'écoulement est le plus souvent comprise entre 30 et 100 $m.s^{-1}$ pour des densités variant de 1 à 25 $kg.m^{-3}$. Ces avalanches pouvant se développer jusqu'à 200 m de hauteur s'affranchissent de la topographie et ont parfois la capacité de remonter le versant opposé à celui sur lequel elles ont commencé à s'écouler. S'ils sont impressionnants, ces phénomènes peuvent parfois être sans gravité — c'est l'onde de choc précédant l'avalanche qui représente un véritable danger — et ne causer

aucun dommage aux milieux traversés si ces derniers sont suffisamment perméables. Ce fut par exemple le cas pour l'avalanche qui a eu lieu dans les années 1990 à proximité de l'aérodrome de Samedan, dans les Grisons en Suisse. Le peuplement forestier en amont, présentant une structure en lanières orientées selon la plus grande pente, a été traversé par un aérosol sans subir aucun dégât. Le peuplement a même été en mesure d'en dissiper l'énergie. (Bischoff, 1987). Ces exemples restent toutefois rares.

Les avalanches coulantes quant à elles sont des écoulements peu développés en hauteur et fortement influencés par la topographie. Leur masse volumique varie entre 200 et 400 $kg.m^{-3}$ pour des vitesses généralement inférieures à 30 $m.s^{-1}$. Compte tenu de leur densité et des fortes pressions d'impact qui y sont associées, ce type d'avalanches garde un pouvoir de destruction élevé même pour des vitesses très faibles de quelques mètres par seconde. Il n'existe pas d'exemple de peuplement forestier capable de se maintenir en zone de transit de ce type d'écoulements majeurs. Enfin, entre aérosols et avalanches de neige dense, il existe une multitude d'écoulements intermédiaires empruntant leurs caractéristiques aux deux catégories décrites et qualifiés d'écoulements mixtes.

De multiples modèles ont été développés afin d'étudier et d'essayer de prévoir les aires d'extensions possibles des phénomènes avalancheux. Ils constituent, avec les témoignages et les expertises réalisées par Irstea et les services RTM, un des outils méthodologiques de la construction des cartographies de risque. Une description détaillée de ces modèles a été proposée par Maëlle Lepoutre, actuelle adjointe au chef de service RTM de l'Isère, dans son mémoire de mission professionnelle du cursus GREF (Lepoutre, 2011).

… et des interactions que la forêt entretient avec eux

Le couvert forestier intervient à la fois sur la formation du manteau neigeux et sur son évolution. En cela la forêt est le meilleur moyen de lutte contre le départ d'avalanche. Le rôle qu'elle peut jouer est en revanche plus contrasté en zone de transit et de dépôt où, de même que pour les crues torrentielles, elle reste vulnérable aux phénomènes majeurs.

La forêt intervient en premier lieu en favorisant le dépôt de la neige par le moyen d'une perturbation de l'écoulement du vent qui la transporte. Tout d'abord, la vitesse moyenne du vent sous couvert forestier est diminuée, ce qui limite la formation de plaques à vent. Ensuite la nature des écoulements du vent diffère selon la perméabilité du peuplement. Des accumulations de neige sont observées uniquement sous le vent pour des bandes boisées perméables alors qu'ils se produisent pour partie au vent et pour partie sous le vent dans le cas de peuplements imperméables. Ainsi les boisements peuvent limiter efficacement la quantité des dépôts neigeux en zones avalancheuses. Cette efficacité est maximale lorsque la zone boisée s'étend jusqu'en limite de crête, et de part et d'autre de celle-ci.
Une attention particulière est à accorder aux trouées — naturelles ou artificielles — à l'intérieur des peuplements. Elles jouent le rôle de véritables pièges à neige dans lesquels des hauteurs de dépôts supérieures à celles sur terrain nu peuvent être observées. Cette suraccumulation évolue inversement avec la taille des trouées, ce qui n'est pas pour favoriser le développement de la régénération.

Plus intuitivement, l'interception de la neige par les houppiers constitue l'élément de lutte contre les avalanches le plus efficace. À la différence des précipitations liquides, la quantité de neige interceptée peut être très importante et séjourner plusieurs jours sur les houppiers avant d'être restituée au sol. L'interception des chutes de neige est de 5 à 15 % en forêt feuillue et de 10 à 90 % en forêt résineuse. La diminution de l'épaisseur du manteau neigeux au sol est-elle proportionnelle à la densité du couvert forestier. Le Guide des sylvicultures de montagne pour les Alpes du nord françaises retient différentes valeurs de couvert minimal, selon la pente, afin d'éviter le départ d'une avalanche :

Pente	30°	35°	40°
Couvert	> 30 %	> 50 %	> 70 %

Couvert minimal en forêt résineuse décidue
zone de départ d'avalanche

La neige interceptée et emmagasinée sur les houppiers se modifie sous l'influence des radiations solaires. Elle est restituée au sol après 2 à 8 jours (Crécy, 1968) soit sous forme solide, soit sous forme liquide. Cette restitution occasionne un poinçonnement du manteau neigeux et en perturbe la stratigraphie, ce qui a pour effet d'augmenter sa stabilité (Hurand, 1994). Cette perturbation est d'autant plus efficace que la hauteur de chute est élevée. D'après le *Guide des sylvicultures de montagne*, pour être efficace, un

peuplement doit avoir une hauteur au moins deux fois supérieure à celle du manteau neigeux. De plus, en soustrayant le manteau neigeux aux écarts thermiques importants et brutaux liés au rayonnement la journée et au gel nocturne, le couvert forestier limite la métamorphose de la neige et l'apparition de couches fragiles.

La forêt a également une action mécanique sur la mise en mouvement du manteau neigeux et sa propagation. La présence d'un peuplement sur une pente peut être vue comme une augmentation de la rugosité du terrain, les troncs jouant le rôle d'obstacle. Cette action n'est valide que pour une densité de tiges minimale et une hauteur suffisante. Des densités efficaces variant de 200 à 1600 tiges par hectare ont pu être proposées. Enfin l'inclinaison de la pente minimale nécessaire au déclenchement d'une avalanche est estimée plus élevée en présence d'une forêt. Il est généralement admis qu'au dessus de 28° de pente en terrain nu, une avalanche peut survenir. Cette valeur pourrait aller jusqu'à 32° voire 42° sous forêt, selon les hauteurs et le type de boisement considéré.

Enfin, des interactions de nature à favoriser le déclenchement d'avalanches peuvent également exister naturellement. C'est le cas par exemple des formations feuillues pionnières qui recolonisent des couloirs d'avalanches. Les régénérations d'aulnes verts de formes buissonnantes et rampantes ou de sorbiers des oiseleurs, du fait de leur flexibilité, peuvent émerger subitement du manteau neigeux qui les recouvrait, créant ainsi une zone de rupture.



Boisement naturel efficace contre les avalanches
forêt domaniale RTM du Grand Veymont



Boisement de part et d'autre d'un couloir d'avalanche
forêt domaniale RTM du Gargas



Coulée de neige intra-forestière
forêt domaniale de Rioupéroux



Manteau neigeux sous taillis de hêtre
forêt domaniale RTM du Grand Veymont

Illustration 7 : Versants forestiers et avalanches

1.5 Chutes de blocs et éboulements, une libération soudaine d'énergie

Un aperçu des phénomènes…

Chute de pierres, de blocs, éboulements rocheux, éboulements en masse sont autant de termes qui caractérisent la libération de matériaux rocheux, par une falaise le plus souvent. Le volume unitaire des éléments mis en mouvement et la masse globale qui dévale la pente sous l'effet de la gravité permettent de caractériser le phénomène. Ainsi les pierres sont des éléments de moins de 1 dm^3 de grosseur, les blocs dépassent rarement 10 m^3 et l'on parle d'éboulements de masse à partir d'un volume global mis en mouvement de 100 m^3 (définitions de la norme NF P 95-307, reprise dans le guide technique pour l'élaboration des plans de prévention des risques naturels prévisibles concernant les mouvements de terrain). Par souci de commodité de lecture, l'appellation chute de blocs désignera par la suite l'ensemble des classes d'éléments susceptibles d'être interceptés voire arrêtés par la forêt.

L'eau est l'agent érosif majeur responsable de la désolidarisation d'un bloc de la falaise ou du dérochoir dans lequel il était inscrit. Ses actions sont diverses et dépendent de la nature du matériau. Elle va par exemple pouvoir, lorsqu'elle s'infiltre dans les failles et fissures des roches, dissoudre les fractions calcaires d'une formation rocheuse et participer ainsi à sa lente désagrégation. L'action de gel et de dégel, en fracturant progressivement la roche, conduit elle aussi à lui faire perdre sa cohésion.

La résistance des roches dépend de leur nature, à savoir des processus morphogénétiques dont elles sont issues. Les éléments rocheux libérés par l'altération du matériau mère sont aussi divers en taille et en forme qu'il existe de natures de formations rocheuses différentes. Ainsi les stratifications à couches assez minces formées par sédimentation (calcaires du Sénonien, dans le Dévoluy par exemple) libèreront-ils préférentiellement de petits blocs de forme rectangulaire alors que les massifs cristallins produiront en moyenne des blocs de volume supérieur.

Les éléments évoqués ci-dessus servent d'indice aux services RTM dont une des missions consiste à évaluer les probabilités que des chutes de blocs ou des éboulements ont de se produire.

Une fois qu'un bloc a entamé sa chute, outre ses propres dimensions, la pente et la topographie du versant sur lequel il évolue sont les deux facteurs prépondérants qui conditionnent son évolution. Le boisement parcouru par les blocs au cours de leur chute est un paramètre important qui pourra conditionner leur arrêt.

… et des interactions que la forêt entretient avec eux

Au niveau de la zone de départ, la forêt peut avoir une fonction stabilisatrice, lorsqu'elle s'installe sur des éboulis et contribue à les sceller au sol. Son action peut également être à l'origine de la mise en mouvement de blocs ; par exemple lorsque sous l'effet de levier des arbres soumis au vent, les systèmes racinaires sont soulevés et les blocs entre lesquels ils étaient enchevêtrés sont libérés.

Dans les zones de transit et de dépôt, les interactions de contact qui ont lieu entre les blocs qui dévalent un versant et les troncs du boisement présent sur ce versant représentent la part la plus importante de l'énergie absorbée. Viennent ensuite les contacts avec la végétation arbustive et herbacée et les frottements avec le sol forestier qui oppose une forte rugosité (détritus végétaux, souches et bois mort) à l'avancement des blocs.

Lorsqu'un bloc heurte un arbre, il peut ou non être arrêté. Même s'il n'est pas arrêté, la trajectoire du bloc est déviée à la suite de l'impact et une partie de son énergie cinétique est dissipée. Les effets du choc sur l'arbre sont de trois natures (Couvreur, 1982) : un cisaillement au niveau du tronc — pouvant entraîner le bris de l'arbre à ce niveau —, un cisaillement au niveau du système racinaire en amont du choc — pouvant être à l'origine de chablis — et enfin une oscillation de l'arbre — pouvant entraîner des bris de cime —. L'importance respective de ces trois effets dépend de la hauteur à laquelle le choc a lieu sur le tronc. Son intensité dépend de la quantité d'énergie qui a été dissipée, liée à la masse du bloc, à la vitesse de celui-ci et à l'angle avec lequel l'arbre est impacté. Pour qu'un arbre arrête un bloc, il faut qu'il soit en mesure d'absorber la totalité de l'énergie développée par ce dernier.

Si les études des interactions entre un arbre et un bloc peuvent être réalisées en laboratoire sous conditions contrôlées, l'extrapolation des résultats obtenus à un peuplement forestier n'est pas si évidente. C'est pourquoi il est nécessaire d'avoir recours à l'expérimentation grandeur nature sur un versant afin de calibrer des modèles de chute de blocs tenant compte des peuplements forestiers. Frédéric Berger, ingénieur

forestier de formation, aujourd'hui chargé de recherche à Irstea, est à l'origine de la mise en place d'un tel dispositif sur la commune de Vaujany en Isère. La mise au point de Rockfor.net, logiciel permettant un diagnostic rapide et simple à mettre en œuvre de la fonction de protection d'une forêt vis-à-vis des chutes de blocs, en est l'un des aboutissements (Berger et Dorren, 2010).

Des modèles beaucoup plus fins mais de mise en œuvre très lourde comme Rockyfor3D, prennent en compte dans les trois dimensions de l'espace les effets individuels des troncs sur la chute des blocs à l'échelle d'une forêt ou d'un versant.

Les principaux résultats des travaux de recherche sur la protection des forêts vis-à-vis des chutes de blocs trouvent une formulation pratique à destination du gestionnaire forestier dans les guides de sylviculture. Nous retiendrons en conclusion les paramètres qui font de la forêt un obstacle efficace à la chute des blocs : densité et diamètre des tiges, pente du versant, essences et structuration du peuplement.



Forêt communale RTM de St-Martin le Vinoux



Éboulis stabilisés
forêt domaniale de Rioupéroux



Forêt domaniale RTM de l'Oisans



Bloc piégé par une cépée
forêt domaniale de Rioupéroux

Illustration 8 : Chutes de blocs en versants forestiers

Afin de clore cette présentation des interactions entre forêt et phénomènes naturels, les tableaux 1 et 2 proposent une synthèse des connaissances actuelles selon la zone fonctionnelle considérée.

Phénomène naturel	**Interactions forêt - phénomène** *Zone de départ*	**Effets résultants** *sur le déclenchement du phénomène* (*positif*, neutre ou négligeable, *négatif*)
Érosion	*Interception de la pluie par les houppiers*	Énergie cinétique des gouttes d'eau diminuée (effet *splash*)
		Quantité d'eau apportée au sol diminuée
	Qualités intrinsèques propres aux sols forestiers	Infiltration de l'eau favorisée
		Horizons humifères peu sensibles à l'érosion
		Activité biologique entrainant une bonne structuration
		Ruissellement fortement réduit
	Stabilisation mécanique des sols	Ruissellement favorisé au détriment du ravinement
	Perturbation de l'écoulement du vent	Force érosive du vent inhibée
	Régulation thermique	Altérations liées au gel-dégel limitées
Crue torrentielle	*Régulation du régime des eaux*	Quantité d'eau apportée au sol diminuée
		Évapotranspiration importante des formations forestières
		Dimution du ruissellement au profit de l'infiltration
		Restitution des eaux retardée et étalée dans le temps
	Phénomène seuil	Plus d'effet du boisement au delà d'un certain volume d'eau
Glissement	*Ancrage du sol par les systèmes racinaires*	Bonne résistance aux forces de cisaillement
		Effet de levier (mouvement des arbres avec le vent)
		Effet négligeable pour de fortes déclivités du sol (>40°)
	Évapotranspiration importante des formations	Quantité d'eau apportée au sol diminuée
	Qualités intrinsèques propres aux sols forestiers	Infiltration de l'eau favorisée
	Surcharge représentée par le peuplement forestier	Possible déclenchement de glissements superficiels
		Effet négligeable pour des glissements plus importants
Chute de bloc	*Ancrage par le système racinaire*	Stabilisation d'éboulis
		Ancrages de blocs
		Effet de levier et mise en mouvement de blocs
		Roche altérée par le développement du système racinaire
	Qualités intrinsèques propres aux sols forestiers	Infiltration de l'eau favorisant la désagrégation des roches
		Forte rugosité des sols forestiers et dissipation de l'énergie
	Chocs des blocs contre le peuplement	Arrêt des blocs avant qu'ils n'acquierrent beaucoup d'énergie
		Hauteur de rebond fortement diminuée
Avalanche	*Perturbation de l'écoulement du vent*	Diminution de la quantité de neige transportée par le vent
		Limitation de la formation de congères
		Accumulation de neige au vent ou sous le vent
		Accumulation de neige dans les trouées
	Interception des précipitations neigeuses par les houppiers	Hauteur du couvert de neige sous forêt diminuée
		Neige restituée au sol avec un décalage temporel
		Modification de l'état de la neige sur les houppiers
		Poinçonnement du manteau neigeux lors de la restitution
		Statigraphie du manteau neigeux perturbée ou supprimée
		Discontinuités crées dans le manteau (aulne vert, sorbiers)
		Restitution par paquets de neige et déclenchement
	Diminution des écarts de température	Métamorphose de la neige diminuée
	Effet d'ancrage lié aux troncs	Rugositée augmentée et reptation limitée

Tableau 1 : Interactions entre peuplements forestiers et phénomènes naturels
zone de départ

Phénomène naturel	Interactions forêt - phénomène *Zones de transit et dépôt*	Effets résultants *sur l'évolution du phénomène* *(positif, neutre ou négligeable, négatif)*
Érosion	*Stabilisation mécanique des sols*	Concentration du ruissellement évité
		Piégeage des sédiments emportés par ravinement
		Possibilité de creusement induit du lit des cours d'eau
Crue torrentielle	*Régulation du régime des eaux*	Pointes de crues atténuées et étalées dans le temps
		Formation de laves limitée
	Obstacle à l'écoulement	Arbres instables emportés
		Alimentation de l'écoulement en débris
		Formation d'embâcles et risque de rupture brutale
		Frein et retenue des écoulements raisonnables
Chute de bloc	*Obstacle à la propagation*	Dissipation d'énergie et arrêt des blocs
		Hauteur de passage des blocs fortement diminuée
		Canalisation des trajectoires si couloir naturel
		Rebonds limités
		Accumulation de blocs derrière un arbre mort
		Effet tremplin des souches
Avalanche	*Obstacle à la propagation*	Effet belier des troncs emportés
		Arrêt favorisé sur penté <10° si coulée dense sans débri
		Canalisation potentielle de l'écoulement
		Dissipation potentielle d'énergie et atterrissements moindres
		Peuplement perméable traversé par les aérosols
	Surfaces de dépôt modifiée	Litière feuillue et propention au glissement
		Couches fragiles liées à la végétation arbustive

Tableau 2 : Interactions entre peuplements forestiers et phénomènes naturels
zone de transit et de dépôt

Les photographies proposées précédemment ont été sélectionnées afin d'illustrer au mieux les phénomènes naturels présentés. Elles donnent ainsi à voir des sites pour lesquels un seul type de phénomène était présent de façon claire. Cependant, des situations plus complexes ont également été trouvées au cours des relevés réalisés sur les terrains domaniaux RTM de l'Isère pendant mon stage.

Un des objectifs de cette étude étant de réaliser un état des lieux de ces terrains domaniaux et de leurs boisements, les photographies qui suivent proposent des illustrations de cas où plusieurs phénomènes naturels étaient imbriqués en un même site (illustration 9). Cette accumulation complique, de fait, les possibilités de gestion sylvicole — dans le cas où une sylviculture est envisagée — qui permettraient d'exploiter au mieux le potentiel de protection que peuvent offrir ces forêts.

Enfin il est arrivé que la distinction entre différents phénomène naturels, ainsi que leur description, ne soit concrètement pas aisée à réaliser : différence entre grosse ravine et petit chenal de torrent, sites où la reprise de l'érosion pourrait être possible et ceux où elle semble improbable, zone d'extension probable des crues torrentielles, observation des glissements de terrain en sont des exemples.

J'ai pour cette partie bénéficié des connaissances de l'ensemble des personnes travaillant au service RTM de l'Isère, avec qui j'ai pu réaliser des sorties sur le terrain et grâce à qui le regard que je porte sur la nature des phénomènes qui peuvent se produire, leur intensité et leurs implications possibles a beaucoup évolué



Érosion et chute de blocs (falaise sus-jacente)
forêt domaniale RTM de Pellafol



Érosion, crues torrentielles et ravinement
forêt domaniale RTM de Roizonne



Bloc probablement transporté par une crue torrentielle
forêt domaniale RTM de Chantelouve



Érosion libérant des pierres et des blocs
forêt domaniale RTM de Pellafol



Avalanche chargée de pierres et de blocs
forêt domaniale RTM de Pellafol



Glissements de terrains, érosion et crues torrentielles
forêt domaniale RTM du Petit Veymont

Illustration 9 : Quelques exemples d'imbrication de phénomènes naturels

2. Programmes récents consacrés à la forêt de protection

Parmi les principaux programmes récents consacrés à la forêt de protection, il faut entre autres évoquer les projets Interreg portés par l'Union européenne, les recherches menées par Irstea, souvent en coopération avec l'ONF, ou encore les évaluations du besoin en renouvellement des peuplements de protection (RPP) souhaité par le ministère de l'Agriculture sur les forêts domaniales pour lesquels sa responsabilité juridique est engagée.

2.1 Les projets Interreg, une initiative de l'Union européenne

Chaque nouveau programme ou projet de recherche voit s'améliorer et se préciser nos connaissances sur les forêts de protection, ce qui est heureux. C'est pourquoi si la méthodologie employée par la suite pour traiter et exploiter les données relevées sur le terrain s'inspire des résultats et préconisations actuelles, elle n'est pas à l'abri de laisser apparaître des imperfections dans les années à venir.

Initiative de l'Union européenne lancée en 1989, les projets Interreg correspondent à un ensemble d'actions ciblées et regroupées au sein de programmes menés sur des périodes pluriannuelles. Les projets portés visent à stimuler la coopération entre les régions des différents pays européens. Les projets mis en place, dont le Fond européen de développement régional (FEDER) assure une partie du financement, ont pour visée la diminution de l'influence des frontières nationales au profit d'un développement social, économique et culturel de l'ensemble du territoire européen.

Le projet Interreg Forêts de protection (IFP), développé autour de l'arc alpin, vise à l'amélioration des connaissances relatives à la fonction de protection jouée par les forêts de montagne vis-à-vis des aléas naturels gravitaires rapides — chute de blocs et avalanches — essentiellement. Ce projet est porté simultanément par les deux programmes Interreg IV A France-Suisse et Interreg IV A Alcotra, pour la période 2007-2013.

Il est pensé dans la continuité du projet Interreg III A Alcotra n°66 : Gestion durable des forêts de montagne à fonction de protection qui a permis au cours de la période 2003-2006 d'élaborer et de diffuser des outils techniques opérationnels en vue d'optimiser la sylviculture en forêt de montagne, au regard notamment des aléas naturels. La réalisation du *Guide des sylvicultures de montagne Alpes du Nord françaises*, inspiré par le modèle suisse du *Guide des soins minimaux : Gestion durable des forêts de protection*, est une des réalisations de ce dernier projet, au même titre que la parution du volet Alpes du Sud françaises du *Guide des sylvicultures de montagne* a été encouragé par le projet Interreg IV A Alcotra.

Interreg Forêt de protection

À travers les deux guides, des règles de gestion sylvicole pour les forêts de montagne à fonction de protection ont été proposées et validées conjointement par l'ONF et Irstea. Ainsi les objectifs du projet IFP visent-ils davantage à développer la mise en application pratique des règles de sylviculture proposées. Ils se résument ainsi : élaborer des zonages de la fonction de protection des forêts et prioriser les interventions sylvicoles au sein de ces dernières ; élaborer des référentiels techniques et budgétaires pour dimensionner les chantiers de gestion forestière à finalité de protection ; réfléchir sur les responsabilités respectives des acteurs locaux ; enfin intégrer par une approche économique l'intérêt d'une gestion forestière avec un objectif de protection au regard des autres types d'interventions de réduction des répercutions des phénomènes naturels pouvant survenir.

Ainsi, à l'issue du projet doit-il être acquis d'identifier la fonction de protection des forêts et leurs capacités à atténuer le risque naturel, de planifier les interventions nécessaires sur un territoire en fonction des enjeux prioritaires, du niveau de risque et du coût de ces dernière afin d'allouer les moyens financiers mobilisés le plus efficacement possible. C'est à dire avec l'impact le plus fort à coût moindre.

Afin d'atteindre ces objectifs, sept actions ont été mises en place au cours du projet IFP. L'action 1, relative au zonage des forêts à fonction de protection, est dans un premier temps celle qui retiendra notre attention. L'objet du stage étant d'abord de réaliser un état des lieux de la fonction de protection assurée par les forêts présentes sur les terrains domaniaux RTM de l'Isère, il est intéressant de voir quelles délimitations et quelle définition des forêts de protection a été donnée à travers cette action, et également quelle en a été la prise en compte.

IFP action 1 : zonage cartographique des forêts à fonction de protection

La finalité de cette action est d'établir des priorités géoréférencées en matière d'interventions forestières : les zones d'intervention forestières prioritaires (ZIFP), c'est-à-dire de définir les zones forestières à fonction de protection où les dépenses seraient le plus efficacement affectées.

Cette démarche « cartographie » m'a semblé intéressante à présenter dans la mesure où elle est très comparable, dans les étapes de sa construction et dans sa forme rendue, à la cartographie RPP en cours d'élaboration par l'ONF pour les forêts domaniales RTM. Elle est donc en rapport direct avec le sujet du stage.

La communauté d'agglomération grenobloise, la Métro, est un des quatre sites français retenu pour établir et valider la méthodologie de cartographie des ZIFP basée sur les travaux de modélisation d'Irstea. Sur l'ensemble des quatre sites, 18 831 ha de forêts recensées comme possédant une fonction de protection ont été définies par le RTM et analysées par le personnel forestier de l'ONF et du CRPF Rhône-Alpes.

Á l'origine du projet, trois phénomènes naturels devaient être étudiés ; les chutes de blocs, les avalanches et les glissements de terrain. Comme cela a été dit plus haut, les connaissances sur ce dernier sont bien moins avancées que pour les deux premiers. De plus, les partenaires du projet IFP n'étaient que très peu impactés par les glissements de terrain. C'est pourquoi seuls les phénomènes de chutes de blocs et d'avalanches ont été conservés pour l'étude.

Présentation de la méthodologie de zonage utilisée

La réalisation de la cartographie des forêts à fonction de protection nécessite de croiser trois types d'informations : les phénomènes (avérés ou potentiels) et leur intensité, les enjeux présents et le niveau d'importance qui leur est conféré et enfin les peuplements forestiers en place. Elle est le fruit de différentes étapes (Clouet et Berger, 2010) dont un résumé est présenté ci-dessous. L'idée générale consiste en une première approche des phénomènes à l'aide de modèles numériques de terrains (MNT), les zones de génération et de propagation étant par la suite recoupées avec les zones forestières situées en amont d'enjeux.

Zones de départ des blocs et des avalanches – angle θ

Les zones de départ sont les *falaises* pour les blocs et les *panneaux déclencheurs* pour les avalanches. Les falaises ont été définies comme toutes les zones présentant une pente supérieure à une valeur seuil d'angle θ, mesurée en degrés, permettant le départ de bloc. Cette valeur seuil θ dépend de la résolution du MNT utilisé :

$$\theta_{\text{min départ bloc}} = 55° \times résolution_{(m)}{}^{-0,075}$$

Ainsi, pour un MNT obtenu par lidar avec un pas de précision de l'ordre du mètre, les blocs seront considérés comme susceptibles d'être mis en mouvement au-dessus d'un angle de 55°. Les MNT utilisés pour la cartographie du projet IFP sont ceux de la base de données topographiques de l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) BD Topo®, précise au pas de 25 m. Les blocs seront donc considérés comme pouvant se détacher de tout pan de falaise d'un angle supérieur à 43°.

Les panneaux déclencheurs pour les avalanches sont toutes les zones d'une surface supérieure à 500 m² (longueur dans la pente d'au moins 50 m et largeur en travers de la pente d'au moins 10 m), situées à plus de 1000 m d'altitude, présentant un angle θ compris entre 28° et 55° et une ligne de rupture. Ces paramètres sont à la fois le fruit d'analyses statistiques sur un grand nombre d'avalanches (données issues de l'enquête permanente sur les avalanches) et d'expertises du RTM. Toute zone présentant les quatre caractéristiques décrites ci-dessus est considérée comme un panneau déclencheur.

Zones de propagation des blocs – angle de ligne d'énergie β

Une fois le point de départ A connu, la propagation maximale du bloc est simulée à l'aide d'une approche statistique de loi de distribution et du principe de la ligne d'énergie, notion découverte par le chercheur suisse Heim en 1932. Il avait observé que la distance maximale d'arrêt d'un bloc au pied d'une falaise dépendait de l'angle β formé entre l'horizontale au point d'arrêt du bloc et une ligne partant de ce point pour atteindre le sommet de la falaise. Cette relation reste vraie quelque soit le volume de ce bloc, y compris pour des éboulements de grande ampleur. Le nombre de blocs dépassant ce point d'arrêt B est statistiquement très faible.

Ce principe de la ligne d'énergie permet de mettre en relation la distance maximale de propagation des blocs avec la pente du relief sur lequel ils évoluent. Lorsque la pente est inférieure à un angle limite β, les blocs décélèrent. Cet angle β est alors appelé angle de ligne d'énergie. Le logiciel de modélisation de

propagation de blocs à travers un écran forestier Rockfor.net est basé sur ce principe. C'est un outil intéressant et adapté à la gestion forestière ; simple d'utilisation et de mise en œuvre très rapide. Une version plus évoluée, Rockfor.line devrait également être mise en libre accès sur internet prochainement.

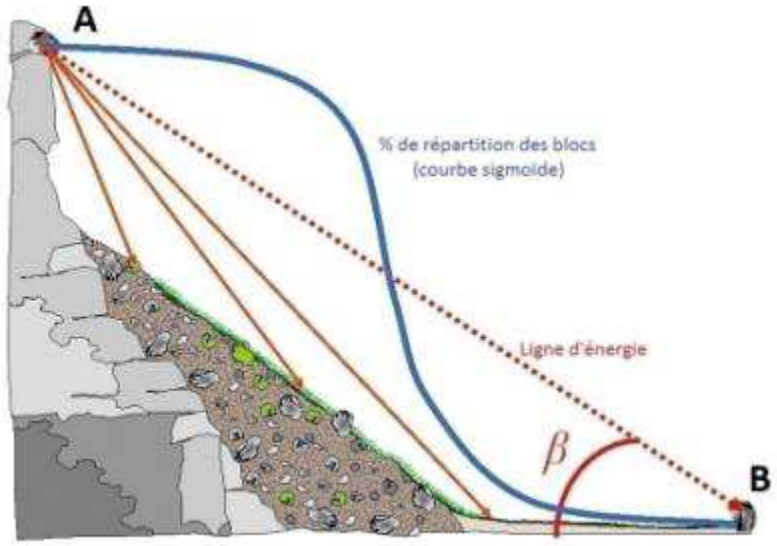


Illustration 10 : Profil de répartition des blocs le long d'un versant
schéma de F. Berger

La valeur de l'angle β est d'environ 32° pour un terrain nu. Cette valeur peut être ramenée à 35° pour une forêt moyennement efficace voire 38° pour une forêt jouant pleinement sa fonction de protection.

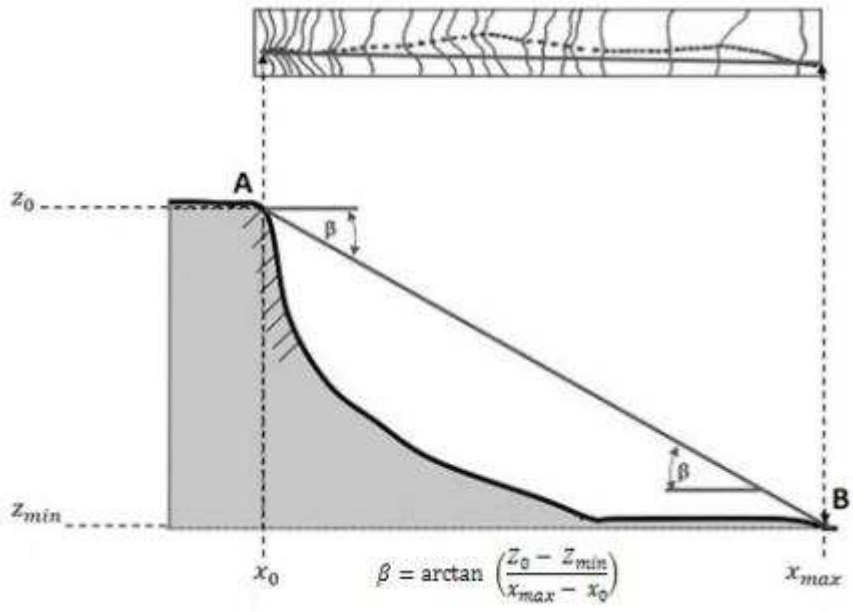


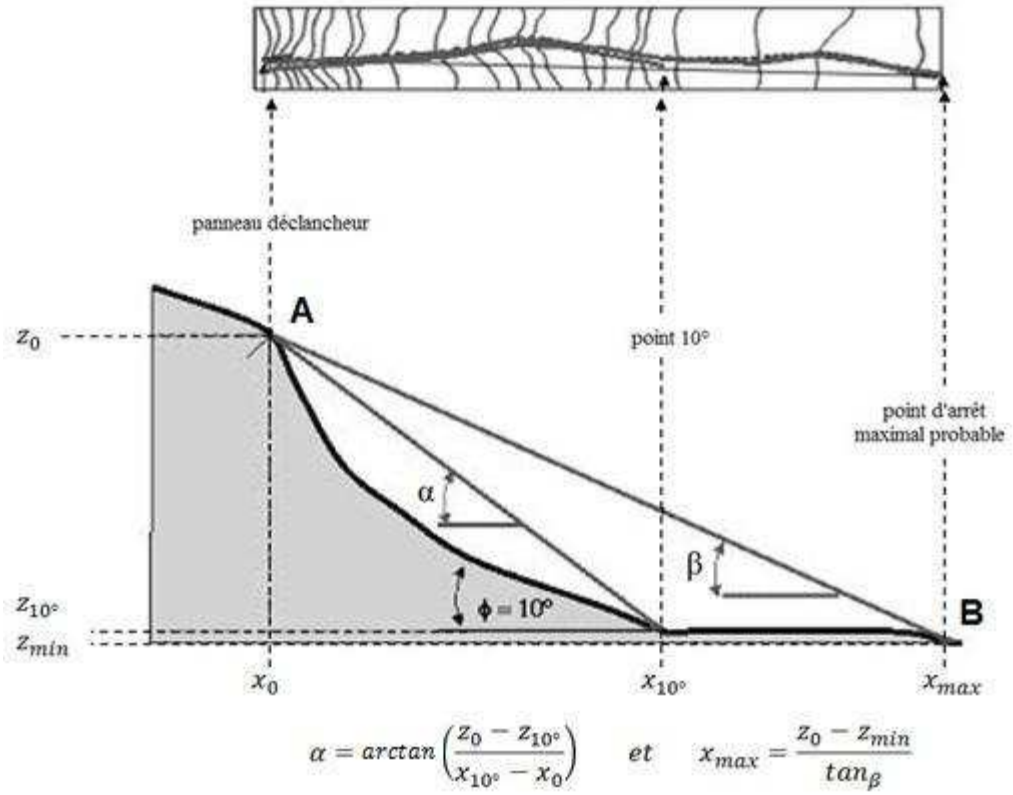
Illustration 11 : Calcul de l'angle de ligne d'énergie β
schéma de F. Berger

Zone de propagation des avalanches

Si le principe physique de la ligne d'énergie reste le même pour la modélisation de la propagation des avalanches, le modèle retenu est plus complexe que pour les chutes de blocs. La distance d'arrêt maximale de l'avalanche au point B sera toujours fonction d'un angle β. Seulement cette fois cet angle β ne dépend pas seulement du point de départ A, mais aussi de l'angle α du point à partir duquel la pente sur laquelle évolue l'avalanche devient inférieure à un angle ϕ d'une valeur de 10° (valeur d'angle trouvée par une équipe de chercheurs norvégiens).

La relation entre β et α a été calibrée dans la vallée de Chamonix à partir de données MNT LiDAR à haute résolution. Un profil en long a été dessiné sur chacun des 103 couloirs avalancheux recensé dans la

CLPA et une relation statistique liant β à α a été établie à partir de ces données. La propagation maximale des avalanches a été cartographiée à partir de l'application de cette relation mathématique.



où $\beta = a \times \alpha + b$ $(a, b \in \mathbb{R})$ *a et b sont définies empiriquement d'après les caractéristiques du site*

Illustration 12 : Modélisation de la propagation maximale pour les avalanches
schéma de F. Berger

Il est à noter que la cartographie des phénomènes proposée ci-dessus ne tient pas compte de la présence de la forêt. Il s'agit donc de phénomènes maximums théoriques qui se produiraient dans l'hypothèse « catastrophique » où la couverture végétale viendrait à disparaître. Les phénomènes ainsi cartographiés sont ensuite recoupés avec la couche forestière produite par l'IGN. Cette couche correspond à la couche « F – occupation du sol : végétation » de la BD Topo® de l'IGN, communément appelée « fond vert ». Elle propose, depuis 2007, une interprétation selon 28 classes de végétation. Dans le cas de la Métro, le RTM a systématiquement ajusté les données issues de la modélisation en ajoutant notamment les données historiques, celles des cartes de localisations des phénomènes avalancheux (CLPA) ou celles des PPR. Une élimination des artéfacts des modèles liés par exemple à une topographie marquée ou à une mauvaise détection des zones de départ intraforestières a également été opérée.

Croisement des zones de propagation avec les zones forestières

Ce croisement permet de mettre en évidence le rôle de protection joué par les peuplements. Ainsi, seront considérés comme peuplements à fonction de protection les boisements situés sur les panneaux déclencheurs d'avalanches et les boisements situés dans la zone d'évolution des blocs.

Par la suite, un indice de maîtrise de l'aléa (IMA) est attribué à chaque polygone forestier concerné par au moins un aléa. Cet indice traduit la capacité du peuplement à limiter l'ampleur du phénomène naturel, voire à l'arrêter. Il dépend du type, de la fréquence, de l'intensité et de la localisation du phénomène naturel considéré, ainsi que des caractéristiques dendrométriques des peuplements. Ces caractéristiques sont décrites à cette étape selon un protocole de mesure défini lors du programme IFP : après une première étape de photo-interprétation, des polygones forestiers jugés homogènes — d'une surface d'au moins 1 ha — sont parcourus par des agents. Les données renseignées sont présentées en annexe 1. Les polygones non accessibles pouvaient être décrits depuis un endroit accessible (le versant en face par exemple). Les agents avaient également la latitude, afin de gagner du temps, de recopier directement les valeurs relevées du polygone précédent sur le polygone adjacent si ce dernier semblait sensiblement identique. Enfin, ils pouvaient également redécouper des polygones en cas d'erreur manifeste de photo-interprétation. Les notes d'IMA attribuées vont de 0 à 6 selon que le rôle de maîtrise de l'aléa par la forêt est nul à crucial.

Peuplements à feuillage persistant		Couvert hivernal de la canopée (%)			
		< 10%	10 à 30 %	30 à 70 %	> 70 %
Zone de départ	déclarée en forêt	**0**	**0**	**2**	**3**
	potentielle en forêt	**0**	**2**	**5**	**6**

Peuplements à feuillage caduc		Surface terrière G (m²/ha)			
		< 10	10 à 25	25 à 40	> 40
Zone de départ	déclarée en forêt	**0**	**0**	**0**	**0**
	potentielle en forêt	**0**	**4**	**5**	**5**

Tableaux 3a et 3b : Valeurs IFP d'IMA pour les forêts de protection contre les avalanches

Chute de blocs *blocs < 5m³* *bande boisée > 250m*	G (m²/ha)	Densité (N/ha)		
		< 250	250 à 500	> 500
Départ en forêt	< 25	**1**	**3**	**4**
	> 25	**2**	**5**	**6**
Départ en amont de la forêt	< 25	**0**	**1**	**3**
	> 25	**0**	**4**	**5**

Tableau 4 : Valeurs IFP d'IMA pour les forêts de protection contre les chutes de blocs

Localisation des enjeux

Une forêt sera dite de protection uniquement si elle protège des enjeux socioéconomiques d'un risque naturel. Les enjeux sont photo-interprétés et une note leur est attribuée selon leur niveau d'importance. Les cotations de risque de la BD RTM ont été retenues pour noter les enjeux. Cette grille d'évaluation est présentée plus loin (tableau 12). La couche des enjeux est ensuite croisée avec celle des forêts. Cela permet de conserver uniquement les peuplements forestiers qui protègent effectivement des enjeux menacés par des phénomènes naturels. Ce sont ces peuplements que l'on appelle forêt à fonction de protection. Un niveau de priorité leur a été attribué en fonction de leur état de stabilité et des enjeux qu'ils protègent.

Détermination de zones d'intervention forestières prioritaires (ZIFP)

Un dernier croisement entre l'IMA des peuplements et le niveau de priorité estimé aboutit à la notion de ZIFP, c'est-à-dire aux surfaces forestières prioritaires en matière d'intervention afin que la fonction de protection soit assurée à long terme. Une note de ZIFP faible peut signifier que la forêt n'est pas apte à maîtriser l'aléa et le recours à des actions de génie civil est alors à envisager ou bien que sa pérennité n'est pas menacée à moyen terme et donc qu'il n'est pas urgent d'y intervenir. Au contraire, une forêt apte à maîtriser l'aléa — donc à fort IMA — et dans laquelle des actions sylvicoles pour son maintien semblent urgentes — au vu de son état actuel d'instabilité par exemple — se verra attribuer une forte note ZIFP. Si des

financements sont engagés pour le maintien et le renouvellement des peuplements à fonction de protection, c'est sur ce dernier type de forêts qu'ils seront a priori employés au mieux.

IMA	Degré de priorité			Actions recommandées
	+	++	+++	
0 et 1	**1**	**1**	**1**	**Génie civil**
2	**2**	**2**	**3**	**Génie civil et biologique**
3	**2**	**3**	**4**	**gestion forestière spécifique aux forêts de protection**
4	**3**	**4**	**5**	
5	**4**	**5**	**6**	
6	**5**	**6**	**6**	

Tableau 5 : Classification IFP des peuplements en ZIFP

Les documents de référence pour la gestion sylvicole des forêts alpines à fonction de protection

Des connaissances sur les forêts à fonction de protection découlent les règles de gestion sylvicole afin que les forêts jouent au mieux les fonctions de protection que l'on souhaite mettre à profit. On pressent déjà que la futaie irrégulière, de par la continuité de l'état boisé, l'étagement des strates et des classes d'âge ainsi qu'une résilience élevée, semble le traitement le plus adapté. En situation de protection, ce traitement est retenu par les deux GSM.



Illustration 13 : Guides de sylviculture des Alpes du Nord et du Sud françaises
les deux ouvrages actuels de référence pour la gestion des forêts alpines à fonction de protection

Ces deux guides sont les références en France pour le traitement des forêts alpines. Le tableau 6 propose une synthèse de leurs préconisations de traitement en forêt à fonction de protection selon le phénomène naturel considéré.

Leurs préconisations générales, basées sur les principes du traitement irrégulier et la régénération par trouées seront également évoquées. La majorité des consignes de gestion varient bien évidemment selon le type de peuplement considéré, sa structure, sa composition en essences, sa densité, l'étage naturel auquel il est présent ou encore son état sanitaire. Seuls quelques ordres de grandeurs préconisés sont retranscrits (tableau 7) afin de donner au lecteur une idée de leur « philosophie ». Un report à ces guides est nécessaire pour répondre à des questionnements ciblés.

	GSM Alpes du Nord, 2006	GSM Alpes du Sud, 2012
Traitement général	Favoriser les structures irrégulières Favoriser le mélange des essences et l'étagement des strates Ne pas laisser trop vieillir les peuplements Minimiser les dégâts d'exploitation Pratiquer des éclaircies par bouquet Respecter les lisières vertes internes et étager les lisières Favoriser la présence de feuillus lorsque cela est possible Penser les trouées selon la régénération existante Penser les trouées selon les conditions stationnelles Adapter la durée des rotations et le volume prélevé à l'accroissement du peuplement et au capital sur pied Respecter la qualité environnementale et paysagère des sites	
Interventions	Dépresser ou détourer les jeunes peuplements homogènes Réaliser des trouées de 5 à 25 ares maximum Privilégier les martelages par le haut (K > 1,5) Prélèvement entre 15 et 30 % en G (5 à 10 m²/ha maximum) Récolte optimale par coupe entre 60 et 120 m3/ha Rotations de 10 à 30 ans $G_{objectif}$ précisé à plus ou moins 10 m²/ha Précision du taux objectif de GB à plus ou moins 10 % Précision du couvert de régénération objectif (3 à 12 %)	Trouées de 25 à 50 a, pouvant atteindre 1ha maximum Taux objectif de couvert arboré ou végétal précisé Préconisations selon l'âge des peuplements et leur densité

Tableau 6 : Préconisations générales des GSM en forêt à fonction de protection

Face au problème de la gestion de peuplements jugé instables — rapport H/D élevé, forte densité de tiges, structure régulière, peuplement âgé, menaces liées à des phénomènes naturels — le renouvellement par la création de trouées est la solution actuellement la plus fréquente. Le besoin de renouvellement attribué à ces peuplements va de pair avec le niveau de protection qu'ils peuvent jouer face aux risques naturels et dont l'on souhaite bénéficier. L'objectif est d'éviter qu'ils cessent de jouer cette fonction suite à une dégradation majeure et subite liée à un phénomène climatique majeur.

Nicolin Bischoff, quant à lui, évoquait vers la fin des années 1980 l'efficacité de la réalisation d'ouvertures linéaires de faible largeur et perpendiculaires à la pente pour l'obtention de la régénération. Ces légères ouvertures en bandes permettent un apport de lumière diffuse et directe à la fois léger et suffisant à l'obtention de la régénération. Des travaux sur la régénération du mélèze d'Europe (Ladier, 2003) montrent qu'une insolation directe journalière supérieure à 6 h devient délétère pour l'apparition et le développement des semis, les valeurs optimales d'insolation se situant entre 3 et 6 h par jour. De trop grandes ouvertures conduisent à faire disparaître les conditions microclimatiques propres aux écosystèmes forestiers.

Il semble intelligent de n'éluder aucune possibilité de traitement dans la mesure où elle ferait la preuve de son efficacité. Le facteur économique pèse aujourd'hui lourdement sur la mise en œuvre de techniques sylvicoles de renouvellement. Ainsi les trouées semblent-elles actuellement la meilleure méthode de régénération des peuplements. Cependant l'obtention de la régénération suite à l'ouverture d'une trouée, donc la pérennité du peuplement, n'est pas un fait acquis à court ni à moyen terme. Régulièrement, les conditions de densité et d'éclairement des peuplements dans lesquels sont réalisées des trouées ne permettent pas de s'appuyer sur une quelconque régénération préexistante. Ceci conduit à réaliser les trouées sans garantie de résultat. D'assez nombreux exemples de réalisations de trouées ont pu être observés au cours des phases de relevés terrain de ce stage. Tous les degrés de réussite ont été rencontrés. En cas d'absence de régénération au bout de 10 ans, le *GSM Alpes du Sud* préconise la plantation.

Des préconisations de réalisation des trouées — précisant où et comment les réaliser — sont données dans le *GSM Alpes du Nord*. De plus, des programmes de suivi sont actuellement menés. Cependant, les situations sont diverses et le sujet, complexe, demande du temps. Peu de connaissances globales et documentées existent sur la durée et les conditions nécessaires à l'apparition de la régénération dans les trouées. Il peut arriver en effet qu'elle fasse défaut alors même que toutes les précautions ont été prises. Une étude globale faisant ressortir les facteurs — édaphiques, d'exposition, d'éclairement, de chaleur, de concurrence — conditionnant son apparition serait bénéfique.

Aléa			GSM Alpes du Nord, 2006 / GSM Alpes du Sud, 2012
Érosion	*Fonction de protection si…*		Couvert végétal du bassin versant, l'été > 70 % Ravines de taille modérée (<1 ha) Végétalisation du bassin versant, l'été > 30 % si présente dans le lit des ravines
	Préconisations		Laisser au minimun 70 % de couvert végétal Laisser si possible 70 % de couvert arboré
Crue torrentielle	*Fonction de protection si…*		Couvert végétal du bassin versant, l'été en zone de départ > 70 % Pluristratification et diversité des essences Proximité du couvert forestier avec le cours d'eau Présence de bois stables de diamètre > 40 cm sur les berges en zone de transit Densité de tiges précomptables à l'hectare > 350 en zone de dépôt
	Préconisations	*zone de transit*	Éliminer les arbres risquant de destabiliser les berges ou former des embâcles dans le lit Ne laisser aucun arbre ou rémanent à proximité du torrent ou des talwegs secondaires Favoriser les feuillus (recépage) et préserver la végétation ligneuse basse des berges Éviter les busages permanents et favoriser les gués (radiers)
Glissement	*Fonction de protection si…*		Glissement de terrain superficiel (< 2 m profondeur) Couvert végétal du bassin versant, l'été > 70 % Pluristratification et diversification des essences
	Préconisations		Éliminer les arbres instables en tête de niches d'arrachement Éviter l'ouverture ou l'élargissement de pistes Remettre en état et entretenir les réseaux de drainage Ne pas laisser de mare et éviter la concentration du ruissellement
Chute de bloc	*Fonction de protection si…*		V_{total} de l'éboulement rocheux raisonnable (< 500 m3) Pente < 25° ou $V_{unitaire\ bloc}$ < 5 m3 Longueur de la bande boisée continue > 250 m *Fonction de protection admise uniquement en zone de transit en de dépôt* $V_{unitaire\ bloc}$ < 1 m3 Densité de tiges de perchis et gaulis à l'hectare > 2000 Densité de tiges précomptables à l'hectare > 350 ou surface terrière > 25 m²/ha
	Préconisations	*zone de départ*	Éliminer les arbres instables : favoriser $H/D_{résineux}$ < 65 et $H/D_{feuillus}$ < 80 Limiter la distance d'entrée des blocs dans le peuplement (< 20 m) G en pied de zone de départ élevée mais compatible avec la pérennisation du peuplement Exploitation des arbres en laissant des souches hautes (> 1,30) Laisser au sol des arbres ne risquant pas d'être mis en mouvement, en oblique de la pente Limiter la taille des trouées (longueur dans la pente < 1,3 fois hauteur peuplement) Obtenir des boisements continus sur plus de 250 m dans le sens de la pente Obtenir plus de 30 % de feuillus parmis les plus gros arbres Renoncer à toute intervention qui déstabiliserait des blocs
		zone de transit et de dépôt	Obtenir une densité des arbres précomptebles d'au moins 350 tiges par hectare $G_{précomptable}$ d'au moins 25m²/ha en zone de transit et 20m²/ha en zone d'arrêt Exploiter les arbres en laissant les souches hautes Laisser au sol les arbres ne risquant pas d'être mis en mouvement, en oblique de la pente Densité élevée sur une bande de 25 m de part et d'autre d'un couloir préférentiel de chute Éliminer les arbres instables en bordure de couloir Éliminer les arbres pouvant atteindre des enjeux lors de leur chute Renoncer à toute intervention qui déstabiliserait des blocs Adapter le diamètre des arbres adultes à la taille moyenne des blocs interceptés
Avalanche	*Fonction de protection si…*		Pas d'avalanche observée en deçà d'un boisement sous une zone de départ active Pas d'avalanche observée en zone de départ potentiel boisée *Fonction de protection admise uniquement en zone de départ* Couvert hivernal > 70 % si départ avéré ou couvert hivernal > 30 % si départ potentiel Gprécomptable > 40 m²/ha si départ avéré et Gprécomptable > 25 m²/ha si départ potentiel
	Préconisations	*zone de départ*	Obtenir un peuplement au moins 2 fois plus haut que le manteau neigeux En lisières, obtenir des arbres au rapport $L_{houppier}/H_{totale\ arbre}$ > 2/3 Laisser au sol les arbres ne risquant pas d'être mis en mouvement, en oblique de la pente Lorsque les conditions écologiques s'y prettent, favoriser les collectifs Limiter la présence d'aulnes verts dans les trouées Limiter la proportion d'essences à feuilles caduques à 30 % Favoriser les arbres stables (H/Drésineux < 65 et H/Dfeuillus < 80) Limiter la dimension des trouées (1,5 H selon la pente et 0,75 H en travers de la pente) Augmentation de $G_{préconisé}$ avec la pente et le diamètre moyen des arbres Implantation éventuelle d'ouvrages de protection (trépied, râtelier, panneau déflecteur)
		zone de transit et de dépôt	Exploitater les arbres en laissant des souches hautes Laisser au sol les arbres ne risquant pas d'être mis en mouvement, en oblique de la pente Ortenir une surface terrière des arbres précomptables > 25m²/ha Favoriser les arbres à faible prise au vent en hiver Au moins 70 % d'arbres à feuilles caduques en bord de couloir et au moins 30 % ailleurs

Tableau 7 : Préconisation particulières des GSM en forêt à fonction de protection

2.2 Renouvellement des peuplements de protection (RPP)

L'origine du programme

Le renouvellement des peuplements de protection est une action à l'initiative du ministère chargé des forêts, datant de 2006. La convention cadre passée par ce ministère avec l'ONF pour la période 2007-2011 prévoit la réalisation d'une étude spécifique de tous les terrains domaniaux RTM, notamment de l'état de leurs boisements et de la fonction de protection qu'ils peuvent jouer. Pour un grand nombre d'entre eux, ces boisements datent des grandes campagnes d'acquisition foncière et de reboisement qui ont fait suite aux principales lois sur la restauration des terrains en montagne de 1860 (loi sur le reboisement des montagnes), 1864 (loi sur le regazonnement des montagnes), 1882 (loi sur la restauration et la conservation des terrains en montagne) et 1913 (loi sur la régularisation du régime des eaux).

À travers l'acquisition de ces terrains au statut juridique particulier, l'État a engagé sa responsabilité pour assurer la maîtrise des phénomènes naturels générateurs de risques dont ils sont le siège. Il doit donc s'assurer de leur bonne gestion. Pour cela, il dote les 9 services départementaux RTM de moyens financiers en vue de la réalisation de missions d'intérêt général (MIG) qu'il leur confie. Le programme RPP est une de ces MIG, au même titre que le suivi régulier des ouvrages de protection construits par le RTM ou l'alimentation d'une base de données nationale (BD RTM) avec les observations des événements naturels survenus, les travaux réalisés et l'évolution de l'état des ouvrages. La possibilité d'un soutien par les services RTM évoqués ci-dessus, concernant la gestion des terrains domaniaux RTM des départements non dotés de services RTM, est également prévue (tableaux 9 et 10). En tout, 393 000 ha de terrains domaniaux RTM et 142 000 ha de terrains domaniaux présents sur les « départements RTM » doivent être analysés.

Le programme RPP procède d'un besoin de connaissance à la fois sur les phénomènes naturels et les enjeux présents sur les terrains domaniaux RTM et sur la maîtrise de ces phénomènes qu'il est possible d'espérer par les peuplements. Il a pour objectif final, sur la base objective des connaissances et travaux actuels concernant la forêt de protection, de chiffrer économiquement les besoins en renouvellement de ces boisements. Il est en effet couramment admis que les boisements issus des plantations RTM sont aujourd'hui très majoritairement équiennes, monospécifiques et soumis à un risque d'effondrement massif en cas d'événement climatique ou phytosanitaire majeur. Il semble que ce soit davantage aux boisements de pins noirs des Alpes du Sud auxquels on songe en disant cela.

L'idée est donc, sur la base d'une analyse des terrains domaniaux RTM, de fournir au ministère de l'Agriculture les éléments de connaissance suffisants à une prise de décision judicieuse concernant le financement de travaux dans les forêts à fonction de protection pour lesquelles l'État a engagé sa responsabilité, ceci dans le souci d'employer efficacement les moyens financiers qu'il peut consacrer à la forêt. Il est évident que des travaux de boisement de l'ampleur de ceux entrepris par la RTM aux siècles passés ne peuvent être réitérés. Il faut cependant veiller à la pérennité et au bon état d'espaces forestiers constitués par le passé à force d'efforts considérables.

Département avec service RTM	**Direction Territoriale ONF**	**Massif**
Pyrénées-Orientales (66)	Méditerranée	Pyrénées
Ariège (09)	Sud-ouest	
Haute-Garonne (31)		
Hautes-Pyrénées (65)		
Pyrénées-Atlantiques (64)		
Isère (38)	Rhône-Alpes	Alpes
Savoie (73)		
Haute-Savoie (74)		
Alpes-de-Hautes-Provence (04)	Méditerranée	
Hautes-Alpes (05)		
Alpes-Maritimes (06)		

Tableau 8 : Départements dotés de services RTM

Département sans service RTM	Direction Territoriale ONF	Massif
Aude (11)	Méditerranée	Pyrénées et Massif central
Gard (30)		Massif central
Hérault (34)		
Lozère (48)		
Bouches-du-Rhône (13)		Alpes
Vaucluse (84)		
Var (83)		
Ain (01)	Rhône-Alpes	Jura
Ardèche (07)		Massif central
Drôme (26)		Alpes
Territoire-de-Belfort (90)	Franche-Comté	Vosges
Aveyron (12)	Sud-ouest	Massif central
Tarn (81)		
Haute-Loire (43)	Auvergne-Limousin	
Puy-de-Dôme (63)		

Tableau 9 : Liste des départements RTM non dotés de services RTM

Un programme dans la suite des précédentes enquêtes RTM

Le zonage et la caractérisation de la fonction de protection des terrains domaniaux RTM est une préoccupation ancienne. Des enquêtes ont été régulièrement menées par les services RTM avec le souci d'allouer au mieux les moyens affectés par l'État. Parmi les plus récentes enquêtes réalisées il faut citer l'enquête Messine de 1970, puis l'enquête Sonnier de 1986, qui a abouti au classement des forêts domaniales RTM en trois catégories : *production*, *protection-production* et *protection pure* selon la fonction principale alors conférée à la forêt. Une surface de 192 000 ha de forêts domaniales française avait alors été classée dans la dernière catégorie. Enfin, l'enquête Charry initiée en 1998, la plus aboutie et suivie de concrétisations, portait sur les 11 départements RTM actuels des Alpes et des Pyrénées, soit 239 000 ha de terrains domaniaux RTM. Elle a principalement concentré ses efforts sur un diagnostic global de l'état des ouvrages de génie civil existant. Elle a également mis en place un nouveau mode de groupement des terrains domaniaux selon des unités génératrices de phénomènes naturels homogènes : les divisions domaniales RTM (DD RTM). Ces unités de gestion RTM, actuellement utilisées, correspondent le plus souvent à des bassins versants.

Les tenants et aboutissants d'un programme ambitieux

Le programme de renouvellement des peuplements de protection est composé de deux volets. Le premier nécessite le concours des services RTM pour la localisation fine et la hiérarchisation des aléas et des enjeux présents sur les terrains entrant dans le cadre de la RPP, ainsi que pour l'estimation des surfaces boisées concernées. Le second, concerne l'analyse du contrôle des aléas par les peuplements, la hiérarchisation des besoins de renouvellement, la définition d'interventions et l'évaluation de leur coût. La réalisation de cette deuxième partie du programme revient aux agences ONF.

Lors de sa mise au point fin 2006, ce programme aurait dû être pleinement opérationnel dans les deux années qui ont suivi. Le premier volet relatif à la cartographie est actuellement en voie de finalisation et le second n'a pas encore trouvé de concrétisation dans le département de l'Isère. Cette difficile mise en place est la principale justification de mon stage au RTM de l'Isère.

Premier volet du programme RPP : la cartographie aléa-enjeu

La méthodologie qui a été retenue est voisine de celle développée il y a une vingtaine d'années en Isère par le service RTM avec le bureau d'étude Alp'Géorisque et le conseil général dans le cadre d'analyses aléas-enjeux-risques. Sur la base d'une restitution cartographique au 1/25 000 étaient délimités des sites homogènes pour leur sensibilité aux différents aléas. Par la suite ces sites étaient classés selon l'importance

du risque encouru, suggérant ainsi des priorités d'intervention. Comme pour cette étude, les surfaces à analyser et les moyens retenus par le programme RPP ne permettent pas une analyse des phénomènes naturels aussi fine que dans les plans de prévention des risques naturels. Les critères de quantification des aléas ont donc été revus afin de s'adapter à l'objectif recherché : une meilleure prise en compte des différentes fonctions de protection de la forêt. La méthode consiste à délimiter et décrire des zones homogènes au regard des aléas et des enjeux, appelées unités aléas-enjeux (UAE). Ce volet de description cartographique a été centralisé et en partie réalisé par mon maître de stage. Des exemples de cartes d'aléas sont donnés dans la troisième partie.

Cartographie des aléas

Cinq couches SIG correspondent aux cinq aléas analysés : avalanches, ravinement, crues torrentielles, glissement de terrain et chute de blocs. Les annexes 5a à 5e donnent un exemple de cette cartographie d'aléas. Une note d'aléa allant de 0 à 3 est attribuée à chaque zone d'aléa définie. Afin de faciliter les décisions et d'homogénéiser la cartographie entre départements, seules deux notes ont été retenues pour chaque aléa, ainsi que la note zéro pour permettre une pondération au sein des aléas faibles lorsque cela semble nécessaire (tableau 11). Plus la note est forte, plus l'aléa considéré est important. Il est ainsi possible de différentier les avalanches constatées des avalanches potentielles, la sensibilité des roches et des sols à l'érosion selon leur degré d'altérabilité, les différents transports solides mobilisables lors de crues, la profondeur du glissement de terrain ou le volume du bloc de référence. Cette prise en compte des aléas par la RPP et celle proposée par le *GSM Alpes du Sud* procèdent d'une même démarche. Une réflexion commune a en effet été menée par les services RTM et Irstea à ce sujet.

Note d'aléa				
Avalanches	**Ravinement**	**Crue torrentielle**	**Glissement de terrain**	**chute de blocs**
0	**0**	**0**	**0**	**0**
1	**1**	**2**	**2**	**2**
3	**2**	**3**	**3**	**3**

Tableau 10 : Notations des aléas, volet 1 du programme RPP

Il est important de préciser que la délimitation des aléas ainsi que leur notation fait abstraction de la présence des peuplements forestiers ou d'une quelconque végétation. Il n'est pas non plus tenu compte de la possible présence d'ouvrages de protection. Au moment de leur expertise, les personnels RTM doivent imaginer ce que serait le phénomène naturel cartographié en l'absence de végétation : exercice qui peut parfois s'avérer complexe sur des versants boisés depuis plus d'un siècle. Ces notations doivent permettre, dans un second temps, de définir un niveau de risque et de maîtrise du risque par le peuplement selon la note d'enjeux et le type de végétation.

Cartographie des enjeux

Il n'a pas été réalisé de cartographie des enjeux à proprement parler, comme c'est le cas lors de la réalisation de zonages réglementaires. Une note d'enjeux allant de 0 à 3 a été attribuée à chaque polygone d'aléa précédement construit. Lorsqu'un même aléa affecte des zones d'enjeux d'importances diverses, les polygones sont redécoupé. Les zones ainsi obtenues sont les UAE. Ces redécoupages sont fréquents pour les aléas chute de blocs et glissement de terrain. Dans le cas des avalanches, des crues torrentielles et du ravinement, les zones d'extension des aléas affectent généralement un seul et même type d'enjeu. Des exemples de cartographies aléa-enjeu sont donnés en annexes 5.

Les UAE sont d'une surface minimale de 1 ha afin d'éviter des découpages difficilement gérables à large échelle. Cette surface est homogène avec les unités définies par GSM Alpes du sud, le projet IFP et les actuelles consignes d'aménagement de la forêt à fonction de protection.

L'appréciation du niveau d'enjeu se fait à l'aide de la grille de notation des codes risques DGPR de la BD RTM. Cette même grille a été reprise par le *GSM Alpes du Sud*, ainsi que pour la réalisation des cartographies ZIFP issues du programme IFP. Il est à noter que la cotation « enjeu nul » n'est pas synonyme de l'absence d'enjeu, comme en témoignent les sentiers de randonnée ou les ouvrages de protection.

Type d'enjeu	Fort (3)	Moyen (2)	Faible (1)	Nul (0)
Habitat	Dense, plus de 10 logements	Dispersé, 2 à 10 logements	Bâtiment isolé	
Voies de communication (route, rails)	Voie structurante d'intérêt national	Voie d'intérêt départemental ou d'accès unique à un pôle d'activité important	Voie d'intérêt local, routes forestières, parkings publics	Piste forestière, chemin non carrossable
Réseaux		Ligne HT (tension≥20kV), pipe-line, réservoir d'eau communale	Conduite de desserte locale (électricité, eau, gaz, téléphone)	Réseau des particuliers
Tourisme	Camping, centre d'accueil, colonie de vacance, hôtel	Équipement sans hébergement (piscine, golf, remontée mécanique)	Piste aménagée (ski, VTT), aire de pique-nique	Sentier de randonnée, parcours de pêche, itinéraires de canoë
Industrie et commerces	Unité de production de plus de 10 personnes, centre industriel ou commercial	Atelier de moins de 10 personnes et commerce isolé	Artisanat, entrepôt sans personnel permanent	
Agriculture	Coopérative agricole	Siège d'exploitation	Bâtiment agricole sans hébergement, terre cultivée	Parcours pastoral
Forêt		Route forestière intercommunale	Peuplement de production, route forestière locale	Espace naturel
patrimoine culturel	Monument visité	Bâtiment historique classé	Circuit aménagé de découverte	
Équipements publics	École, hôpital, centre de secours	Autre bâtiment public	Captage d'eau, station d'épuration, antenne de télécommunication	Ouvrage de protection actif ou passif

Tableau 11 : Grille d'appréciation des enjeux de la BD RTM complétée d'éléments du programme IFP

Enfin, deux catégories d'enjeux ont été définies : ceux présents à l'intérieur des enveloppes d'extention des aléas, directement exposés à l'impact d'un phénomène naturel, et ceux qui peuvent être impactés de façon indirecte.

Enjeux indirectement exposés

Le ravinement, les crues torrentielles et des glissements de terrain impactent fréquement des enjeux situés à l'aval du site où ils surviennent. L'attribution d'une note d'enjeux indirectement exposés permet de prendre en compte les répercutions d'un aléa sur des enjeux situés en dehors de l'aire d'extension directe de cet aléa.. Cela permet d'indiquer si ce qui se passe dans un site peut influencer ce qui se passe dans les sites voisins. Il s'agit par exemple du transport de matériaux de ravinement loin de la zone de production par une crue torrentielle, de l'addition des débits de deux torrents dans une même rivière torrentielle ou d'un glissement de terrain obstruant un torrent. Cette notion pourrait également permettre de prendre en considération des enjeux situés très loin en aval pour lesquels l'impact est généré par l'accumulation, dans le temps, du phénomène, comme c'est le cas pour l'érosion du bassin versant de la Durance.

Estimation du niveau de risque

Le calcul du niveau de risque, une fois l'ensemble des forêts domaniales RTM cartographiées, sera issu du croisement entre aléas et enjeux. En cas d'aléas multiples, c'est l'évaluation maximale qui sera retenue. Les notes d'aléa faisant abstraction des peuplements forestiers et de toute végétation, il en est de même pour les niveaux de risque obtenus :

		Niveau d'enjeu			
		0	**1**	**2**	**3**
Note d'aléa	**0**	**nul**	**nul**	**nul**	**nul**
	1	**nul**	**faible**	**faible**	**moyen**
	2	**nul**	**faible**	**moyen**	**fort**
	3	**nul**	**moyen**	**fort**	**fort**

Tableau 12 : Définition du niveau de risque à partir des aléas et des enjeux
Programme RPP

Cartographie de la végétation

La dernière phase de ce premier volet cartographique du programme RPP prévoit la réalisation d'une couche SIG de la végétation. Cela devra ainsi permettre une première approche statistique assez grossière du contrôle des phénomènes par la végétation. En Isère, cette étape a été sous-traitée par l'agence ONF pour le compte des services RTM. La couche végétation est une carte simplifiée de l'occupation du sol. Elle différentie trois types d'occupations végétales : la forêt (espace couvert au moins à 30 % par une végétation de plus de 3 m de haut), les autres formations végétales (couverts arbustifs et herbacés essentiellement) et les zones à nu. La description plus fine des espaces boisés et de leur possible contrôle des phénomènes naturels est prévue par le second volet du programme, confié aux agences ONF. Ce point auquel s'intéresse plus particulièrement ce stage est développé au troisième chapitre.

La couche végétation a été établie à partir de données issues des aménagements forestiers ou par photo-interprétation, à l'exclusion des données de l'IGN jugées trop imprécises comme en attestent les résultats ci-dessous :

Occupation du sol / **Méthode d'estimation**		**Aménagement**	**Photo-interprétation**	**IGN**
État boisé (B)	valeur absolue (ha)	**156**	**176**	**171**
	écart relatif par rapport à l'estimation aménagement	**0 %**	**13 %**	**10 %**
Autre formation végétale (AFV)	valeur absolue (ha)	**7**	**11**	**87**
	écart relatif par rapport à l'estimation aménagement	**0 %**	**57 %**	**1143 %**
Terrain nu (TN)	valeur absolue (ha)	**96**	**72**	**1**
	écart relatif par rapport à l'estimation aménagement	**0 %**	**25 %**	**99 %**

Tableau 13 : Comparaison de 3 méthodes d'estimation de l'occupation du sol (division domaniale RTM du Péguère)
d'après la notice DN RTM, mai 2007

Traitement statistique des données

La première partie du programme RPP devait aboutir à un traitement statistique dans le courant de l'année 2009 afin d'obtenir une estimation rapide des besoins de financement pour la réalisation d'interventions sylvicoles visant au maintien de la fonction de protection sur les terrains domaniaux RTM. Une analyse plus fine des peuplements forestiers était prévue par le second volet d'abord sur une surface test de 5 à 10 % des zones concernées afin d'arrêter un protocole de mesure en forêt pour la prise en compte du contrôle des aléas par les peuplements dans le courant de l'année 2008. Ce protocole est aujourd'hui arrêté et des sessions de formation pour le personnel ONF sont réalisées.

Second volet du programme RPP : l'analyse des peuplements forestiers en situation de protection

Il est prévu que les forêts à enjeux forts d'aménagement pour la fonction de protection soient échantillonnées, au moment du renouvellement de leur aménagement, selon un protocole particulier qui permet de répondre aux attentes du programme RPP. Ce protocole doit être réalisé par les aménagistes, auxquels il est en cours de présentation. Aucun exemple de réalisation n'est encore disponible dans le département de l'Isère, ce pour plusieurs raisons ; le faible de nombre de forêts à enjeux forts pour la fonction de protection, la durée de renouvellement des aménagements qui peut aller jusqu'à 25 ans et la présentation du nouveau protocole et de ses implications au personnel de l'ONF qui ne se l'est encore pas approprié.

On comprend ainsi que l'objectif initial du programme RPP — obtenir un état des lieu *rapide* et des propositions de gestion déclinées en besoins en financement pour *l'ensemble des terrains domaniaux RTM* — ne puisse être que difficilement atteint en l'état actuel.

Le point de départ de la partie opérationnelle de ce stage, développée en troisième partie du rapport, s'appuie sur ce constat. Elle consiste en l'analyse des formations boisées des divisions domaniales RTM de l'Isère. Un grand nombre d'informations relatives aux aléas naturels et aux enjeux sont disponibles pour ces dernières, comme cela a été présenté ci-dessus. Elles ne présentent en revanche qu'un niveau d'analyse grossier de leurs peuplements forestiers.

Cette analyse est, dans le cadre du second volet du programme RPP, une commande faite aux aménagistes de l'agence ONF, elle n'a donc pas été envisagée indépendamment de ce service.

2.3 Prise en compte de la forêt dans les documents d'affichage du risque

Différents documents, à caractère réglementaire ou non, permettent aujourd'hui de prendre en compte le risque naturel dans les décisions d'aménagements.

Plan de prévention des risques naturels prévisibles (PPR)

Les PPR sont une initiative de la loi du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement. Ils visent à limiter, dans une perspective de développement durable, les conséquences humaines et économiques des catastrophes naturelles. Les PPR habituels sont composés de deux livrets : présentation et règlement et de trois cartes : localisation des phénomènes, aléas et zonage règlementaire.

Ces documents sont élaborés et mis en application par l'État sous l'autorité du préfet de département. Ils remplacent les anciens plans d'exposition aux risques (PER) ou les périmètres délimités en application de l'article R 111-3 du code de l'urbanisme. Les services RTM participent systématiquement à la phase d'expertise et à la réalisation de la carte d'aléa attachée à ces documents.

Un ajout particulier aux PPR habituels tenant compte de la forêt en situation de protection, appelé zone verte a été proposé par Jérôme Liévois (1998). Cette notion est aujourd'hui développée en Haute-Savoie mais ne s'est pas « exportée » dans les autres départements alpins. Cette démarche consiste à insérer une quatrième carte au PPR et à compléter les deux livrets. Les zones forestières en situation de protection d'enjeux sont repérées et décrites ; il s'agit des zones vertes. Il est tenu compte à la fois de leur état actuel et de leur évolution (annexe 2). Des prescriptions s'appuyant sur la législation (Code rural, Code forestier et Code général des collectivités territoriales) ainsi que des recommandations sylvicoles sont réalisées pour chaque zone verte identifiée.

Cartographies d'aléas des plans locaux d'urbanisme (PLU)

Des cartographies des aléas réalisées sur le modèle de celles demandées dans les PPR peuvent être intégrées aux PLU, leur conférant alors une valeur règlementaire. Il n'existe actuellement pas vraiment de méthodologie arrêtée définissant dans quelle mesure la forêt doit être prise en compte. Libre à l'organisme réalisant la carte en question — bureau d'étude privé, service RTM — d'estimer ou non son rôle.

Aménagements forestiers

Les documents d'aménagement sont des outils de suivi et de planification des forêts publiques. Ils sont renouvelés tous les 25 ans en moyenne en forêt à fonction de protection marquée, là où la production est secondaire.

Récemment, la procédure d'aménagement a évolué pour répondre à deux critères : homogénéisation et simplification de la procédure. Il existe désormais un modèle national unique d'aménagement, plus succinct que les précédents, structuré sur la base des quatre fonctions attribuées à la forêt : production de bois, récréation, biodiversité et protection des biens et des personnes contre les risques naturels. La notion d'aménagement simplifié pour les forêts présentant peu d'enjeux a également été introduite. Ce dernier document présente l'ensemble des informations relatives à la forêt sous forme de quelques tableaux.

Le niveau d'enjeux d'aménagement estimé est la première clef d'entrée dans les peuplements forestiers proposée par ces nouveaux aménagements. Le choix du modèle de document retenu pour une forêt dépend à la fois de sa surface et de la note d'enjeux d'aménagement qui lui est attribuée pour chacune des quatre fonctions. Les seuils des aménagements simplifiés, revus par le MAAPRAT le 25 janvier 2012, sont actuellement de 500 ha pour les forêts dont toutes les fonctions principales ont un niveau d'enjeu d'aménagement sans objet ou faible, de 300 ha s'il existe un enjeu moyen et 100 ha s'il n'y a pas plus d'un enjeux de niveau fort.

Cotation d'enjeu socioéconomique de l'UAE		**Niveau d'enjeu d'aménagement**
Nul	0	Sans objet ou Faible
Faible	1	
Moyen	2	Moyen
Fort	3	Fort

Détermination du niveau d'enjeux d'aménagement pour les forêts publiques
ONF, Manuel d'aménagement, *Classement en enjeu de protection – 9200-12-GUI-EAM-017-version A – 2012*

Dans le cadre de mon stage, c'est la procédure développée pour les peuplements à fonction de protection, ainsi que son application, qui a retenu mon attention. Elle se veut un condensé des différents programmes menés à ce jour et présentés précédemment dans ce rapport. Ainsi, la méthodologie d'échantillonnage et la notion d'IMA développée au cours de l'IFP, la prise en compte des cinq phénomènes naturels considérés dans le programme RPP, ou encore les UAE définies au cours de la création du *GSM Alpes du Sud* se retrouvent-elles dans les consignes d'aménagement en forêt publique à fonction de protection **(**ONF, *Manuel d'aménagement*, détermination de la maîtrise des aléas, 2012).

Aménagements en forêts à fonction de protection

Concernant la fonction de protection contre les risques naturels, le classement en enjeu est réalisé à l'aide de la grille présentée en annexe 3. Il y est stipulé qu'en absence de classement ou d'expertise validée au titre des risques naturels et lorsqu'il y a une présomption forte de risque naturel, l'avis du service RTM est sollicité par les aménagistes. Dans les faits, l'idéal d'un aménagement réalisé conjointement par le service forêt et le service RTM pour les forêts publiques présentant une fonction de protection n'est pas toujours aisé à atteindre. De plus, des distinctions sont faites en fonction du statut des forêts en question et pas seulement des aléas où des enjeux.

Pour les terrains domaniaux RTM et les forêts domaniales en « départements RTM », le classement en enjeu d'aménagement doit être directement issu de la cartographie aléa-enjeu réalisée par les services RTM et validée par la DN RN RTM dans le cadre du programme RPP. Le manuel d'aménagement précise que cette cartographie devrait être mise à disposition des agences au fur et à mesure de sa réalisation.

Bien qu'elle soit réalisée, cette cartographie n'a pas encore été validée. De plus, dans les faits, son utilisation par les aménagistes n'est pas autonome. Ils en font la demande en fonction des besoins de l'aménagement aux services RTM. Cette démarche est voulue par le RTM. En effet, il semble utile de rappeler ici que cette cartographie a été conçue dans un but informatif. Elle donne un aperçu des phénomènes et des enjeux présents sur les terrains domaniaux RTM afin de permettre des orientations budgétaires à grande échelle. Elle ne permet pas, au vu de sa méthodologie d'élaboration, d'atteindre le degré de précision d'un PPR. En cela elle ne revêt aucun caractère règlementaire et n'est donc pas opposable à un tiers. Or les aménagements, eux, le sont. C'est pourquoi ces cartographies ne doivent pas apparaître dans le corps de texte des aménagements, consultable par tous. Il est cependant dommage de priver l'aménagement d'une forêt à fonction de protection des informations concernant les phénomènes naturels relevées dans le cadre du programme RPP. La parade possible est de faire figurer ces cartographies uniquement en annexe des aménagements, les annexes tout comme les bilans financiers, étant retirées des versions consultables par tous.

Les autres forêts relevant du régime forestier dans les « départements RTM » — les forêts communales essentiellement — peuvent ou non faire l'objet d'un statut règlementaire opposable. Lorsque c'est le cas, les zonages et niveaux d'enjeux affichés sur la forêt par ces statuts sont repris sans changement par les aménagistes ONF pour établir la carte des enjeux de protection, sauf avis contraire du service RTM. Dans les autres cas, il est demandé à l'aménagiste de solliciter du service départemental RTM les éléments permettant d'établir la carte des forêts à fonction de protection. Ces éléments sont basés sur l'approche aléas-enjeux du programme RPP et doivent lui permettre de finaliser une carte qui fait apparaître les contours des parties de forêt à fonction de protection, les types d'aléas concernés et les niveaux d'enjeux, la cartographie restituée devant s'inscrire dans le périmètre strict de la forêt.

La cartographie dont il est question ci-dessus relève davantage des compétences du service RTM. Dans les faits, sa réalisation est prise en charge par les techniciens et experts RTM selon le temps qu'ils sont en mesure d'y consacrer. Il est apparu au cours du stage que la procédure gagnerait en efficacité à être officialisée.

Une fois l'enjeu d'aménagement pour la fonction de protection de la forêt arrêté, une décision est prise quant à l'échantillonnage à réaliser afin de décrire la forêt au moment du renouvellement de l'aménagement. Le protocole de relevés de terrains devient spécifique sur les parties de forêt pour lesquelles le niveau d'enjeu relatif à la fonction de protection est fort (note de service n° 09-G-1624 reprise dans le *Manuel d'aménagement* 9200-12-GUI-EAM-018-version A). Ce protocole de mesure s'inspire largement de celui conçu au cours de l'action 1 du projet IFP : des polygones forestiers photo-interprétés comme homogènes sont parcourus sur le terrain. La surface minimale de ces polygones est de 1 ha. Une valeur moyenne par polygone est demandée. S'il apparaît que les peuplements sont trop hétérogènes, un redécoupage est possible. Si deux polygones voisins semblent similaires en termes de peuplements, les valeurs mesurées dans le premier sont directement reportées dans le second afin de gagner du temps. Pour chaque polygone, une ligne de la fiche présentée en annexe 4a et 4b est remplie.

Des grilles d'interprétation construites sur la base des travaux de l'IFP et du *GSM Alpes du Sud* permettent par la suite d'attribuer une valeur IMA à chaque polygone, et de tirer des consignes de gestion sylvicole. Ces grilles sont présentées ci-dessous (tableaux 14 à 18). Elles sont extraites du *Manuel d'aménagement*, 9200-12-GUI-EAM-018 version A, 2012. Le tableau 16 a été réorganisé par souci d'homogénéisation.

Si le classement en enjeu d'aménagement est prévu pour toutes les forêts relevant du régime forestier, il n'est en revanche pas prévu que cette mesure d'IMA soit faite dans les forêts des collectivités territoriales. Cela pourrait être le cas dans l'absolu, mais entrerait alors dans le cadre d'une prestation à titre onéreux de l'ONF. L'aboutissement de ce nouveau protocole est loin d'avoir atteint ce stade de maturité. Actuellement en Isère, aucun aménagement n'a encore été mis en place selon ce modèle. D'après l'adjoint au chef de service forêt, responsable des aménagements pour le département : « à ce jour et depuis deux ans environ, aucun enjeu fort n'a été mentionné, donc pas de mise en œuvre de l'IMA en Isère ». De plus, son niveau de méconnaissance par les aménagistes et les agents patrimoniaux ne laisse pas présager de son application imminente. Les tableaux suivants n'ont donc encore pas trouvé d'application en Isère.

Si Vunitaire blocs < 1m³			Peuplement majoritairement non précomptable		Peuplement majoritairement précomptable	
			densité de tiges (N/ha) de diamètre 7,5 à 17,5 cm		densité de tiges (N/ha) de diamètre 17,5 cm et plus	
			N < 2000	N > 2000	N < 350	N > 350
Zone de transit et de dépôt	bande boisée > 200m (planimétrique)	G < 25	**1**	**3**	**1**	**3**
		G >25			**4**	**5**
	bande boisée < 200m (planimétrique)	G < 25	**0**	**2**	**0**	**1**
		G >25			**2**	**3**

G : surface terrière (m²/ha) des arbres précomptables

Tableau 14 : IMA Chute de blocs
notation aménagement en forêt à enjeu fort de protection

Cas des résineux à feuillage persistent ***(épicéa, sapin, pins)***		**Couvert hivernal**			
		< 10 %	10 à 30 %	30 à 70 %	> 70 %
Zone de départ	aléa déclaré en forêt	**0**	**1**	**2**	**3**
	aléa potentiel en forêt	**0**	**2**	**5**	**6**

Cas des arbres à feuillage décidu ***(feuillus, mélèze)***		**Surface terrière (m²/ha)**			
		< 10	10 à 25	25 à 40	> 40
Zone de départ	aléa déclaré en forêt	**0**	**1**	**2**	**3**
	aléa potentiel en forêt	**0**	**2**	**3**	**5**

Tableaux 15a et 15b : IMA Avalanche
notation aménagement en forêt à enjeu fort de protection

		Taux de végétalisation de l'ensemble du lit de la ravine en été ***(arbres, arbustes et herbacées)***			
		< 30 %	30 à 70 %	70 à 99 %	100 %
Surface de la ravine	< 1 ha	**1**	**4**	**5**	**6**
	> 1 ha	**1**	**3**	**5**	**5**

Tableau 16 : IMA Ravinement
notation aménagement en forêt à enjeu fort de protection

	Couvert végétal total en été *(arbres, arbustes et herbacées)*		
	< 30 %	30 à 70 %	> 70 %
Zone de départ *(bassin d'alimentation)*	**0**	**2**	**3**

	Zone non végétalisée *(arbres, arbustes et herbacées)*	Zone végétalisée	
		présence de bois de diamètre > 40 cm	*absence de bois de diamètre > 40 cm*
Zone de transit *(lit et berges du torrent)*	**0**	**0**	**2**

	Zone non boisée	Zone boisée *densité de tiges précomptables (N/ha)*	
		N < 350	N > 350
Zone de dépôt *(cône de déjection)*	**0**	**2**	**4**

Tableaux 17a, 17b et 17c : IMA Crue torrentielle
notation aménagement en forêt à enjeu fort de protection

		Couvert végétal total en été *(arbres, arbustes et herbacées)*	
		< 70 %	> 70 %
Zone de départ	profondeur glissement < 2m	**0**	**0**
	profondeur glissement > 2m	**0**	**3**

Tableau 18 : IMA Glissement de terrain
notation aménagement en forêt à enjeu fort de protection

Pour faciliter la lecture des cartes qui pourront être produites par la suite, le protocole lié aux forêts à enjeu d'aménagement fort pour la fonction de protection prévoit de ne plus distinguer que quatre classes d'IMA — *nulle* : note 0, *faible* : notes 1 et 2, *moyen* : notes 3 et 4 *fort* : notes 5 et 6 — et fait abstraction de la notion de ZIFP.

Il est prévu que les dispositions relatives à la gestion forestière soient prises une fois les peuplements parcourus d'après le protocole présente plus haut, sans a priori sur le bien fondé ou non d'interventions, afin d'avoir un aperçu objectif de leur état.

Le schéma de la page suivante tente de mettre en images les relations entre les différents programmes présentés afin d'illustrer la place occupée par mon stage.

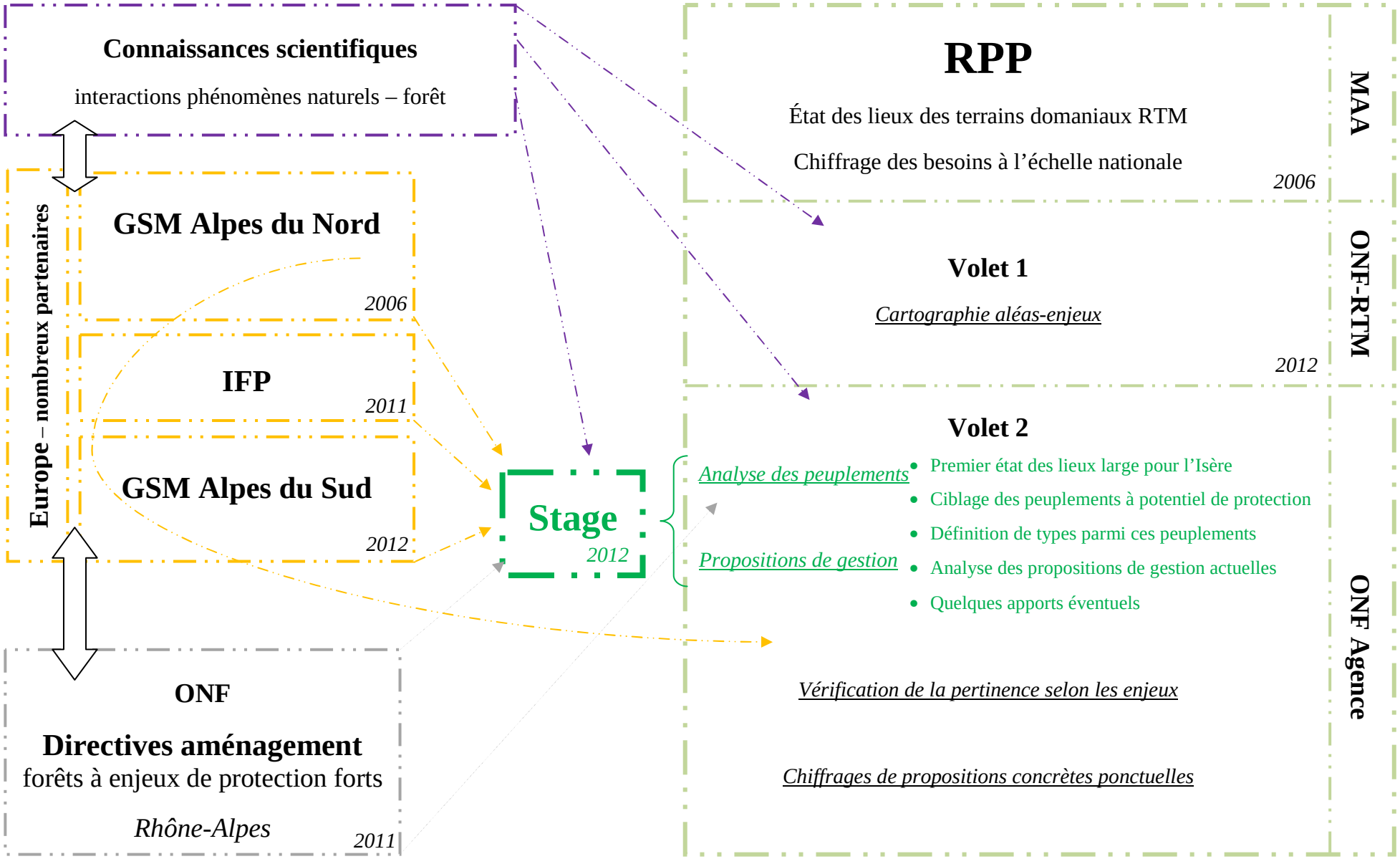


Illustration 14 : Place du stage au sein des programmes et connaissances actuelles sur les boisements de protection

3. Typologie des boisements domaniaux RTM de l'Isère

Une partie importante du stage a été consacrée à l'analyse des boisements entrant dans le cadre de la RPP pour le département de l'Isère. Après avoir sélectionné un échantillon large et représentatif de ces derniers avec le concours de mon maître de stage, je les ai parcourus et décrits selon un protocole présenté dans cette partie.

3.1 Méthodologie et protocole employé pour l'échantillonnage

Choix des forêts inventoriées

Les forêts dans lesquelles ont été réalisés les relevés sont incluses dans les divisions domaniales RTM de l'Isère. Seuls les espaces boisés ont été parcourus, à l'exclusion des zones de prairies et des terrains nus des étages subalpins et alpins. Parmi la quarantaine de divisions domaniales RTM du département, 21 ont été parcourues dans lesquelles j'ai réalisé 189 points de relevé, accompagné par les agents patrimoniaux ou les techniciens de secteur RTM lorsque cela était possible. Le choix des divisions domaniales a été conditionné par la présence simultanée de peuplements boisés et de phénomènes naturels recensés. Il a également été fait attention à ce que l'ensemble des phénomènes naturels soient représentés avec un maximum d'homogénéité :

Nombre de relevés présentant le phénomène		
Chute de blocs	92	49 %
Érosion	61	32 %
Avalanche	50	26 %
Crue torrentielle	34	18 %
Glissement de terrain	28	15 %

Phénomène principal	Nombre de relevés
Chute de bloc	51
Érosion	48
Avalanche	50
Crue torrentielle	19
Glissement de terrain	21

Tableaux 19a et 19b : Répartition des relevés par type de phénomène naturel

La nature des boisements a également été prise en compte afin de pouvoir échantillonner la plus grande diversité possible. La lecture des aménagements et des échanges avec les aménagistes m'ont aidé dans cette tâche. Enfin, Yannick Robert a passé en revue la liste de sites retenus afin de la valider. Cette dernière est disponible au format shape et couvre une partie des régions naturelles du Trièves, du Dévoluy, de l'Oisans et de la Chartreuse. Se prêtant mal à la représentation cartographique dans son ensemble, il n'a pas été jugé nécessaire de la présenter de façon exhaustive dans ce rapport. Des agrandissements sur une partie des divisions domaniales sont proposés en annexes afin d'illustrer la démarche et les sites retenus (annexes 6a à 6e).

Choix des sites forestiers mesurés

Au sein de chaque site forestier, un nombre variable de points est réalisé. Ce dernier dépend de l'hétérogénéité des peuplements et des phénomènes naturels présents. L'objectif est de réaliser un relevé par couple *peuplement – phénomène naturel* homogène. Le choix de la localisation des points de relevé n'est donc pas aléatoire. Il est au contraire subjectif, choisi en un lieu qui semble le mieux représentatif des conditions moyennes du couple peuplement-phénomène échantillonné. En effet, à travers ce stage, c'est la diversité des situations de forêts à fonction de protection que l'on souhaite analyser et regrouper à l'aide d'une typologie.

Ainsi deux relevés seront réalisés en un même type de boisement (boisement régulier de PB de pin sylvestre avec sous étage herbacé et régénération de sapin par exemple) si des variations dans les phénomènes naturels auxquels il est soumis sont constatées. De même, dans un versant qui ne serait soumis qu'à des chutes de blocs de volume relativement homogène, seuls les changements de formations boisées dicteraient la réalisation des différents points de relevés. Cet échantillonnage n'est bien sûr pas suffisamment fin pour permettre des conclusions à l'échelle d'une forêt. Il est cependant espéré que des relevés dans des forêts différentes seront assez proches au regard de leurs peuplements et des phénomènes naturels pour être

regroupés. Ainsi les moyennes faites le seront sur des groupes de points pouvant appartenir à des forêts différentes. La somme des relevés devrait être représentative. S'il a pu arriver que l'ensemble de l'hétérogénéité d'une forêt n'ait pas été entièrement décrit, il est probable que ce manque a été comblé par les relevés réalisés sur un autre site forestier.

Afin d'appréhender au mieux cette diversité, les différentes sources d'informations sur les boisements ont été exploitées : la photo-interprétation, les aménagements forestiers — étant donné qu'il s'agit de forêts domaniales RTM, des éléments relatifs aux phénomènes naturels, parfois rédigés par le technicien RTM, y sont également présents —, les agents patrimoniaux et les techniciens de secteur RTM, à travers leur connaissance des sites, des observations des sites parcourus depuis le versant opposé de la montagne lorsque cela était possible et enfin bien évidemment l'observation directe sur le terrain lors du parcours des peuplements à l'avancée.

Nom	Statut	Nombre de relevés
Saint-Martin-le-Vinoux	FC RTM	5
Sautet	FD RTM	5
Ébron	FD RTM	9
Grand-Ferrand	FD RTM	18
Petit-Veymont	FD RTM	12
Trièves occidental	FD RTM	7
Chichilianne	FD RTM	4
Grand Veymont	FD RTM	7
La Tronche	FD RTM	4
Roizonne	FD RTM	14
Gargas	FD RTM	11
Pellafol	FD RTM	18
Chantelouve	FD RTM	5
Rioupéroux	FD	11
Oisans	FD RTM	9
Vilette	FC	5
Vaujany	FD RTM	5
Trezanne	FD	16
Gerbier	FD RTM	11
Saint-Eynard	FD RTM	10
Boutat	FD RTM	3

Tableau 20 : Liste des sites forestiers parcourus

Fiche de relevés utilisée

La fiche de relevé terrain utilisée a été construite dans la première phase de mon stage. Elle fait suite au travail de recherche bibliographique sur la fonction de protection des forêts qui m'a d'abord occupé. Cette dernière a été soumise aux aménagistes ainsi qu'aux agents patrimoniaux afin de connaître leurs sentiments à son propos. Elle se veut à la fois complète et de mise en œuvre réaliste sur des terrains difficiles d'accès. Le recto est consacré à l'observation et à la caractérisation des phénomènes naturels rencontrés. Le verso propose des mesures dendrométriques suffisantes à une description complète des peuplements forestiers. Un exemplaire en est proposé en annexe 7. Une mesure fine en un même point à la fois des phénomènes et des boisements doit permettre de donner une estimation le plus fiable possible des interactions entre la forêt et le phénomène.

Il s'est avéré au moment de l'analyse statistique que quelques données relevées, la profondeur et la nature du sol ou l'exposition par exemple, n'ont pas été utilisées car elles ne discriminaient pas les peuplements entre eux. Elles sont toutefois maintenues sur la fiche de relevé proposée, ne serait-ce qu'à titre d'aide mémoire des variables du milieu à considérer lors d'une réflexion sur l'aménagement ou la gestion d'un peuplement.

Traitement des données relevées

Les données relatives aux peuplements ont été traitées directement. Elles ont permis la réalisation d'une typologie dont la construction sera détaillée par la suite. Bien que cela eût été également possible, ce n'est pas le cas des données phénomènes. En effet, de nombreuses approches de l'analyse des interactions boisements-phénomènes étudiés ici, ainsi que des propositions de classement pour ces derniers, existent déjà. Cela a été montré dans la seconde partie de ce rapport. Afin d'éviter des redondances, source de confusion, le choix de l'utilisation de l'IMA a été retenu.

Quelques légères modifications ont toutefois été apportées aux tableaux de notation. Suite aux observations de terrain et à des échanges avec Frédéric Berger, chercheur à Irstea, spécialiste dans le domaine de la chute de blocs, il s'avère que c'est bien davantage l'énergie développée par un bloc à l'instant *t*, plus encore que son volume, qui détermine s'il est susceptible d'être arrêté par un boisement. Ainsi, j'ai considéré qu'un peuplement majoritairement précomptable était en mesure d'arrêter des blocs allant jusqu'à 2 m^3 de volume. Les zones de départ intra forestière ont également été ajoutées. Elles correspondent à des dérochoirs ou à de petites falaises pas toujours détectées par photo-interprétation.

L'érosion de surface, encore appelée érosion aréolaire, a elle aussi été prise en compte. Il s'agit d'une forme d'ablation moins grave et plus facilement réversible que le ravinement. Enfin la sensibilité du sol à l'érosion — présence d'éléments grossiers en fortes proportions, nature de la roche mère — entre ici également en compte dans l'attribution d'une note d'IMA à un peuplement.

La caractérisation des phénomènes proposée ici reste toutefois sommaire au regard d'études poussées, comme celles précédant la validation d'un PPR ou la construction d'un ouvrage de génie civil de protection par exemple. Les choix retenus sont un arbitrage qui a cherché, tout en rendant possible un échantillonnage à l'échelle d'un département en l'espace de quelques mois, à conserver une précision suffisante dans le cadre d'une problématique forestière d'atténuation des phénomènes générateurs de risques.

			$V_{unitaire}$ blocs < 1 m^3		**$V_{unitaire}$ blocs < 2 m^3**	
			Peuplement majoritairement non précomptable		**Peuplement majoritairement précomptable**	
			densité de tiges (N/ha) de diamètre 7,5 à 17,5 cm		densité de tiges (N/ha) de diamètre 17,5 cm et plus	
			N < 2000	N > 2000	N < 350	N > 350
Zone de départ intarforestière *ou* **Zone de dépôt**	bande boisée > 200m (planimétrique)	G < 25	**2**	**4**	**2**	**4**
		G > 25			**5**	**6**
	bande boisée < 200m (planimétrique)	G < 25	**1**	**3**	**1**	**2**
		G > 25			**3**	**4**
Zone de transit	bande boisée > 200m (planimétrique)	G < 25	**1**	**3**	**1**	**3**
		G > 25			**4**	**5**
	bande boisée < 200m (planimétrique)	G < 25	**0**	**2**	**0**	**1**
		G > 25			**2**	**3**

G : surface terrière (m^2/ha) des arbres précomptables

Tableau 19 : notation IMA chute de blocs utilisée pour les relevés

		Taux de couvert végétal *(arbres, arbustes et herbacées)* **pour les ravines, prise en compte du lit en été**		
		30 à 70 %	70 à 99 %	100 %
Sensibilité du sol à l'érosion	faible	**5**	**6**	**6**
	moyenne à forte	**4**	**6**	**6**
Surface de la ravine	< 1 ha	**4**	**5**	**6**
	> 1 ha	**3**	**5**	**5**

Tableau 20 : notation IMA érosion utilisé pour les relevés

	Zone non végétalisée	**Zone végétalisée**	
		arbres instables	*pas d'arbre instable*
Zone de transit	**0**	**0**	**2**

Tableau 21 : notation IMA torrentiel utilisé pour les relevés

Ainsi, à partir des observations de terrain relatives aux phénomènes et des caractéristiques des peuplements, une note d'IMA est attribuée à chaque relevé. Cette dernière n'est pas utilisée directement mais sert à la construction de groupes typologiques, construction partiellement assistée par des méthodes statistiques. Ce sont ces groupes qui pourront permettre, par recoupement avec les types de peuplements définis, de proposer des conseils de gestion adaptés à la fois aux peuplements et aux phénomènes présents.

Chaque fois que les situations rencontrées auront déjà été traitées, au moins partiellement, par un des *GSM*, ses conseils seront repris et éventuellement complétés. Si d'aventure de nouvelles situations sont rencontrées, une fiche sera réalisée pour ces derniers. Elle s'inspirera à la fois de l'approche arbre, plus adaptée aux chutes de blocs et aux avalanches, développée dans le *GSM Alpes du Nord* et de l'approche bassin versants propre au *GSM Alpes du Sud*, davantage adaptée aux phénomènes d'érosion et aux phénomènes torrentiels. Enfin, elle visera à proposer des conseils de gestion raisonnés d'après les connaissances actuelles ainsi que des pistes d'analyse plutôt qu'un carcan.

Altitude	Surface terrière totale	Surface terrière de hêtre
Exposition	Surface terrière de PB (17,5 - 27,5 cm)	Surface terrière d'érable sycomore
Pente	Surface terrière de BM (27,5 - 42,5 cm)	Surface terrière de bouleau
Profondeur de sol	Surface terrière de GB et TGB (> 42,5 cm)	Surface terrière de tilleul
Hauteur moyenne	Surface terrière de chêne pubescent	Surface terrière d'aulne blanc
Densité de perches et de gaules	Surface terrière de frêne	Surface terrière de tremble
Densité de tiges précomptables	Surface terrière de pin noir	Surface terrière de pin à crochets
Densité de mortalité	Surface terrière de merisier	Surface terrière de chêne sessile
Densité des trouées	Surface terrière de robinier faux acacia	Surface terrière de saule
Dimensions des trouées	Surface terrière de pin sylvestre	Surface terrière de châtaignier
Diversité en essences précomptables	Surface terrière de sapin	
Structuration du peuplement	Surface terrière d'érable à feuilles d'aubier	
Présence d'une strate herbacée	Surface terrière de mélèze	
Densité de régénération	Surface terrière d'épicéa	
Nature de la régénération	Surface terrière d'alisier blanc	

Tableau 22 : Paramètres forestiers considérés dans la construction des types de peuplements

3.2 Résultats obtenus et proposition de typologie

Tentative de traitement statistique global

Dans un premier temps, l'ensemble des données relevées, à la fois relatives aux peuplements et aux phénomènes, a été transformé en classes de variables binaires afin de se prêter à une analyse factorielle des correspondances (AFC). L'objectif était de voir, sans a priori, si une variable plus que les autres structurait l'ensemble des relevés. Les schémas obtenus n'ont pas pu être interprétés avec satisfaction.

C'est pourquoi, dans un second temps, les données quantitatives liées aux variables peuplement et celles qualitatives liées au niveau de maîtrise des phénomènes par les peuplements ont été traitées séparément. Le premier traitement a permis la réalisation d'une typologie de peuplement, adaptée plus particulièrement aux boisements des forêts domaniales RTM parcourues. Cependant cette dernière a été souhaitée large et couvre un ensemble important de peuplement, parmi lesquels ceux abordés dans les *GSM*. Lorsque c'est le cas, des références et des renvois aux guides en question sont proposés. Une synthèse de leurs conseils de bonne gestion a également été proposée. Elle propose la mise en avant des points forts de chacun de ceux deux guides. Enfin, certains boisements rencontrés sont assez éloignés de ceux jusqu'alors décris. Des propositions et des conseils de gestion seront avancés pour ces derniers.

Par la suite, une analyse et un regroupement des niveaux de maîtrise des phénomènes naturels par les boisements, basée sur les notations d'IMA, sera proposée. Enfin un recoupement de ces deux typologies permettra de voir s'il existe ou non des situations pour lesquelles l'on retrouve majoritairement un type de peuplements.

Analyse en composantes principales (ACP) et typologie de peuplement

L'ACP est une méthode d'analyse statistique semi-automatique. Elle permet au final, au même titre qu'un regroupement « à la main » basé sur l'expérience, de regrouper l'ensemble des données relevées par classes présentant des caractéristiques communes. Cependant, contrairement à un classement à dire d'expert, elle met en œuvre une méthode reproductible de tri. Elle permet de plus de mesurer le niveau de pertinence des regroupements opérés. Une ACP propose de visualiser un nuage de points constitué de l'ensemble des relevés dans un espace multidimensionnel. Le nombre d'axes structurant ce nuage et selon lesquels il est possible de le projeter dépend du nombre de variables considérées. Le grand avantage de cette méthode d'analyse est que les axes qu'elle propose, combinaisons linéaires des variables quantitatives considérées, sont orthogonaux, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas corrélés entre eux. Ainsi, une fois un axe interprété, les variables qui le composent pourront être exclues pour l'analyse des axes suivants. Le niveau de significativité d'un axe factoriel est traduit par le pourcentage d'inertie du nuage de points qu'il permet d'expliquer.

Le tableau finalement retenu pour l'analyse des caractéristiques des peuplements comporte 31 variables et 187 relevés. Il serait ainsi théoriquement possible de visualiser les relevés dans autant de combinaisons de plans que l'autorisent 31 axes. Dans la pratique, seuls les premiers axes, les plus structurants, peuvent être interprétés et servent à l'analyse.

Le tableau de données utilisé pour l'analyse n'est pas homogène. Il comporte des variables diverses telles que des hauteurs moyennes, des densités de tiges, des surfaces terrières ou des pourcentages de régénération, exprimées dans des unités différentes. C'est pourquoi les données ont été réduites afin de pouvoir être comparées entre elles sans conférer plus de poids à une variable qu'à une autre. Elles ont également été centrées car il a été considéré que le meilleur résumé de l'ensemble de l'information contenue dans le nuage de points constitué par les relevés est son centre de gravité.

Au final, c'est une ACP normée — réalisée sur des données centrées et réduites, soit auxquelles on a retranché la valeur moyenne de la série de données pour la variable et que l'on a divisé par l'écart type — qui est réalisé sur le tableau de données.

Présentation sommaire des principales étapes décisionnelles de l'ACP réalisée

Une première analyse sur l'ensemble des 189 points de relevé fait ressortir deux points très loin des autres, empêchant une lecture correcte. C'est pourquoi ces deux points — relevés 5 et 149 — sont exclus de l'analyse par la suite.

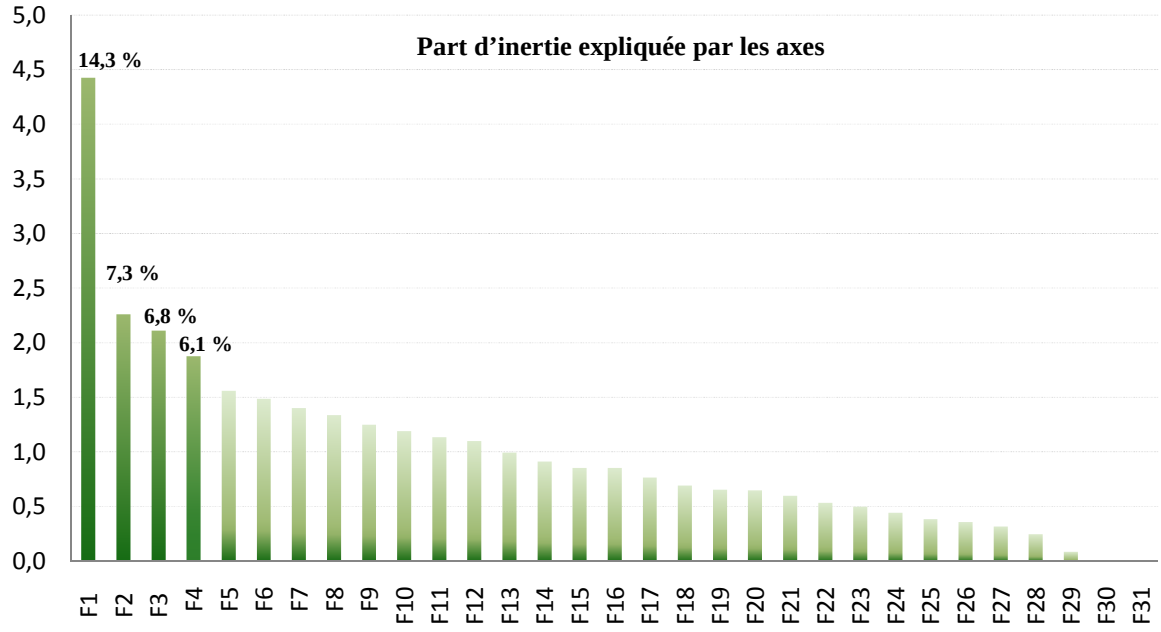


Illustration 15 : Diagramme des valeurs propres de l'ACP
Typologie de peuplement

Ce diagramme met en évidence la forte structuration du nuage de points par l'axe 1 au regard des autres. Un léger saut apparaît entre les axes F4 et F5. Les quatre premiers axes seront conservés et interprétés. L'inertie totale expliquée reste cependant faible, ce qui implique qu'une part non négligeable de la variabilité du nuage de points n'est pas accessible par l'analyse de ces quatre axes.

Interprétation des axes factoriels retenus

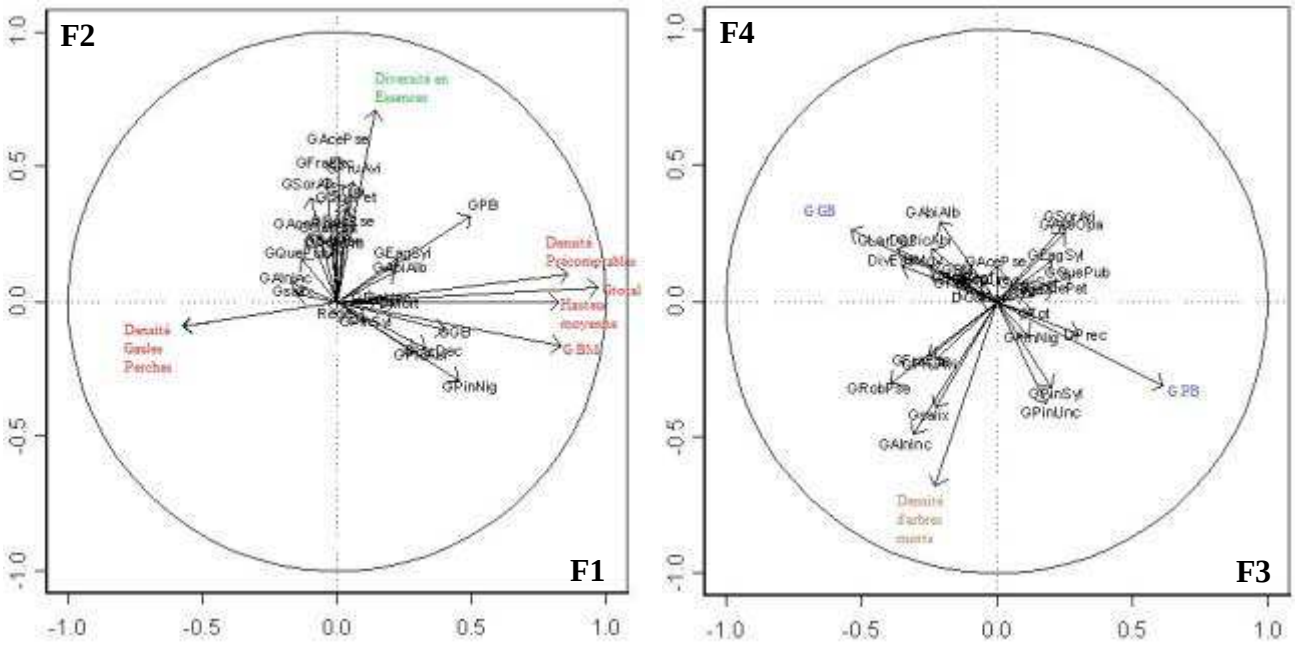


*Illustration 16a et 16b : Cercles des corrélations des axes F1*F2 et F3*F4*

L'axe F1 semble être corrélé à une variable qui représente la quantité totale de bois présente dans le peuplement. Les fortes valeurs de F1 correspondant aux peuplements les plus chargés en bois. On retrouve en effet, comme variables présentant une corrélation proche de 1 pour cet axe, la surface terrière totale, la hauteur moyenne du peuplement, la densité de tiges précomptables et la surface terrière de bois moyens. Cela peut trouver son explication sylvicole dans le fait que les peuplements, de pin noir, de pin à crochets ou de hêtre par exemple, régularisés en BM sont aussi ceux pour lesquels le capital est le plus élevé. À l'opposé apparaît la densité de perches et de gaules.

Les peuplements riches en très jeunes tiges, comme les recrus denses d'aulne blanc en bord de torrent par exemple, sont aussi ceux qui présentent de très faibles hauteurs et des surfaces terrières précomptables nulles.

La diversité en essences présente la plus forte corrélation à l'axe F2. L'axe F3 traduit la structuration horizontale des boisements, c'est à dire leur répartition selon les classes de diamètres et l'axe F4 est lié à un gradient de mortalité. Les relevés pour lesquels un nombre importants d'arbres morts — chablis et volis —, ou en passe de le devenir, a été noté présentent les coordonnées factorielles les plus faibles sur l'axe F4.

Le tableau suivant présente les corrélations des variables les plus structurantes de l'ensemble des données aux axes factoriels retenus. Le positionnement des points de relevés par rapport à ces axes est reporté en annexes 8a à 8d.

Variables	**Corrélations selon F1**	**Variable**	**selon F2**	**Variables**	**selon F3**	**Variables**	**selon F4**
GTot	**0,97**	**DivEss**	**0,71**	**GPB**	**0,61**	**DMort**	**– 0,68**
DPrec	**0,86**			**GGB**	**– 0,54**		
GBM	**0,83**						
HMoy	**0,82**						
DGaPe	**– 0,54**						
minimum	– 0,54		– 0,29		– 0,54		– 0,68
maximum	0,97		0,71		0,61		0,29
moyenne	0,17		0,14		– 0,04		– 0,03
écart-type	0,34		0,23		0,26		0,24

Tableau 23 : Corrélations des variables structurantes pour les peuplements aux axes factoriels retenus F1 à F4

Regroupement des peuplements et construction typologique

Par la suite, des allers-retours entre la localisation des relevés dans les différents plans factoriels qu'il est possible de construire avec les axes F1 à F4 et les fiches de relevé terrain des points en question ont permis d'identifier des groupes de points qui s'isolent du reste des relevés et de les caractériser. C'est par exemple le cas du groupe baptisé 1x, dont les relevés traduisent des boisements riches en GB et présentent une forte mortalité.

Pour faciliter l'analyse de certains groupes de points du nuage moins bien individualisés, j'ai eu recours à une méthode de classification automatique basée sur les distances entre individus : la classification ascendante hiérarchique (CAH), également appelée méthode des plus proches voisins. Elle permet le regroupement des relevés et leur affectation dans un nombre de classes défini. J'ai choisi un nombre de groupe volontairement modéré afin de garder la liberté de recouper ces derniers si l'analyse des fiches terrains de chaque point faisait ressortir des subdivisions évidentes. L'arbitrage entre finesse de description — donc de redécoupage des groupes — et niveau de représentativité de ces derniers a été la première préoccupation. Il a également été fait attention à ce que les groupes soient suffisamment larges et intuitifs pour être facilement compris par le plus grand nombre d'utilisateurs potentiels.

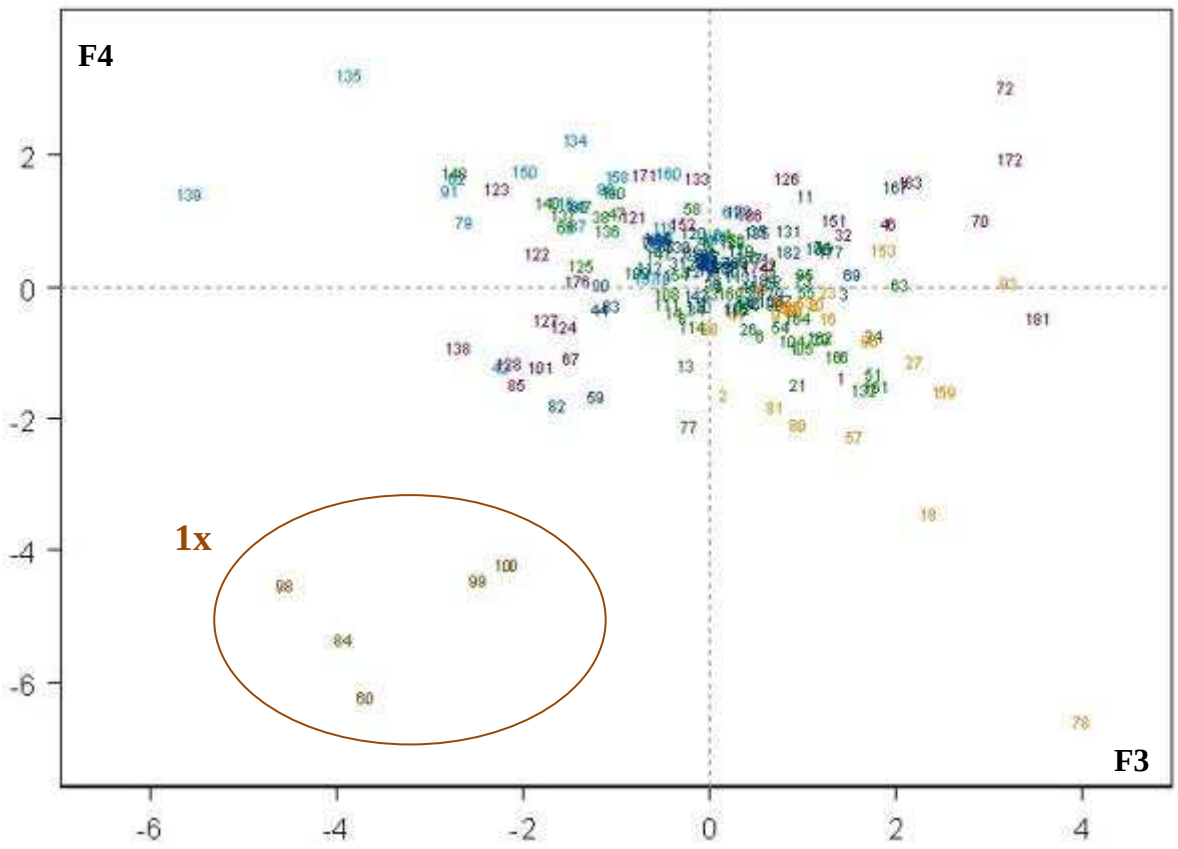


*Illustration 17a : Représentation des relevés dans le plan factoriel F3*F4*

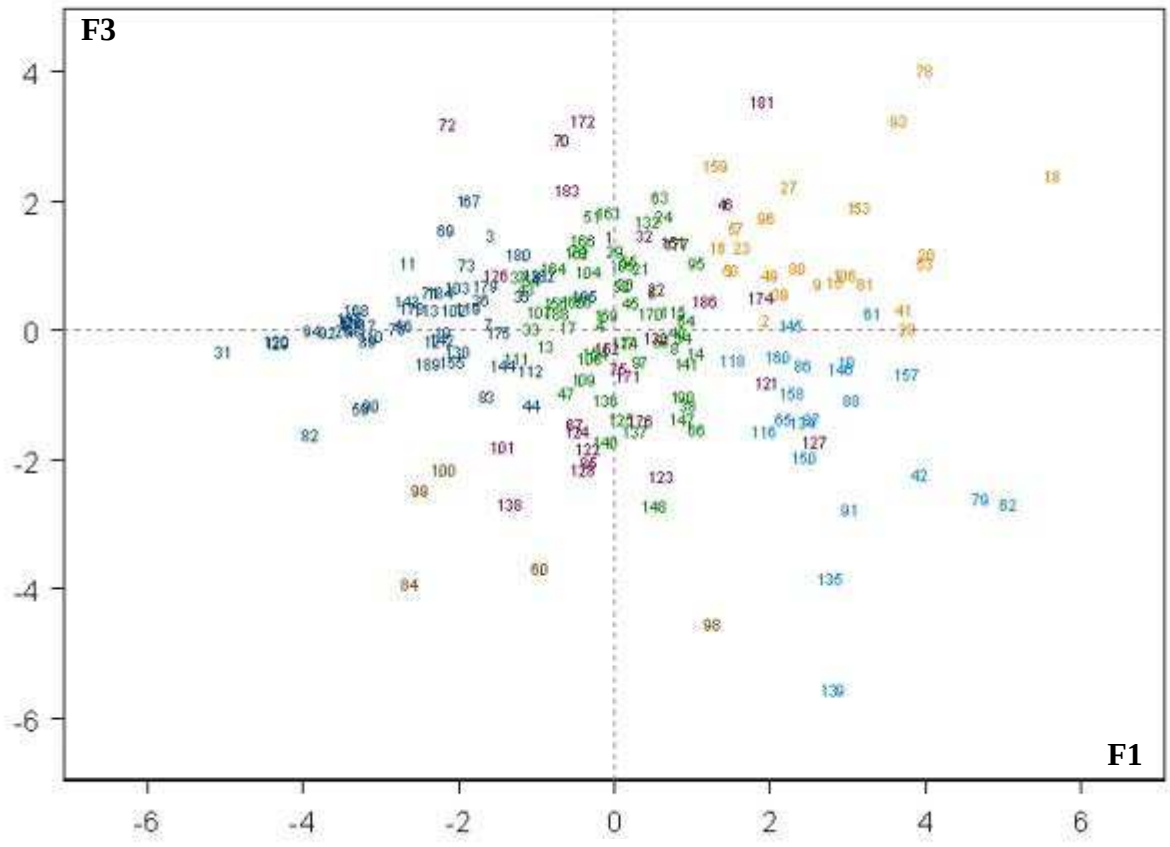


*Illustration 17b : Représentation des relevés dans le plan factoriel F1*F3*

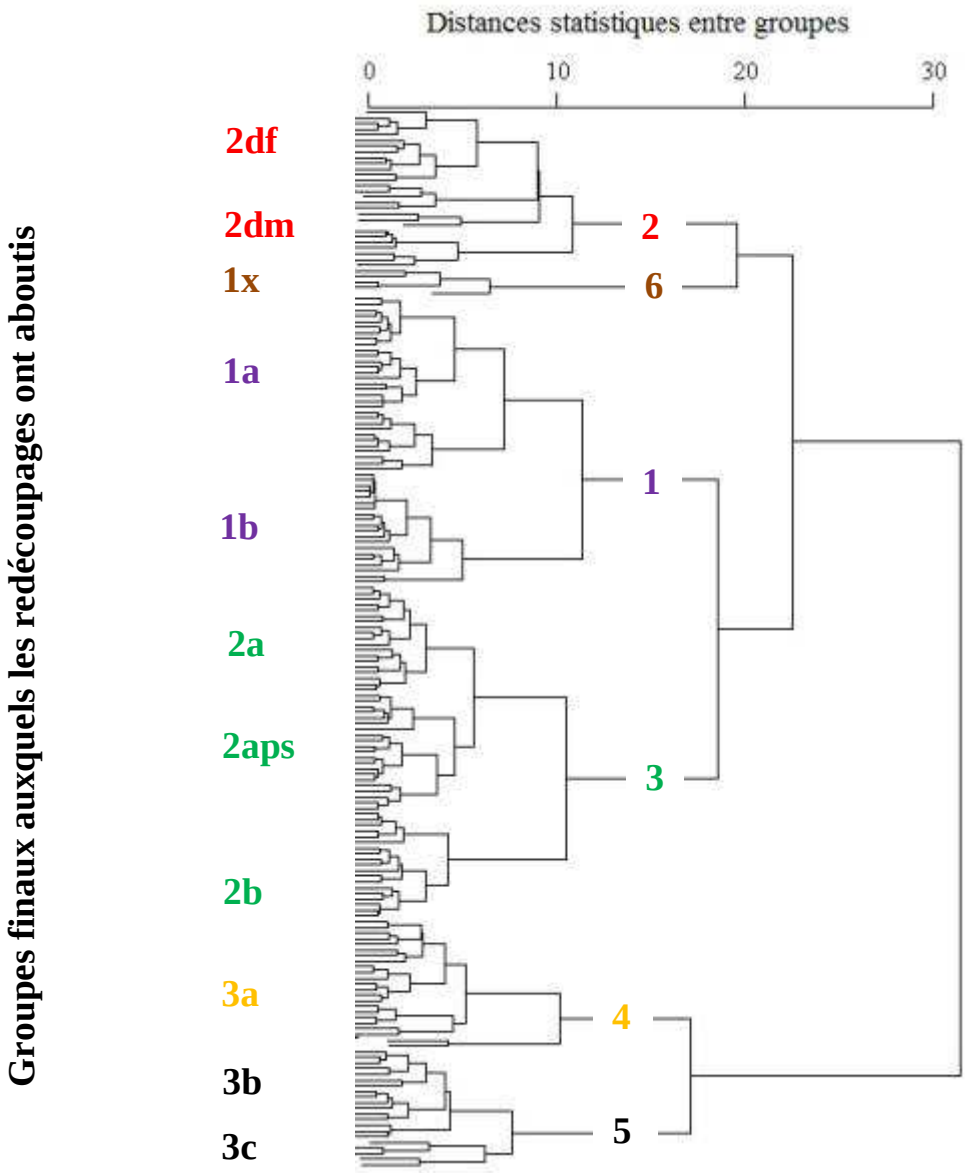
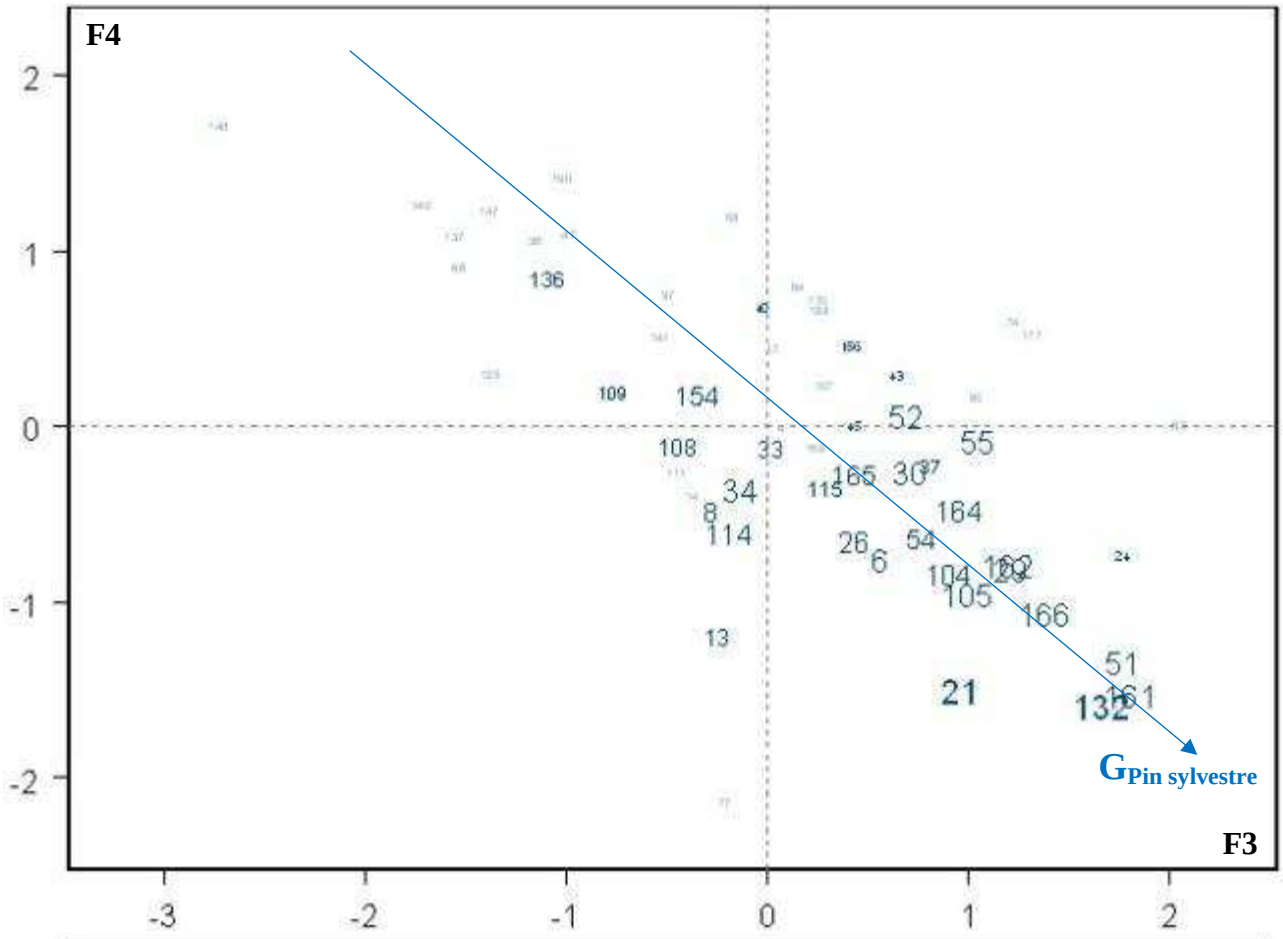


Illustration 18 : Arbre des distances issu de la classification automatique

Quelques exemples de redécoupages aboutissant aux groupes finaux retenus pour les peuplements

La distinction faite au sein du groupe 2 issu de la classification automatique concerne la nature des essences. Il s'agit d'un groupe au sein duquel, entre autres, la diversité en essences est très grande. Il est subdivisé en groupe 2df, ne contenant que des essences feuillues et se limitant aux étages collinéens et montagnards, du groupe 2dm présentant un mélange d'essences feuillues ou résineuses et pouvant aller jusqu'à l'étage subalpin.

Les distinctions au sein du groupe 3 issu de la classification automatique sont basées sur la structuration des classes de diamètre et l'importance de la présence de pin sylvestre. Cette essence est en effet structurante de ce groupe comme le montre le graphique suivant. La taille des chiffres correspondant aux numéros des points de relevé est proportionnelle au pourcentage de pin sylvestre par rapport à l'ensemble des essences présentes au point de relevé.



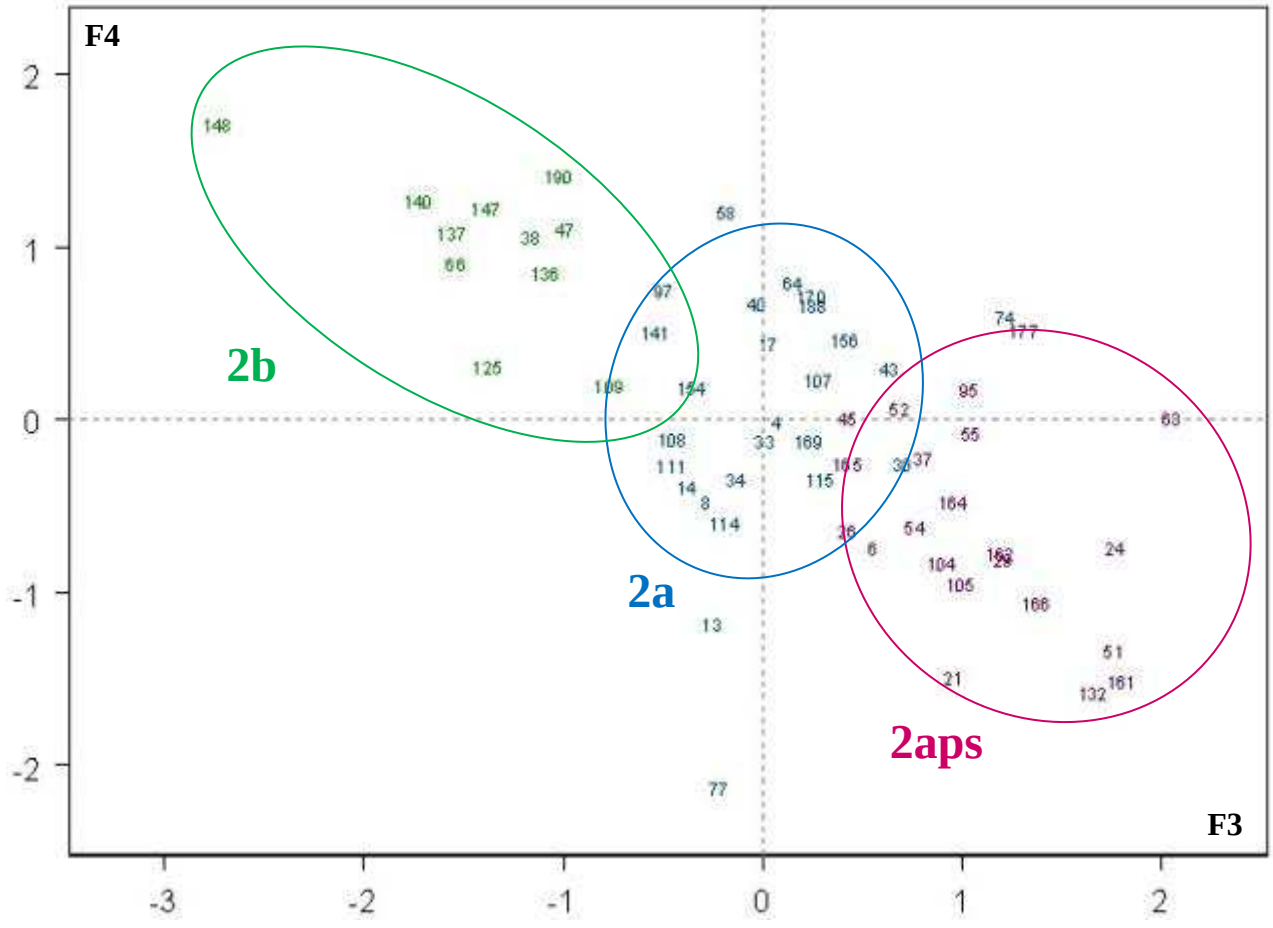


Illustration 19a et 19b : Redécoupages au sein du groupe 3

À partir des caractéristiques prédominantes de chaque groupe, un organigramme décisionnel — présenté deux pages plus loin dans ce rapport — a été conçu pour permettre le rattachement de tout peuplement à l'un d'entre eux. Toutefois, cet organigramme a été construit à partir des valeurs moyennes des groupes de points rassemblés. C'est pourquoi il a pu arriver qu'un relevé participant à la description d'un groupe soit finalement classé dans un groupe voisin lorsqu'on lui applique ce schéma de décision. Ces cas sont inévitables. J'ai cependant fait en sorte d'en minimiser l'occurrence par les critères de choix retenus.

		Points de relevés renomés selon l'organigramme													
		0	**1a**	**1b**	**3a**	**2dm**	**2df**	**3b**	**3c**	**1x**	**2aps**	**2a**	**2b**	*Total*	Concordance
Groupes CAH	**1**	1	**45**		1		1					3		*51*	**88%**
	4				**17**			2				4		*23*	**74%**
	2			4	5	**12**		2	1	1		3		*28*	**43%**
	5				2	1		**10**				5	3	*21*	**48%**
	6					1				**3**	1			*5*	**60%**
	3	1		3	10	2		3	2	1	**37**			*59*	**63%**
	Total	*2*	*28*	*24*	*35*	*11*	*6*	*9*	*11*	*5*	*16*	*31*	*9*	*187*	

Tableau 24 : Correspondances des relevés entre construction statistique des groupes et classement final au sein de ces groupes

Descriptions des types de boisements

Une fiche de description pour chacun des 12 types de peuplements ainsi définis est réalisée. Un exemple en est présenté dans cette partie, les autres étant reportés en annexe. Elle se compose d'une présentation des principales caractéristiques du peuplement et de son illustration par des photographies réalisées au cours de la phase terrain.

Les fonctions de protections face aux phénomènes naturels auxquels sont soumis les boisements ont avant tout constitué la priorité. Ainsi, différents scénarios sont présentés selon les phénomènes qui ont majoritairement été retrouvés pour un type de peuplement. Ils tiennent compte de l'état actuel du peuplement et de l'intensité des phénomènes.

Il est à noter qu'il n'a jusqu'ici jamais été fait mention des enjeux protégés par les boisements parcourus. Seul un diagnostic de l'état actuel des peuplements a retenu mon attention. Il s'agit d'un choix délibéré et concerté avec mon maître de stage avant même que n'ait débutée la phase de relevé. Plusieurs raisons peuvent expliquer ce choix : tout d'abord, le second volet du programme RPP prévoit une expertise des phénomènes, des enjeux et des boisements sur l'ensemble des forêts domaniales RTM, sans considération a priori des enjeux menacés, l'objectif étant justement d'avoir un retour sur ces derniers. Ensuite, les divisions domaniales RTM sont situées le plus souvent assez haut sur les versants, en amont de forêts communales et privées dont les propriétaires se sont parfois farouchement opposés aux politiques d'expropriation menées par les services RTM entre la fin du XIX^{e} siècle et la première moitié du XX^{e} siècle.

Ainsi les reboisements RTM alors entrepris à grande échelle ont permis de lutter très efficacement contre l'érosion et les crues torrentielles, voire le départ d'avalanches, phénomènes à l'échelle d'un bassin menaçant des enjeux avant tout de façon indirecte — essentiellement pour les deux premiers —. Ils sont cependant, de fait, le plus souvent éloignés physiquement des enjeux, ce qui les rend moins pertinents en termes de protection directe contre des phénomènes ponctuels tels les chutes de pierres et de blocs.

C’est pourquoi s’il avait été décidé de ne parcourir que les divisions domaniales RTM situées directement à l’amont de zones à forts enjeux, le nombre de relevé eût été insuffisant pour permettre une quelconque analyse. Ceci ne veut absolument pas dire que les boisements actuellement présents sur les terrains domaniaux RTM n’ont pas de fonction de protection, mais plutôt qu’ils jouent ce rôle de façon efficace, contre les phénomènes diffus le plus souvent, et également parfois contre des phénomènes ponctuels.

L’objectif du stage n’était en effet pas de réaliser un diagnostic précis de certaines zones boisées directement à l’amont d’enjeux, mais plutôt de proposer un premier état des lieux. Il était également de proposer un outil de description des boisements à fonction de protection simple d’utilisation et synthétique. Synthétique dans le sens où il condense et rassemble les préconisations des guides de sylviculture de montagne, en y apportant parfois quelques ajouts. Simple dans la forme sous laquelle il se présente ; l’ensemble des informations et conseils relatifs à un type de peuplement en situation d’interactions avec un ou plusieurs phénomènes naturels étant rassemblés dans une seule fiche consacrée à ce peuplement et déclinée selon plusieurs cas. Il est souhaité que cet outil puisse être une aide à la décision en fournissant, s’il était décidé d’intervenir en un site donné au regard des enjeux qu’il pourrait protéger, les éléments techniques de réalisation de l’intervention sylvicole. L’estimation des enjeux exposés ou l’opportunité de la réalisation des interventions en question ne relèvent pas du domaine de ce stage.

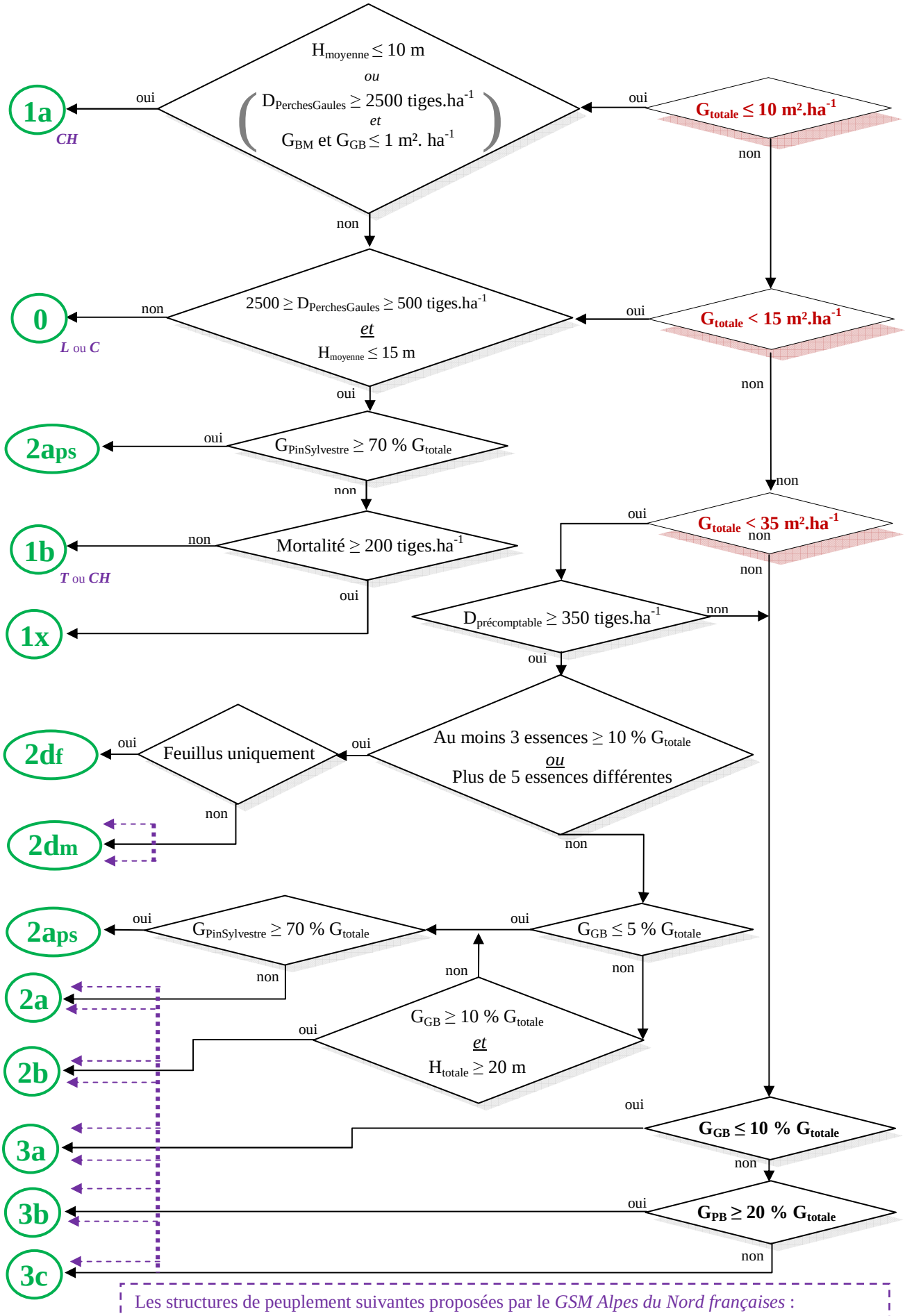
Il est évident que le travail que je propose ne présente, en soi, rien de novateur ni de révolutionnaire. Il pourra peut être paraître superflu à tout bon forestier qui aura pris le temps de s’informer sur les derniers travaux de recherche dans le domaine de la protection contre les risques par la forêt. Il est cependant souhaité que cet outil puisse faire gagner du temps aux aménagistes, à qui il est demandé, dans le cadre du projet RPP, de parcourir plus finement encore que j’ai pu le faire, les terrains domaniaux des départements RTM afin d’en décrire les boisements.

J’espère également que ce travail pourra permettre aux techniciens de secteur RTM qui ne le faisaient pas déjà, d’élaborer, ne serait-ce qu’à titre de curiosité personnelle, un rapide diagnostic des fonctions de protection des forêts qu’ils sont amenés à traverser.

Enfin, comme c’est le cas de tout guide, même des mieux construits, il n’est bien sûr pas possible d’être totalement exhaustif et traduire en un nombre plus ou moins grand de fiches l’intégralité de la diversité des situations qui peuvent être rencontrées dans le milieu naturel. Des critiques ont pu être formulées à l’encontre des *Guides de sylviculture de montagne* récemment parus, ce qui est normal. Ils ont toutefois le mérite de proposer, dans le domaine nouveau de la protection contre les risques, une méthodologie, des pistes de réflexion et d’analyse des peuplements, ainsi que certaines valeurs de référence. Ils font ainsi le pari que tout forestier faisant preuve de bon sens et de volonté saura, à partir de ces valeurs et quelques règles fondamentales de gestion, adapter la sylviculture aux situations rencontrées. Les fiches construites au cours de mon stage rappellent, entre autres, ces valeurs seuils, en les plaçant dans la perspective d’exemples de gestion basés sur les cas concrets rencontrés.

Elles décrivent les peuplements différentiés par leur niveau de capital, leur densité de tiges, leur structuration, leur mortalité ou leur composition en essence. Il s’agit de groupes volontairement larges au sein desquels peuvent entrer de nombreux boisements. Malgré leurs différences apparentes en termes sylvicoles, tous les peuplements appartenant à un des 12 groupes définis jouent des fonctions proches au regard de la protection contre les risques naturels. Les types de gestion, ou d’absence de gestion sylvicole, conseillés pour ces groupes de boisements sont assez proches. Seuls différent leur niveau d’intensité ou leur urgence.

L’organigramme décisionnel aboutissant au classement d’un boisement dans un des groupes définis est proposé à la page suivante.



Les structures de peuplement suivantes proposées par le *GSM Alpes du Nord françaises* : ***1***, ***1GB***, ***2***, ***2GB***, ***3***, ***12***, ***12GB***, ***13***, ***13GB***, ***23***, ***C***, ***J*** ou ***JGB*** peuvent être rencontrées.
Pour des raisons de simplification, ces distinctions n'ont pas été faites ici. Elles sont cependant recommandées à tout utilisateur de cette clef pour une description plus précise de ses peuplements.

Illustration 20 : Organigramme décisionnel et types de peuplements

Classification des phénomènes naturels rencontrés et de leur maîtrise par les boisements

De la même façon que des groupes ont été constitués pour les boisements rencontrés, les points de relevés présentant des phénomènes naturels — et une maîtrise de ces derniers par les boisements — similaires ont été regroupés ensemble. Cela pour permettre une synthèse des situations existantes et un croisement avec les types de peuplements.

Ce ne sont pas les données brutes relatives aux phénomènes qui ont été analysées, mais leur traduction partielle à travers une variable à 7 modalités : l'indice de maîtrise de l'aléa. Les modalités de cette variable ont été ramenées à 4 pour la commodité de l'analyse. Les valeurs 1 et 2, 3 et 4 et enfin 5 et 6 d'IMA ont été regroupées à travers les classes d'IMA faible, moyen et fort, comme cela a été présenté dans la seconde partie de ce rapport. La transformation des IMA en classes, donc en données binaires, permet la construction d'un tableau disjonctif complet puis son analyse par la méthode de l'AFC.

Après plusieurs essais d'analyses et plusieurs tâtonnements, il s'est avéré que deux variables structuraient plus particulièrement le nuage de points constitué par l'ensemble des données.

Présentation brève des principales étapes aboutissant au regroupement des phénomènes

Les premières analyses réalisées uniquement avec les classes d'IMA en colonnes et les relevés en lignes font ressortir les relevés aux valeurs extrêmes très loin de la majorité des points dans les plans factoriels. Ces relevés sont ceux qui ont été réalisés dans des conditions extrêmes, à la limite des possibilités de maintien de la végétation (pour l'érosion) ou des boisements (pour les glissements de terrains ou les chutes fréquentes de blocs de plusieurs m^3).

Une fois ces points de relevés, ainsi que les variables correspondantes, retirés, une analyse sur un échantillon réduit à 128 relevés en conditions forestières plus ordinaires, et 10 variables correspondant aux classes d'IMA moyennes et fortes pour les phénomènes d'érosion, de chute de blocs, de crue torrentielle, d'avalanche et de glissement de terrain, a été réalisée. La fiabilité et la rigueur statistique d'une telle analyse sont douteuses car les sommes marginales sur les lignes du tableau disjonctif complet ainsi obtenu sont toutes inférieures à 5. C'est pourquoi je ne m'aventurerai pas à présenter de résultats chiffrés relatifs à cette analyse.

Il est de plus difficile, voire étrange parfois, de chercher des corrélations entre les axes factoriels créés et des classes d'IMA. Il s'avère en effet qu'il n'y a pas de lien entre la présence de différents couples peuplement-phénomène en un lieu donné. La présence d'une falaise génératrice de chute de blocs n'a pas de rapport direct avec un potentiel départ d'avalanche ou la possibilité de survenue de crues torrentielles. C'est encore moins vrai pour un indice tenant compte à la fois des phénomènes et de l'état des boisements.

Évidemment, les phénomènes eux-mêmes sont conditionnés par les variables du milieu, altitude, enneigement ou pente pour les avalanches, ou encore nature de la roche pour les chutes de blocs et l'érosion. Cependant l'étude du lien entre conditions du milieu et présence de phénomènes naturels n'est pas l'objet de cette étude. C'est un domaine de recherche autrement plus documenté dont un aperçu bibliographique a été ébauché en première partie de ce rapport.

L'objet est bien plutôt ici de voir s'il existe des couples peuplement-phénomène similaires, ou suffisamment proches pour être rassemblés. L'AFC réalisée sur l'échantillon de sites forestiers présenté ci-dessus n'a d'autre prétention que de constituer une aide à ce regroupement.

La représentation des relevés et des variables dans les deux premiers plans factoriels fait apparaître une superposition pour un certain nombre de relevés. L'ensemble des données d'IMA correspondant aux relevés superposés a été analysé par groupe. Il semble ressortir de cette analyse « partiellement à la main » deux types de variables structurantes qui expliqueraient que les points soient ressortis les uns sur les autres : le nombre de phénomènes présents en un site donné et l'écart entre la note actuelle d'IMA du boisement et la note maximale possible pour les différents phénomènes naturels.

C'est pourquoi une nouvelle AFC, avec l'ensemble des relevés et des variables prenant en compte le nombre de phénomènes et les écarts de notation d'IMA actuels à la note maximale d'IMA a été réalisée. Cette dernière fait à nouveau ressortir les quelques points extrêmes évoqués précédemment, pour lesquels la forêt ne peut manifestement suffire à la protection. Immédiatement après ressortent les écarts d'IMA et le nombre de phénomènes présents.

En tout 40 variables sont prises en compte dans cette AFC, parmi lesquelles les écarts maximaux d'IMA à l'IMA optimal pour chaque relevé, la somme des écarts de chaque relevé ou le nombre de phénomènes présents.

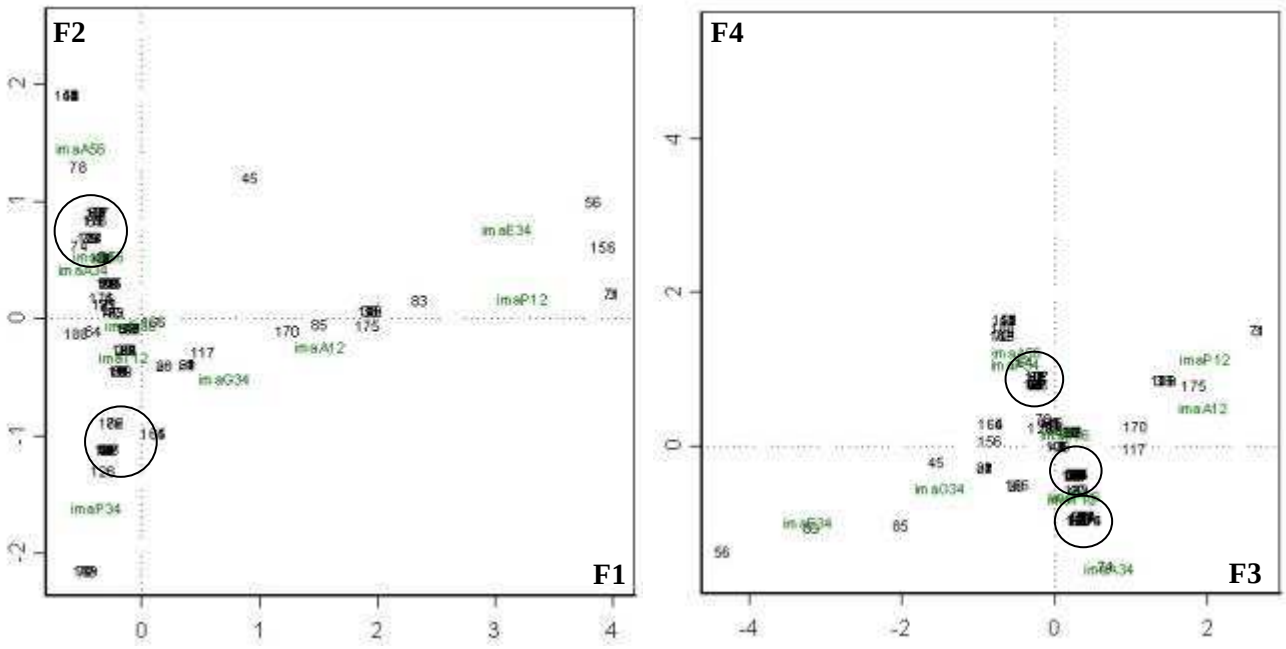


Illustration 21 : Regroupement des relevés au regard des phénomènes
les relevés cerclés sont ceux analysés ensemble comme décris précédemment

En soi ces résultats ne sont pas extrêmement satisfaisants. Ils permettent toutefois de faire ressortir les variables à partir desquelles une typologie pour les groupes de phénomènes pourra être construite. Comme cela a été fait pour les peuplements, l'organigramme qui aboutit à ces groupes est présenté à la page suivante.

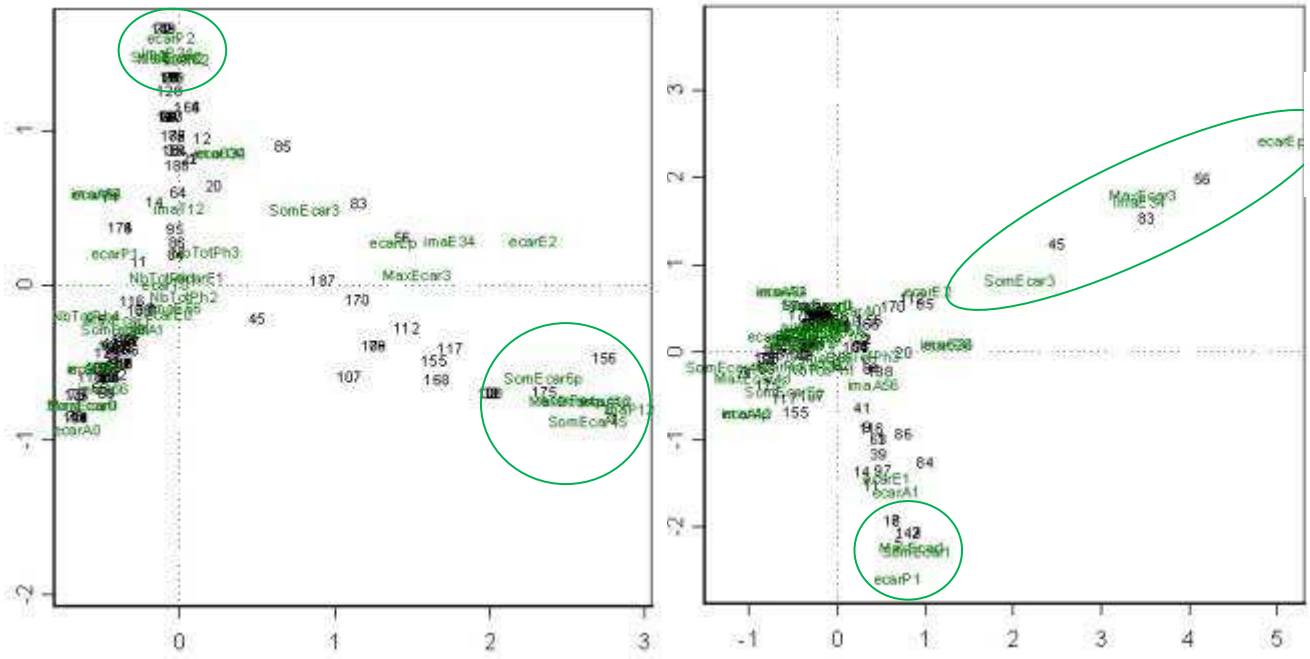


Illustration 22 : Plans factoriels pour l'AFC finalement retenue
Les variables entourées, ressortant pour les valeurs extrêmes des axes, sont celles des écarts d'IMA

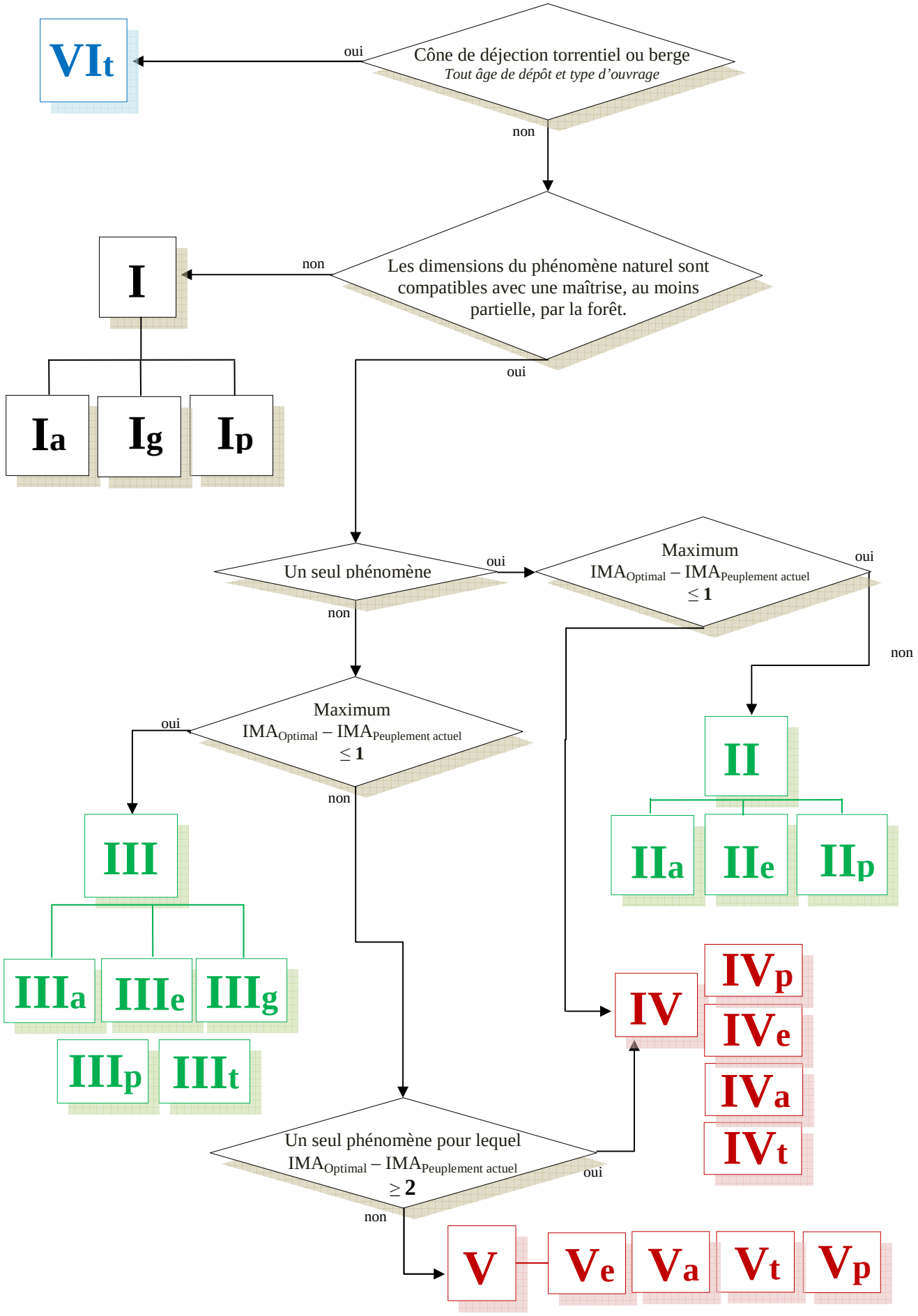


Illustration 23 : Organigramme décisionnel et types de maîtrises des phénomènes

Il est ainsi possible d'avoir une idée, sur l'ensemble des relevés réalisés, des proportions selon lesquels se répartissent les phénomènes et la maîtrise qui en est réalisée par les boisements. Les groupes de type I correspondent aux phénomènes qui ne peuvent pas être maîtrisés par les peuplements au vu de leurs dimensions trop importantes.

Les groupes de types II et III, représentés en vert, sont ceux pour lesquels les écarts entre l'IMA actuel du peuplement et le maximal possible sont faibles ou nuls. Il s'agit de peuplements efficaces dans leur fonction de maîtrise du phénomène en question. Le fait de savoir si un ou plusieurs phénomènes sont susceptibles de se produire influence le niveau d'attention que devra porter le forestier au moment d'intervenir sur ces sites.

Il est en effet différent de savoir qu'un boisement issu de plantation RTM a joué son rôle de protection contre l'érosion et qu'aujourd'hui ce paramètre est le seul phénomène naturel auquel il faille veiller, ou bien de savoir que le boisement en question est à la fois efficace contre les chutes de pierres, l'érosion et les départs d'avalanches. Dans ce second cas, le nombre de critères auxquels il faut veiller est bien plus grand.

Les groupes de types IV et V, représentés en rouge, regroupent les phénomènes naturels contre lesquels des boisements forestiers seraient en mesure de jouer une fonction de protection efficace. Ce n'est cependant pas le cas actuellement au vu de l'état des peuplements. S'il était décidé que des interventions sont possibles pour le renouvellement ou l'amélioration de l'état des peuplements exposés à des phénomènes naturels, c'est en priorité vers cette catégorie qu'il faudrait porter son attention.

Enfin, le groupe VI correspond aux boisements des cônes de déjection torrentiels, que le torrent soit chenalisé ou non suite à la construction de barrages par les services RTM, et aux berges dans la partie aval du torrent, là où ce dernier est susceptible d'entrer en interactions avec eux. Le rôle éventuel de déflecteur d'un boisement de cette catégorie au moment d'un événement torrentiel n'a pas été arrêté scientifiquement. Des travaux dans ce domaine pourraient être menés afin de savoir si des propositions telles que la réouverture de barrages en amont de boisements de cône de déjection sont dangereuses ou non.

	Phénomène naturel considéré				
	P	**E**	**A**	**T**	**G**
I	**15 %**	**0 %**	**46 %**	**0 %**	**79 %**
II et III	**42 %**	**89 %**	**44 %**	**41 %**	**21 %**
IV et V	**39 %**	**11 %**	**10 %**	**6 %**	**0 %**
VI	**3 %**	**0 %**	**0 %**	**53 %**	**0 %**

Tableau 25 : Répartition des couples boisement-phénomène par type de phénomène naturel

Plusieurs constats peuvent être tirés des résultats de ce tableau. Tout d'abord, la part des phénomènes non maîtrisables par la forêt concorde assez bien avec les présentations de la première partie. Elle représente la majorité des glissements de terrain et la moitié des observations de phénomène avalancheux. Si la part du torrentiel est nulle, c'est que les lits des torrents, non boisés dès que leurs dimensions deviennent importantes, et chenalisés par des ouvrages de génie civil le plus souvent, n'ont pas été pris en compte.

Il faut aussi remarquer que la forêt joue assez bien son rôle au regard de la protection contre l'érosion et les départs d'avalanches. Seul 11 % et 10 % respectivement des situations pourraient être améliorées. Elles correspondent aux sites pour lesquels le taux de couvert boisé pourrait être amélioré. Le cas des chutes de pierres et de blocs est plus mitigé. Si 15% des situations dépassent le domaine de l'intervention forestière, les relevés pour lesquels la forêt joue une fonction optimale de protection contre ce phénomène sont en proportions équivalentes de ceux où la situation pourrait être améliorée par le biais de la sylviculture.

Enfin, la moitié des relevés concernant le phénomène de crue torrentielle ont été réalisés sur des cônes de déjection où des berges de torrent où, a priori, la forêt n'est pas menacée. Une partie importante de ces boisements est constituée de peuplements de pin sylvestre.

Dans l'état actuel des aménagements des torrents, une sylviculture sortant du cadre de la prise en compte des phénomènes naturels pourrait être proposée pour ces boisements. Les 6% de boisements pouvant être améliorés par des actions sylvicoles correspondent aux abords directs des zones de transit des écoulements torrentiels présentant des arbres instables, menace potentielle d'embâcles.

	0	1a	1b	1x	2a	2aps	2b	2df	2dm	3a	3b	3c	
I	2	7	8	3	7	5	2	0	2	6	4	3	26%
V	0	3	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	26%
IV	0	9	9	1	7	2	3	3	1	6	2	2	
III	0	1	1	1	6	4	2	3	4	16	2	5	38%
II	0	3	2	0	10	0	2	0	3	5	1	1	
VI	0	5	3	0	1	5	0	0	2	2	0	0	10%

Tableau 26 : Situations rencontrées déclinées par type de peuplement

Cette table de contingence entre les types de peuplements rencontrés et leur niveau de maîtrise face aux phénomènes présents montre que les différentes situations ont été échantillonnées dans des proportions assez voisines.

	1			2 et 3							
	1b	1a	1x	2df	2b	3b	2aps	2a	3a	3c	2dm
V	1	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IV	9	9	1	3	3	2	2	7	6	2	1
III	1	1	1	3	2	2	4	6	16	5	4
II	2	3	0	0	2	1	0	10	5	1	3
	23 %	*25 %*	*50 %*	*50 %*	*57 %*	*60 %*	*67 %*	*70 %*	*75 %*	*75 %*	*88 %*

Tableau 27 : Classement des types de peuplements selon leur maîtrise des phénomènes
le pourcentage en vert correspond à la proportion de relevés appartenant aux types II et III

Un agrandissement sur les situations davantage forestières permet de mettre en évidence que les peuplements de type 2 et 3 — représentant des situations forestières plus « classiques » — permettent une meilleure maîtrise des phénomènes que les peuplements plus chétifs du type 1. Ce qui est normal au vu de la construction de l'IMA. On peut également remarquer que ce sont les boisements de capital moyen, mélangés et diversifiés qui jouent le mieux les fonctions de protection que l'on attribue à la forêt.

Si cela peut sembler une évidence, c'est une réalité qui peut encore parfois faire débat. Parmi l'ensemble des peuplements parcourus, dans la diversité des situations d'existence de phénomènes naturels générateurs de risques, les peuplements de type 2dm sont ceux pour lesquels, proportionnellement, la maîtrise assurée des phénomènes est la meilleure.

Les effectifs de chaque catégorie sont cependant assez faibles. Il n'est ainsi pas possible de conférer une valeur statistique intangible à ce résultat. Il apporte malgré tout une illustration concrète du sentiment de nombreux chercheurs et forestiers confrontés aux problématiques du risque naturel en forêt.

Cela ne signifie évidemment pas qu'il faille vouloir faire tendre de façon systématique tous les peuplements en situation de protection vers ce type de boisements. Le plus important est de proposer des améliorations par le biais de traitements sylvicoles cohérents avec l'état actuel des boisements. C'est toutefois une illustration d'un type de peuplement efficace dans le domaine de la maîtrise des phénomènes naturels. Il présente de plus l'avantage, de part sa diversité, d'être moins sensible aux divers aléas climatiques ou sanitaires qui pourraient survenir. Il offre enfin davantage de possibilités de traitements et de choix d'itinéraires sylvicoles pour le forestier.

		Nombre de relevés présentant le phénomène									
Peuplement		**P**		**E**		**A**		**T**		**G**	
0	*1%*	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	2	**7%**
1a	*15%*	16	**17%**	5	8%	9	**18%**	6	**18%**	1	4%
1b	*13%*	13	**14%**	3	5%	6	12%	3	9%	4	**14%**
1x	*3%*	1	1%	1	2%	0	0%	0	0%	4	**14%**
2a	*16%*	16	**17%**	12	**20%**	9	**18%**	2	6%	1	4%
2aps	*8%*	9	**10%**	4	7%	0	0%	6	**18%**	5	**18%**
2b	*5%*	5	5%	2	3%	4	**8%**	0	0%	1	4%
2df	*3%*	5	**5%**	3	**5%**	1	2%	2	**6%**	0	0%
2dm	*6%*	4	4%	6	**10%**	3	6%	4	**12%**	2	**7%**
3a	*19%*	13	14%	18	**30%**	11	**22%**	8	**24%**	5	18%
3b	*5%*	5	5%	2	3%	3	**6%**	0	0%	2	**7%**
3c	*6%*	5	5%	5	**8%**	4	**8%**	3	**9%**	1	4%

	0	**1a**	**1b**	**1x**	**2a**	**2aps**	**2b**	**2df**	**2dm**	**3a**	**3b**	**3c**
P	0	16	13	1	16	9	5	5	4	13	5	5
49%	0%	**57%**	**54%**	20%	**52%**	**56%**	**56%**	**83%**	33%	36%	**56%**	45%
E	0	5	3	1	12	4	2	3	6	18	2	5
32%	0%	18%	13%	20%	**39%**	25%	22%	**50%**	**50%**	**50%**	22%	**45%**
A	0	9	6	0	9	0	4	1	3	11	3	4
26%	0%	**32%**	25%	0%	**29%**	0%	**44%**	17%	25%	**31%**	**33%**	**36%**
T	0	6	3	0	2	6	0	2	4	8	0	3
18%	0%	**21%**	13%	0%	6%	**38%**	0%	**33%**	**33%**	**22%**	0%	**27%**
G	2	1	4	4	1	5	1	0	2	5	2	1
15%	**100%**	4%	**17%**	**80%**	3%	**31%**	11%	0%	**17%**	14%	**22%**	9%

Tableaux 28a et 28b : Recoupement entre types de peuplements et phénomènes observés

Ces deux tableaux correspondent à deux angles de lecture possible des mêmes résultats extraits de l'étude. Le premier propose les phénomènes comme clef d'entrée, le second les peuplements. L'idée est de regarder si certains peuplements coïncident majoritairement avec des phénomènes, et réciproquement.

Par exemple, le tableau du haut présente qu'il y a en moyenne sur l'ensemble des relevés 19 % de boisements de type 3a. Or pour 30 % de ces boisements le phénomène d'érosion potentielle a été relevé. L'érosion semble en moyenne plus présente pour ce type de peuplement.

De même, pour le tableau du bas, le phénomène d'avalanche est en moyenne observé pour 26 % des relevés. Comme 44 % des relevés de type 2b présentent le phénomène d'avalanche, on peut en première approximation considérer que ce type de boisement est davantage soumis aux phénomènes avalancheux.

Attention toutefois à la valeur qui peut être accordée à ces tendances. Les observations sont réalisées sur un échantillon restreint de relevés. C'est ici davantage une façon de présenter les relevés. Ce premier état des lieux pourra être compléter par d'autres mesures qui confirmeront peut-être ces tendances.

3.3 Perspectives et limites de l'étude

Conformément aux attentes du second volet du programme RPP, un premier état des lieux des boisements des divisions domaniales de l'Isère a ainsi pu être dressé au cours de ce stage. La présentation exhaustive des données relevées, points par points, n'eût fait que nuire à la clarté du propos de ce rapport. Seul des illustrations sont ici proposées. L'ensemble des informations est disponible sous format shape remise au service RTM.

Une estimation des fonctions de protection jouées par les boisements rencontrés est proposée sous forme d'un classement de ces derniers à l'aide de deux typologies construites au cours du stage ; la première concerne exclusivement les boisements, la seconde les replace d'après la maîtrise des phénomènes.

L'ensemble des éléments proposés est largement basé sur les connaissances actuelles relatives aux forêts de protection, dont la plupart se trouvent dans les *Guides de sylviculture de montagne*. Les fiches peuplement construites n'apportent fondamentalement pas d'élément nouveau dans le domaine de la gestion sylvicole en forêt de protection. Elles constituent davantage une synthèse de ces connaissances qui simplifiera peut-être la lecture des guides aux différents personnels forestiers. Ce sont également des pistes de réflexion qui peuvent aider à se poser les bonnes questions face à un boisement soumis à des phénomènes naturels. Chaque cas étant particulier, il a semblé préférable de se tenir à quelques lignes directrices larges.

Les travaux entrepris au cours de ce stage pourraient servir, dans le cas où cela serait jugé utile, de point de départ à la réalisation d'une estimation des fonctions de protection d'un boisement. Sur la base du protocole retenu et présenté — largement inspiré du protocole d'échantillonnage d'aménagement en forêt à enjeu fort de protection — un échantillonnage plus fin de ces boisements pourrait être réalisé.

Se pose toutefois la question des enjeux protégés par les boisements en question. S'ils n'ont pas été pris en compte dans cette étude, ils mériteraient d'être évalués avant toute analyse des fonctions de protection d'une forêt par les agents. Il n'est en effet pas certain que la connaissance de l'état de ces boisements et des interactions qu'ils entretiennent avec les phénomènes naturels conduise à de quelconques interventions sylvicoles. Le coût des interventions en question demandant à être justifié par une menace directe d'enjeux économiques. C'est pourquoi cette étude gagnerait à être replacée dans le contexte des enjeux réellement menacés en aval des sites étudiés. Cette mise en perspective ne serait ni longue ni coûteuse, l'ensemble des données étant déjà disponible.

Comme cela a pu être montré, sur l'ensemble des points de relevés réalisés, seul un quart des situations rencontrées ne présentent pas des boisements dans un état optimal de maîtrise des phénomènes naturels. Il est très probable que les sites à enjeux réels ne représentent pas la majorité de ces situations.

Enfin, les situations de peuplement très instable et menacé d'effondrement, nécessitant rapidement des interventions sylvicoles de renouvellement, n'ont que rarement été rencontrées. En montagne, les boisements tendent en effet naturellement vers l'irrégularisation et le plus souvent les chablis se limitent à des bouquets d'arbres.

Les situations instables et menaçantes pourraient être répertoriées afin de voir s'il est nécessaire de concentrer sur elles les efforts et de gestion, voire de recherche dans le cas particulier de la régénération sous couvert régulier dense de pins. Des exemples d'absence ou de présence de régénération ont en effet pu être observés sans qu'il soit aisé d'en déterminer les raisons. Si parfois la réalisation de trouées est un choix judicieux, elles ne peuvent pas être une solution systématique face à des situations très diverses.

Un exemple de fiche peuplement est présenté à la page suivante. Une partie des ces dernières est également présente en annexes (annexes 9a et 9d). Les exigences en matière de forme de ce rapport en contraignent quelque peu les dimensions. Un jeu de l'ensemble de ces fiches a été présenté en réunion et remis à l'ONF à la fin de mon stage.

2aps *– peuplements à prédominance de pin sylvestre*

Description des boisements rencontrés

Altitude : **750 à 1200 m**
Roche mère : **toutes natures**
Profondeur de sol : **toutes profondeurs**
Litière forestière **: souvent épaisse, continues et âgée de plusieurs années.**

Rarement un souci pour la régénération.

Hauteur moyenne **: 10 à 20 m**
Densité de gaules et perches **: 250 à 900 tiges.ha^{-1}**
Densité de précomptables **: 350 à 650 tiges.ha^{-1}**
Densité d'arbres morts **: 0 à 150 tiges.ha^{-1}**

Surface terrière **: 15 à 30 m².ha^{-1}, dominance PB**
35 % ≤ PB ≤ 100 %
0 % ≤ BM ≤ 60 %
GB rares





Types

Le plus souvent ces peuplements sont issus de régénération naturelle sur des sites anciennement mis à nu. Il s'agit de boisements forestiers pionniers.

Trois cas principaux ont été rencontrés. Ils correspondent, entre autres, à différents stades d'évolution naturelle.

Des boisements jeunes et réguliers présentant une strate herbacée continue, parfois une strate arbustive (genévriers, buis), pour lesquels la régénération forestière est rare ou absente. *(Photo à gauche)*. Des boisements plus denses, également réguliers, où s'installe une régénération d'essences tolérant davantage l'ombre (sapin, hêtre, épicéa, érables, merisier). Un remplacement lent des pins sylvestres est ainsi enclenché. *(Photo à droite)*. Des boisements irréguliers ou en voie d'irrégularisation, présentant des pins sylvestres âgés et commençant à souffrir de la concurrence des perches et PB d'essences forestières post pionnières ou dryades qui se développent. *(Photo au fond)*.

En moyenne, des valeurs seuil de **24 à 26 m².ha^{-1}** différentient bien les deux premiers types de boisements.

Crue torrentielle : Fréquemment, ces boisements se retrouvent aux environs de torrents par lesquels ils ne sont plus menacés suites aux ouvrages d'endiguement construits. S'ils ne sont soumis à aucun autre phénomène, un simple accompagnement des dynamiques naturelles, par des éclaircies sélectives légères (le pin sylvestre n'est pas compétitif) peut être envisagé dans le cas ou la rentabilité économique des exploitations serait positive.
Ces boisements ont souvent un rôle éducateur fort des essences poussant sous leur couvert. La réalisation d'ouvertures de grandes dimensions (≥ 5 à 10 ares) conduirait à la suppression de ce rôle, soit à une dépréciation de la qualité future.
Érosion : Il convient de maintenir un niveau important de recouvrement du sol par les strates arborées, arbustives et herbacées (**≥ 70%**). Cela est aisé avec les différents types de boisements présentés ci-dessus, tous très efficaces.
Chute de blocs : Maintenir une densité de tiges précomptables d'**au moins 350 tiges.ha^{-1}** et si possible un niveau de capital d'au moins **20 à 25 m².ha^{-1}**. Pour les peuplements irrégularisés et bien régénérés, souvent riches en gaules et perches d'autres essences que le pin sylvestre, maintenir un traitement irrégulier respectant ces valeurs seuils.
Dans le second cas, réfléchir à une transition ne conduisant pas à descendre trop en deçà de ces valeurs.
Pour les boisements à strate herbacée dense, si la régénération et les strates basses déjà en place ne suffit manifestement pas à assurer le rôle de protection, des compléments en plantation sous couvert par bouquets peuvent être envisagés.
Glissement de terrain mineur : Veiller au maintien continu d'un état boisé, favorisant l'évapotranspiration.

Illustration 24 : Exemple d'une fiche peuplement – boisements de type 2aps

Conclusion

Après avoir proposé une synthèse des connaissances actuelles relatives aux interactions entre la forêt et les phénomènes naturels d'érosion, d'avalanche, de chute de pierres et de blocs, de crue torrentielle ou encore de glissement de terrain, les travaux réalisés au cours de mon stage ont permis d'obtenir un premier état des lieux des boisements des forêts domaniales RTM du département de l'Isère. Cet état des lieux pourra être repris et affiné afin de répondre au mieux à la demande faite à l'ONF dans le cadre du programme de renouvellement des peuplements de protection.

Des propositions de typologies ont été avancées afin de grouper des observations qui auront semblées proches au regard de la problématique de la protection forestière contre les risques naturels. Il a été veillé à ce que ces typologies soient cohérentes avec les actuels *Guides de sylviculture alpins*, ainsi qu'avec les démarches d'aménagement en forêt à enjeu de protection, dont elles se veulent un complément. Ce rapport permettra peut-être d'apporter un éclairage nouveau à ces démarches.

Les terrains domaniaux RTM ont pour la plupart d'entre eux vu leur physiologie énormément évoluer suite aux travaux de génie civil et aux boisements qui y ont été entrepris. Acquis par l'État suite à la parution des lois sur la restauration des terrains en montagne à la fin du XIX^{e} siècle, ils ont été durant plus d'un siècle l'objet d'une attention fine de la part de l'État, des services RTM et de l'ONF. Cela est encore vrai aujourd'hui. En atteste le programme à l'origine de ce rapport. La nature des travaux que requièrent ces terrains à cependant beaucoup évolué. De chantiers titanesques de reboisement ou de construction de barrages, il s'agit aujourd'hui davantage de veiller au bon maintien de leur état afin que ne soit pas remis en cause ces ouvrages édifiés à grand peine.

Dans le cas de la forêt, qui contrairement aux ouvrages de génie civil se développe avec le temps, des améliorations de son état peuvent même être espérées. Ces évolutions pourront être dirigées dans le sens préconisé par la recherche lorsque les enjeux économiques seront jugés suffisants, ou naturelles dans les autres cas. Le principal étant de maintenir un niveau d'observation minimal des ces terrains boisés afin de prévenir tout retour en arrière.

Les terrains domaniaux RTM sont un exemple concluant d'amélioration de l'état d'espaces naturels endommagés, entre autres, du fait des pressions anthropiques et économiques. Il est à souhaiter que des raisonnements établis sur le long terme, à l'image des travaux entrepris par la restauration des terrains en montagne, prévaudront toujours dans les réflexions de gestion forestière.

Références bibliographiques

Connaissance générale des interactions entre forêts et phénomènes naturels

- **Berger F., Rey F. et Chenost C., 2005** — *Synthèse bibliographique de l'état des connaissances sur le rôle de protection des forêts contre les risques naturels* — Grenoble : Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture — 66 p.

- **Bischoff N., 1987** — *Sylviculture en montagne. Guide pour la création et le traitement des forêts de montagne. Manuel rédigé par un praticien pour les praticiens* — Berne : Office fédéral des forêts et de la protection du paysage — 385 p.

- **Monika F., Wasser B. et Schwitter R., 2005** — *Gestion durables des forêts de protection. Soins sylvicoles et contrôle des résultats : instructions pratiques* — Berne : Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage — 564p.

- **Mougin P., 1914** —*Les torrents de la Savoie* — Société d'Histoire naturelle de Savoie — 1251 p.

- **Ladier J., Rey F., Dreyfus P. et al., ONF, Irstea, 2012** — *Guide des sylvicultures de montagne Alpes du Sud françaises* — 301p. (Manuel élaboré dans le cadre du projet européen Interreg IV A — Alcotra « Forêts de protection »).

- **Lebourgeois F., 2002** — *Cours de bioclimatologie, partie 3 : microclimat et couvert forestier* — Nancy : Unité mixte de recherches INRA-ENGREF — 86p. (Version 4).

- **Neboit R., 2010** ; 3e édition — *L'homme et l'érosion* — Clermont-Ferrand : GEOLAB — 350 p ; chapitres 1, 2 et 5. (Presse universitaire Blaise-Pascal)

- **ONF Rhône-Alpes, Irstea Grenoble *et al.*, 2006** — *Guide des sylvicultures de montagne Alpes du Nord françaises* — 289p. (Manuel élaboré dans le cadre du projet européen Interreg III « Gestion durable des forêts de montagne »).

Connaissances particulières des interactions entre forêts et phénomènes naturels

- **Andréassian V., 2002** — *Impact de l'évolution du couvert forestier sur le comportement hydrologique des bassins versants* — Paris : université Pierre et Marie Curie. — 781p. (Thèse de doctorat)

- **Andréassian V., 2004** — Couvert forestier et comportement hydrologique des bassins versants — *La houille blanche*, n°2, p. 31-35.

- **Beaudet G., 1969** — *Le plateau central marocain et ses bordures. Études géomorphologiques* — Rabat : Inframar — 478 p.

- **Berger F. et Dorren L., 2010** — Rockfor.NET : le premier outil de diagnostic rapide de l'aléa chute de pierre à l'aval d'une forêt de protection — *Science Eau et Territoires*, n°2, Risques naturels en montagne, p.186-197.

- **Cosandey C, Boudjemline D., Roose E. et Lelong F., 1990** — Étude expérimentale du ruissellement sur des sols à végétation contrastée du mont Lozère — *Zeitschrift für Geomorphologie*, n°4, p. 73-91.

- **Crecy L. de, 1968** — *La forêt et la rétention nivale en hiver* — Mélanges offerts à Pardé M., Paris : Orphis — p. 157-166.

- **Couvreur S., 1982** — *Les forêts de protection contre les risques naturels* — Grenoble : Cemagref, DDA Isère. — 89p. (Stage de fin d'étude ENITEF)

- **Hurand A., 1994** — *Gestion forestière et risques naturels* — Grenoble : Office national des forêts, services RTM — 63p. (document interne)

- **Hurand A. et Andréassian V., 2003** — Le couvert forestier et l'hydrologie des bassins versants — *Rendez-vous techniques*, ONF, n°2 automne 2003, p. 37-40.

- **Ladier J., 2003** — Régénération naturelle du mélèze d'Europe. La gestion compte plus que la station. — *Rendez-vous techniques*, ONF, n°2 automne 2003, p. 32-34.

- **Lenoble F., 1923** — La légende du déboisement des Alpes — *Revue de géographie alpine*, p. 5-116.

- **Lepoutre M.,** —*Estimation du sur-risque engendré par les ouvrages de défense passive contre les avalanches* — Grenoble : Office national des forêts, service de Restauration des terrains de montagne. — 70 p. (Mémoire de mission professionnelle)

- **Ploey J. de et Savat J., 1968** — Contribution à l'étude de l'érosion par le splash — *Zeitschrift für Geomorphologie*, n°12, p. 174-193.

Prise en compte du risque naturel

- **Clouet N. et Berger F., 2010** — Le SIG : un outil pour le zonage des forêts à fonction de protection contre les avalanches et les chutes de blocs — *Géomatique expert*, n°76, p. 42-48.

- **Besson L. et Requillart J. P., 2010** — *Les risques naturels. De la connaissance pratique à la gestion administrative* — Voiron : Territorial éditions — 96p ; partie 3bis. (Addendum : mise à jour du DET 442)

- **Liévois J., 1998** — *Prise en compte des forêts à fonction de protection dans les plans de prévention des risques naturels* — Annecy : Office national des forêts, service de Restauration des terrains de montagne — 96 p.

- **Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement et ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, 1997** — *Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR) ; guide général* — Paris : La documentation française — 76 p.

- **Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement et ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, 1999** — *Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR) ; Risques de mouvements de terrain (guide méthodologique)* — Paris : La documentation française — 71 p.

- **ONF RTM, 2007** — *Analyse risques des divisions domaniales RTM et autres forêts* — Notice pour la mise en œuvre de la cartographie « aléa enjeu », Délégation nationale RTM, 58p.

- **ONF, 2009** — *Directives nationales d'aménagement et de gestion pour les forêts domaniales* — Paris : Office national des forêts — 40 p.

- **ONF RTM 38, 2010** — *Le torrent du Manival ; 150 ans de lutte contre les risques naturels* — Grenoble : Office national de forêts, service de restauration des terrains en montagne — 38p.

Service de restauration des terrains en montagne ; historique et fonctionnement

- **Circulaire DGPAAT/C2010-3019 des ministères de l'Environnement, de l'Intérieur et de l'Agriculture, 23 février 2010** — relative aux modalités d'intervention et de financement du service de Restauration des terrains en montagne de l'ONF dans la prévention des risques naturels spécifiques à la montagne — 13p.

- **Convention technique pour la période 2007-2011, cosignée par l'ONF et le ministère de l'Agriculture, 30 mars 2007** — relative à la restauration des terrains en montagne et à son concours à la prévention des risques naturels spécifiques à la montagne — 12p.

- **Convention-cadre pour la période 2007-2001, cosignée par l'ONF et le ministère de l'Environnement, 15 mai 2007** — relative à l'intervention de l'Office national des forêts dans la prévention des risques naturels en montagne — 8p.

- **Instruction -07-T-62 du Directeur général de l'ONF, 26 janvier 2007** — relative aux missions, à l'organisation des services RTM et à la gestion des terrains domaniaux RTM — 18p.

- **Requillart J. P., 2010** — Le long et complexe cheminement d'un dossier de création d'un périmètre domanial RTM. Le cas du torrent du Manival. Périmètre de la Basse Isère, séries RTM de St-Nazaire les Eymes et de St-Ismier — 14p. (document interne)

- **Requillart J. P., 2011** — *Principaux textes fondateurs RTM sous forme d'un historique* — 9p. (document interne RTM Isère)

Liste des contacts

Yannick Robert
Géologue, expert risques naturels
Pôle connaissance expertise du risque
Service RTM de l'Isère
Tel : 04 76 23 41 77
yannick.robert@onf.fr

ONF – Services Départementaux RTM 38
Hôtel des Administrations
9 quai Créqui
38026 Grenoble Cedex

L'ensemble des adresses mail des personnels ONF sont construites sur le modèle
prenom.nom@onf.fr

Service RTM de l'Isère

Bruno Laïly, *chef du service RTM de l'Isère*	04 76 23 41 65
Maëlle Lepoutre, *adjoint au chef du service RTM de l'Isère*	04 76 23 41 67
Roland Chaneac, *technicien territorial RTM Oisans*	04 76 80 00 30
Jean-Baptiste Nicaise, *technicien territorial RTM Trièves*	04 76 34 79 83
Matthieu Chaney, *technicien territotial RTM Valbonnais Matheysine*	04 76 30 20 16
Marie Juppet, *technicien territorial RTM haut Grésivaudan*	04 76 52 00 09
Cécile Bertrand, *technicien territorial RTM Vercors Chartreuse nord*	04 76 23 41 71

Service forêt de l'agence ONF de l'Isère

Claire Dubois, *responsable du service forêt*	04 76 86 39 56
Philippe Favet, *responsable du pôle aménagement chasse*	04 76 86 39 53
Bernard Le Corre, *chef de projet aménagement*	04 76 86 39 70

Unités territoriales

Serge Saulquin, *responsable d'unité territoriale Oisans – Matheysine*	04 76 30 20 47
Hervé Marguet, *responsable d'unité territoriale Saint-Ismier*	04 76 52 15 17
Yvan Orecchioni, *responsable d'unité territoriale Allevard – Grésivaudan*	04 76 97 54 49
Rémy Lecomte, *responsable d'unité territoriale Trièves*	04 76 34 03 20

Table des Annexes

Annexe 1 : Formulaire de description des peuplements à fonction de protection – projet IFP

Annexe 2 :Fiche de description des peuplements à fonction de protection – zones vertes des PPR

Annexe 3 : Évaluation de l'enjeu de protection au cours de l'aménagement

Annexe 4a : Fiche de relevé en peuplement à enjeu fort de protection – diagnostic IMA ;données obligatoires

Annexe 4b : Fiche de relevé en peuplement à enjeu fort de protection – diagnostic IMA ;données facultatives

Annexe 5a : Cartographie d' aléas RPP ; division domaniale du Grand Ferrand

Annexe 5b : Cartographie d'aléas RPP ; division domaniale de Pellafol

Annexe 5c : Cartographie d'aléas RPP ; division domaniale du Saint-Eynard

Annexe 5d : Cartographie d'aléas RPP ; division domaniale du Sautet

Annexe 5e : Cartographie d'aléas RPP ; division domaniale du Gargas

Annexe 6a : Choix de la localisation des points de relevé ; division domaniale du Saint-Eynard

Annexe 6b : Choix de la localisation des points de relevé ; division domaniale du Sautet

Annexe 6c : Localisation des points de relevé ; division domaniale du Gargas

Annexe 6d : Points de relevé ; FC RTM de Saint-Martin-le-Vinoux

Annexe 6e : Localisation des points de relevé ; division domaniale de Trezanne

Annexe 7a : Fiche de relevé utilisée sur le terrains – recto phénomènes

Annexe 7b : Fiche de relevé utilisée sur terrains – verso peuplement

Annexe 8a : Présentation des 30 relevés les plus représentatifs selon l'axe F1

Annexe 8b : Présentation des 30 relevés les plus représentatifs selon l'axe F2

Annexe 8c : Présentation des 30 relevés les plus représentatifs selon l'axe F3

Annexe 8d : Présentation des 30 relevés les plus représentatifs selon l'axe F4

Annexe 9a : Boisements 0 – peuplements clairs et ouverts .....Types L ou C du *GSM Alpes du Nord*

Annexe 9b : Boisements 1a – peuplements chétifs..... Type CH du *GSM Alpes du Nord*

Annexe 9c : Boisements 3a – peuplements très denses de PB à BM à tendance monospécifique

Annexe 9d : Boisements 2dm – peuplements diversifiés mixtes .....pages 91 à 122 *GSM Alpes du Nord*

Annexe 1 : Formulaire de description des peuplements à fonction de protection – projet IFP

Interreg IFP

Territoire d'étude : Commune (si polygones numérotés par commune) :

(Haut Chablais = H, Arlysère = A, METRO Grenoble = M, Thonon - DVT arrondissement de Thonon = T)

Description des peuplements à fonction de protection

date description :

= à renseigner uniquement en cas d'avalanche = à renseigner uniquement en cas de chute de blocs

noms des descripteurs :

Identifiant du polygone (issu de la photo-interprétation)	Subdivision du polygone (1)	Aléa A=avalanche B=chute de blocs AB= les 2 aléas	Couvert hivernal (feuillus+mélèze exclus) (1=oui)				Surface terrière/ha G diamètre > 7,5 cm (1=oui)				Nombre tiges diamètre > 7,5 (1=oui)			Proportion feuillus en 1/10		Diamètre moyen taillis (1=oui)			Régénération (> 0,50 m)		Structure (1 =oui)		état sanitaire défectueux avant 50 ans 1 =oui	Trouées > 10 ares (~30mx30m)		Zone inaccessible 1=oui (7)	Présence d'ouvrage(s) de protection 1=oui (8)	Observations (9)
			0 à 10%	10 à 30%	30 à 70%	70 à 100%	0 à 10 m²/ha	10 à 20 m²/ha (ou < 25 si bloc)	20 à 40 m²/ha (ou > 25 si bloc)	+ de 40 m²/ha	moins de 250/ha (2)	250 à 500/ha (2)	+ de 500/ha (2)	surface terrière G	en nb de tiges	< 7,5 cm (3)	7,5 à 20 cm (3)	> 17,5 cm (3)	0=absente 1=présente 2=suffisante pérenne (4)	mélange d'essences 1=Oui	au moins 2 strates (hors strate 4) (5)	jeune peuplement dense (6)		recouvrement total en 1/10	au moins une trouée > 30m dans la pente 1=oui			

Le couvert concerne toute la végétation ligneuse de hauteur > 2m.

Toutes les tiges de diamètre > 7,5 cm sont à prendre compte y compris dans les cépées de taillis et les tiges de buis pour la surface terrière et la densité.

Les trouées < 10 ares sont intégrées dans le peuplement décrit : le G/ha tient compte de ces trouées.

Les trouées > 10 ares sont exclues du peuplement décrit. Le peuplement décrit est le peuplement entre trouées.

On prend en compte dans les trouées > 10 ares les grands vides présents sur le polygone décrit. La trouée cesse d'être une trouée lorsqu'elle est boisée de tiges > 7,5cm

(1) : à renseigner en cas de subdivision du polygône issu de la photo-interprétation - une lettre par subdivision d'un même polygône (à reporter sur le plan) - ne pas subdiviser en dessous de 1 ha.

(2) : Densité sur une placette pseudo circulaire de rayon = 10 m

<250/ha = 7 et moins sur un rayon de 10 m

250 à 500/ha = 8 à 15 sur un rayon de 10 m

>500/ha = 16 et + sur un rayon de 10 m

correction du rayon de la placette selon la pente				
0% à 35%	40% à 55%	40% à 55%	60% à 75%	80% et +
10 m	10,50 m	10,50 m	11 m	11,50 m

(3) : à renseigner si le peuplement est constitué majoritairement de taillis

(4) : 0 = absente 1= insuffisante (<10% de recouvrement) ou présente mais risque de disparaître 2 = suffisante (>10%) et pérenne

(5) : une strate est prise en compte dès lors que son couvert est d'au moins 3/10 (en 1/10 de recouvrement du sol) = strate non déficitaire au sens du GSM Alpes du nord.
Cette condition doit être appréciée avec une certaine souplesse : c'est la stabilité physique dans le temps qu'on évalue par cet indicateur.

(6) : jeune peuplement dense : à renseigner pour la futaie pas pour le taillis

(7) : les zones inaccessibles sont à décrire avec la précision que permet une observation externe du peuplement

(8) : à renseigner pour tous les polygones situés à l'amont d'un équipement. Les paravalanches amont ne sont pas pris en compte car on expertise les zones de départ potentiel et non les zones de propagation avalanche.

(9) : préciser notamment la nature des équipements filet, merlon, etc ... ainsi que les peuplements particulièrement instables. Limiter l'usage des observations aux informations importantes.

Annexe 2 : Fiche de description des peuplements à fonction de protection – zones vertes des PPR

Description :

Commune de :

N° de zone verte :

N° de zone d'aléa : Surface :

a) État actuel :

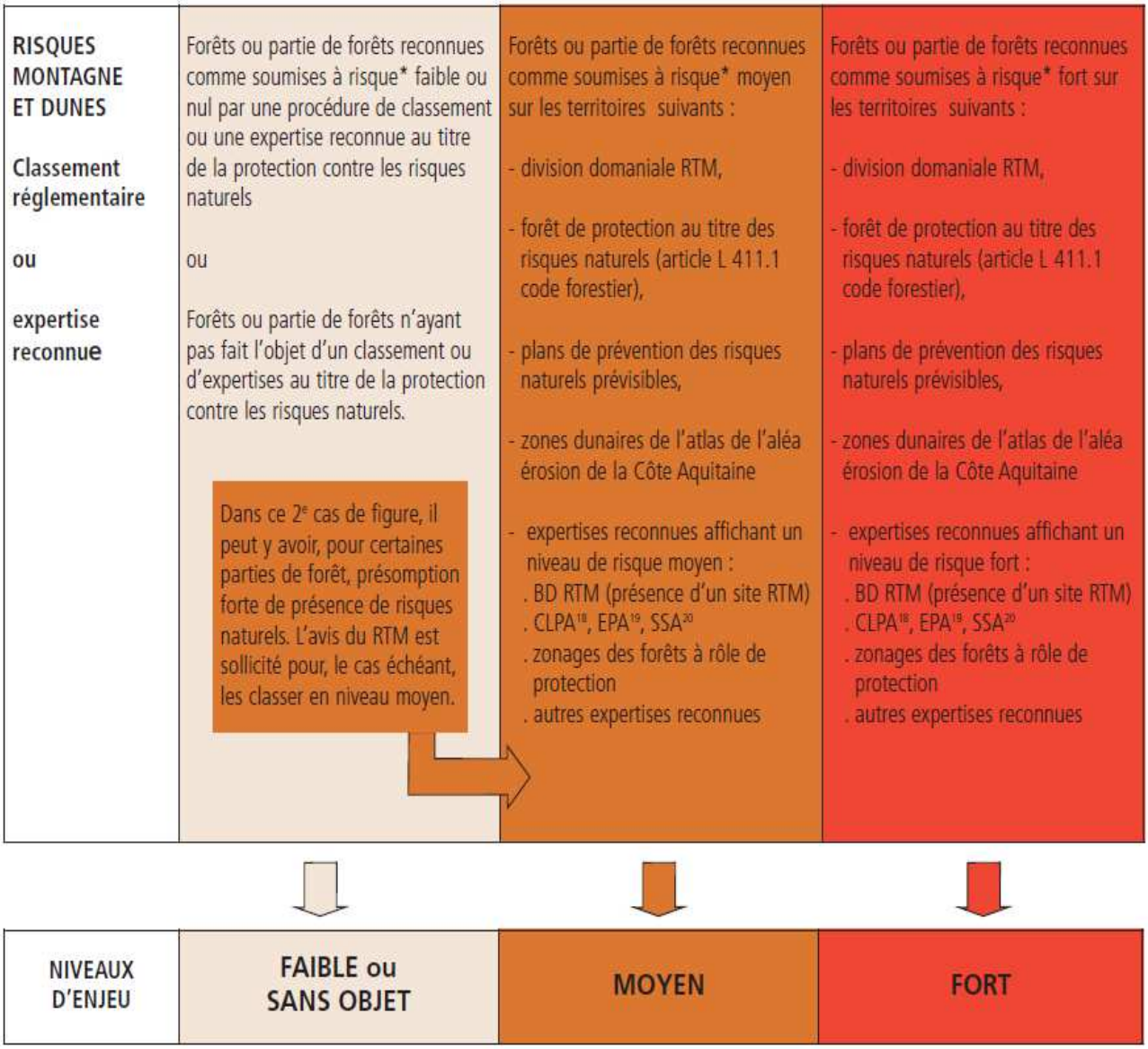
1. type d'aléas :
2. types de peuplements :
3. classement IFN :
4. forme :
5. sol :
6. exposition et altitude :
7. régime du foncier :

b) Évolution :

8. évolution naturelle du peuplement :
9. évolution de l'aléa si disparition du couvert :
10. travaux sylvicoles (nécessaires, souhaitables, possibles, inventifs, déconseillés, …) :

Autres fonctions (production, paysage, …)

Annexe 3 : Évaluation de l'enjeu de protection au cours de l'aménagement



* *NB : cette notion de risque nul/faible/moyen/fort est extraite des documents disponibles, sans étude complémentaire.*

Extrait de l'annexe 1 des Directives nationales d'aménagement et de gestion pour les forêts domaniales, ONF, 2009

Annexe 4a : Fiche de relevé en peuplement à enjeu fort de protection – diagnostic IMA ; données obligatoires

FORÊT _______________ **Date description** _______________

Détermination IMA des peuplements à fonction de protection **Noms descripteurs** _______________

Ava = à renseigner en cas d'avalanches (**Ava**)

ChB / ChB Crue = à renseigner en cas de chutes de blocs (**ChB**)

Ravi Crue Gli2 / ChB Crue = à renseigner uniquement en cas de ravinement (**Ravi**), crues torrentielles (**Crue**) ou glissements de terrain de prof.< 2 m (**Gli2**)

DONNEES OBLIGATOIRES **DONNEES OBLIGATOIRES** **DONNEES OBLIGATOIRES**

Identifiant du polygone (issu de la photo-interprétation)	Subdivision du polygone	Aléas présents										Peuplt non boisé	Couvert hivernal épicéa + sapin + pins (feuillus et mélèze exclus)				Surface terrière G/ha Peuplt précomptable diam. 17,5 et +						Peuplement majoritairement précomptable ? si NON Densité tiges diam. 7,5 à 17,5		si OUI Densité tiges diam. 17,5 et +		Couvert végétal total en été (arbres + arbustes + herbacées)			Ravi. < 1 ha	Transit crues		Résistance du pplt	Description externe
		1=oui										1=oui	1=oui				1=oui						1=oui		1=oui		1=oui			1=oui	1=oui		1=oui	1=oui
		Chutes de blocs		Avalanches		Ravinement		Crues torrent.			Glissement terrain prof. < 2 m	Tous aléas	Ava	Ava	Ava	Ava	Ava	Ava	Ava	Ava	ChB	ChB	ChB	ChB	ChB Crue	ChB Crue	Ravi Crue Gli2	Ravi Crue Gli2	Ravi Crue Gli2	Ravi	Crue	Crue	Tous aléas	Tous aléas
		long. boisée > 200 m	long. boisée < 200 m	départ déclaré en forêt	départ potentiel en forêt	ravines > 1 ha	ravines < 1 ha	Zone de départ = bassin d'approvis[1]	Zone de transit = lit, berges torrent	Zone de dépôt = cône de déjection		si non boisé, seules les colonnes jaunes sont à renseigner	0 à 10%	10 à 30%	30 à 70%	70 à 100%	0 à 10 m²/ha	10 à 25 m²/ha	25 à 40 m²/ha	+ de 40 m²/ha	0 à 25 m²/ha	+ de 25 m²/ha	moins de 2 000/ha	+ de 2 000/ha	moins de 350/ha	+ de 350/ha	0 à 30%	30 à 70%	70 à 100%	Lit raviné entièrement végétalisé (arbustes, herb.)	Zone non végétalisée (lit et berges torrent)	Présence de bois de diam. > 40 cm	1 = bonne résistance	1 = description faite par vision externe
	(1)	(2)	(2)									(3)											(4)	(4)	(4)	(4)							(5)	(6)

1 ligne = 1 peuplement homogène issu de la photo-interprétation, éventuellement subdivisé lors de l'expertise terrain

Les trouées < 10 ares sont intégrées dans le peuplement décrit : le G/ha et la densité tiges tiennent compte de ces trouées.

Les trouées > 10 ares sont exclues du peuplement décrit. Le peuplement décrit est le peuplement entre trouées.

Une trouée cesse d'être une trouée lorsqu'elle est boisée de tiges > 7,5cm

* Toutes les tiges de diamètre 7,5 à 17,5 cm sont à prendre compte, y compris dans cépées de taillis + buis, noisetier.

(1) : à renseigner en cas de subdivision du polygone sur le terrain - une lettre par subdivision (a,b,c ... à reporter sur plan) - ne pas subdiviser en dessous de 1 ha.

(2) : considérer la longueur boisée, qq soit la propriété (y compris partie hors forêt aménagée), entre départ des blocs et enjeu. Longueur horizontale sur plan.

(3) : végétation herbacée ou arbustive de Ø < 7,5. La régénération en essence susceptible d'atteindre le Ø > 7,5 est considérée comme boisement.

(4) : Densité sur une placette pseudo circulaire de rayon = 10 m

< 2 000/ha = espacement sup. à 2 m / 2.5 m — < 350/ha = 10 tiges et - sur rayon de 10 m

> 2 000/ha = espacement inf. à 2 m / 2.5 m — > 300/ha = 11 tiges et + sur rayon de 10 m

correction du rayon de la placette 10 m selon la pente				
0% à 35%	40% à 55%	60% à 75%	80% et +	pente
10 m	11 m	12 m	13,50 m	rayon horizontal

(5) : résistance d'un peuplement forestier = capacité à résister aux perturbations biotiques et abiotiques ; 1 = bonne résistance.
L'objectif est d'estimer la probabilité de disparition du peuplement à court ou moyen terme, c'est-à-dire sur une durée d'application d'un à deux aménagements.

(6) : les zones inaccessibles sont à décrire avec la précision que permet une observation externe du peuplement

Annexe 4b : Fiche de relevé en peuplement à enjeu fort de protection – diagnostic IMA ; données facultatives

Identifiant du polygone (issu de la phot-interprétation)	Subdivision du polygone	DONNEES FACULTATIVES								DONNEES FACULTATIVES		DONNEES FACULTATIVES	DONNEES FACULTATIVES
		Régénération (> 0,50 m) (1 =oui)				Structure (1 =oui)		Trouées > 10 ares (~30mx30m)		Présence de témoins silencieux visibles	état sanitaire défectueux avant 50 ans	Présence d'ouvrage(s) de protection 1=oui	Observations
		Tous aléas				Tous aléas		Ava ChB					
		absente	insuffisante	suffisante pérenne	mélange d'essences	au moins 2 strates (hors régé)	jeune peupl dense	recouvrement total en 1/10	au moins une trouée > 30 m dans la pente				
	(1)	(7)	(7)	(7)	(7)	(8)	(9)	1/10	1 =oui	1 =oui	1 =oui	(10)	(11)

(7) : - insuffisante ==> couvert régénération < 10% ou régé. présente mais avec risque de disparaître
- suffisante ==> couvert régénération >10% et pérenne

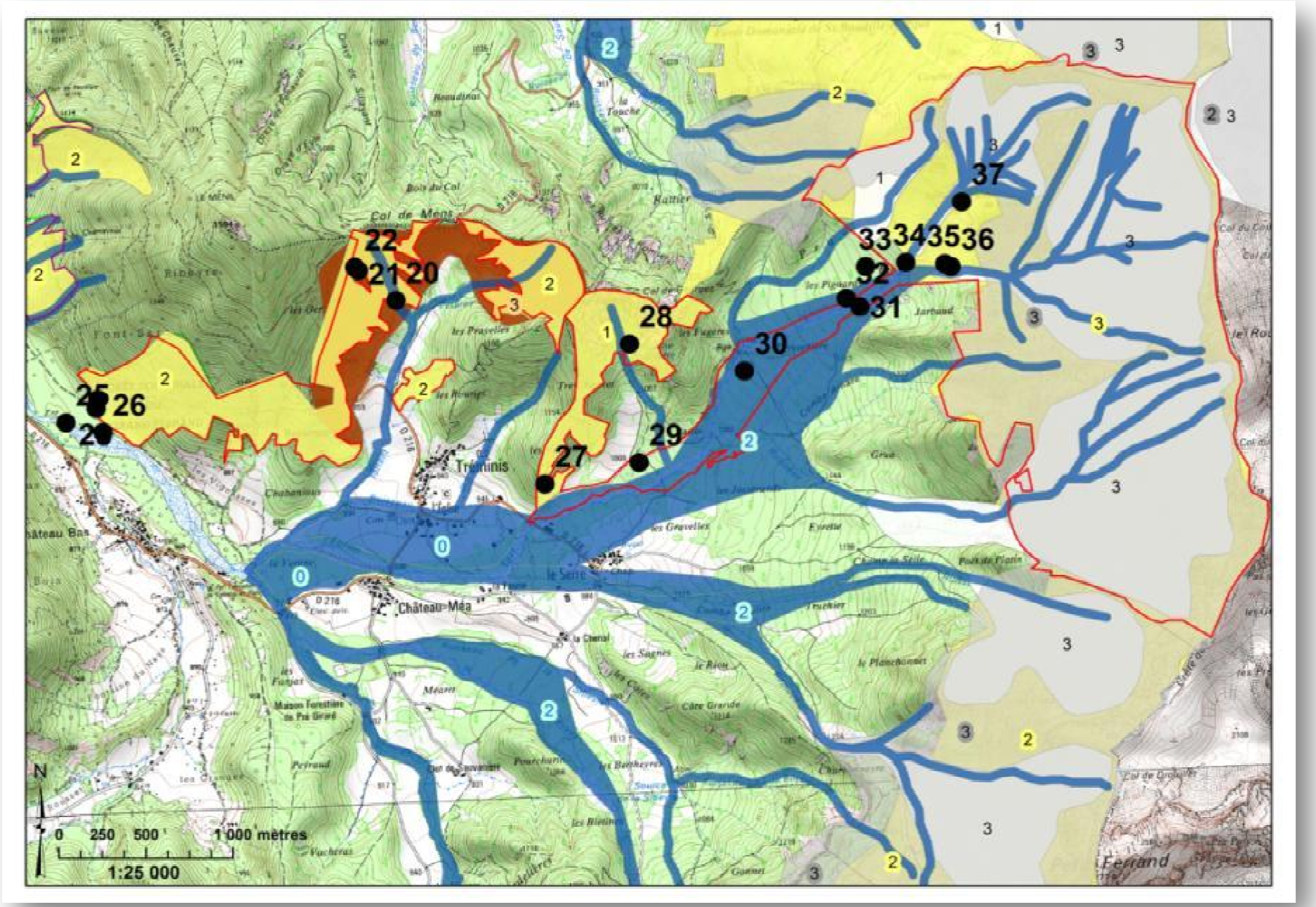
(8) : une strate est prise en compte dès lors que son couvert est d'au moins 3/10 (en 1/10 de recouvrement du sol) = strate non déficitaire au sens du GSM Alpes du nord.
Cette condition doit être appéciée avec une certaine souplesse : c'est la stabilité physique dans le temps qu'on évalue par cet indicateur.

(9) : jeune peuplement dense : à renseigner pour la futaie pas pour le taillis

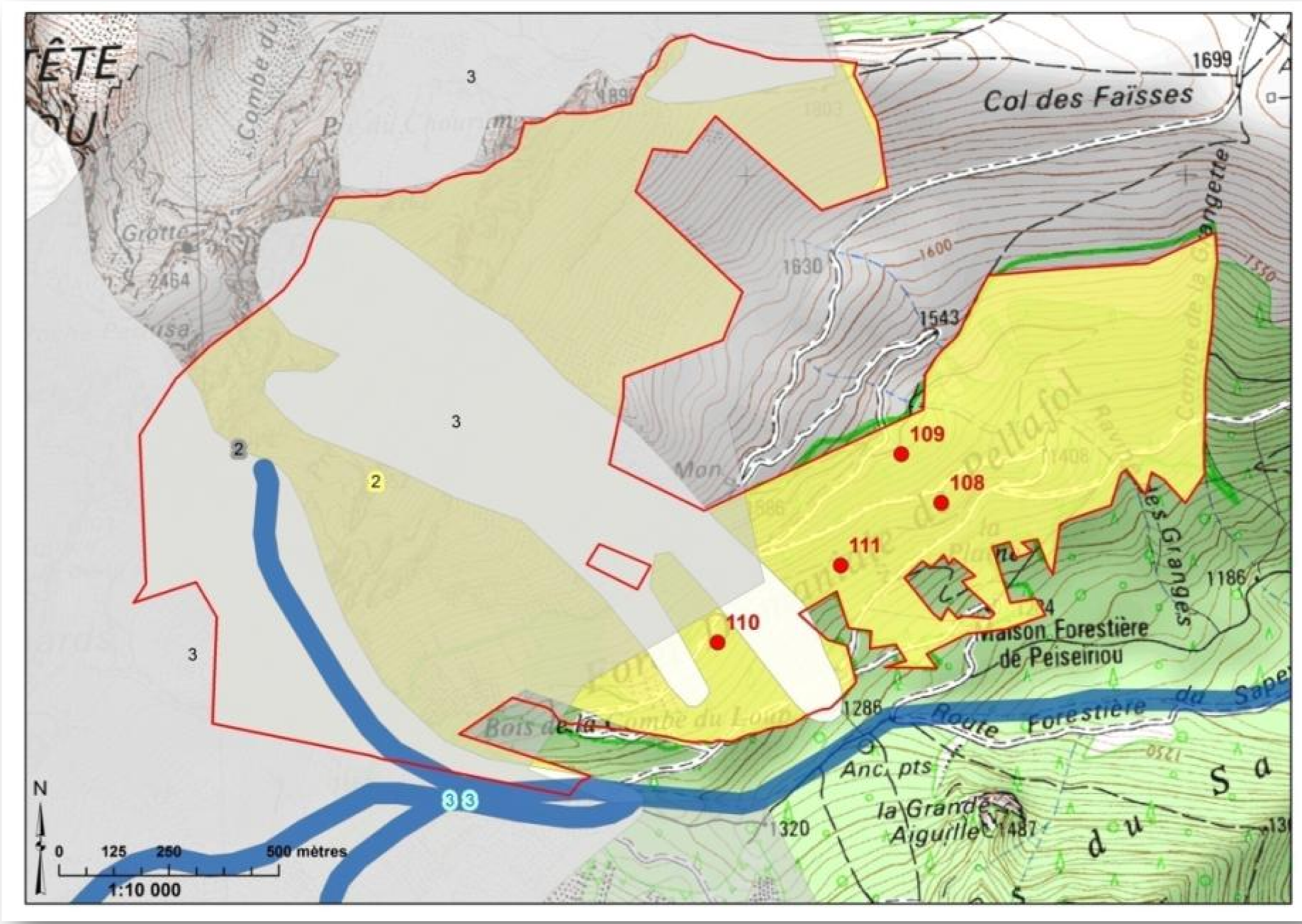
(10) : à renseigner pour tous les polygones situés à l'amont d'un équipement.
Les paravalanches amont ne sont pas pris en compte car expertise uniquement des zones de départ potentiel.

(11) : préciser notamment la nature des équipements filet, merlon, etc ... ainsi que les peuplements particulièrement instables.
Limiter l'usage des observations aux informations importantes.

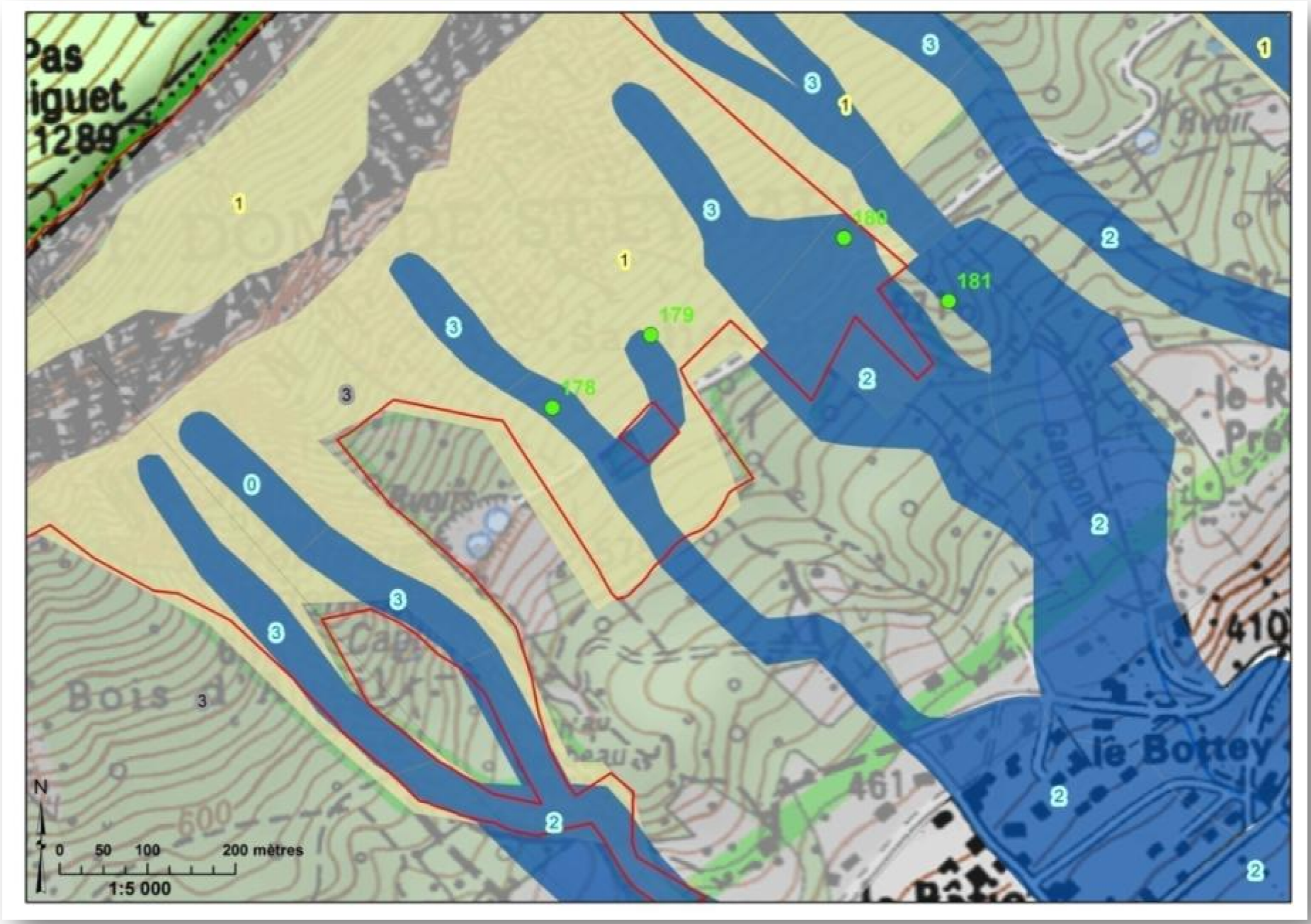
Annexe 5a : Cartographie d'aléas RPP ; division domaniale du Grand Ferrand



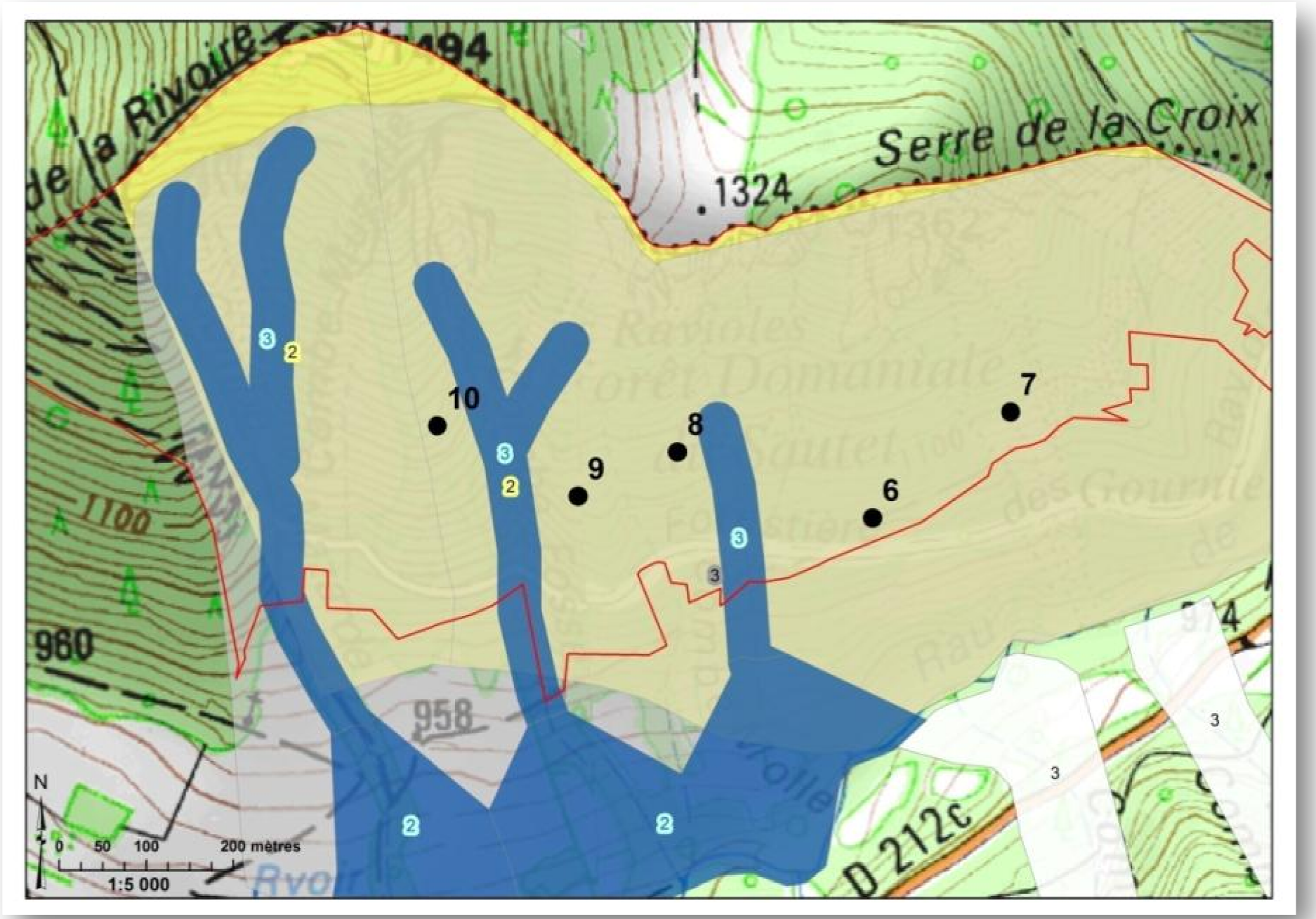
Annexe 5b : Cartographie d'aléas RPP ; division domaniale de Pellafol



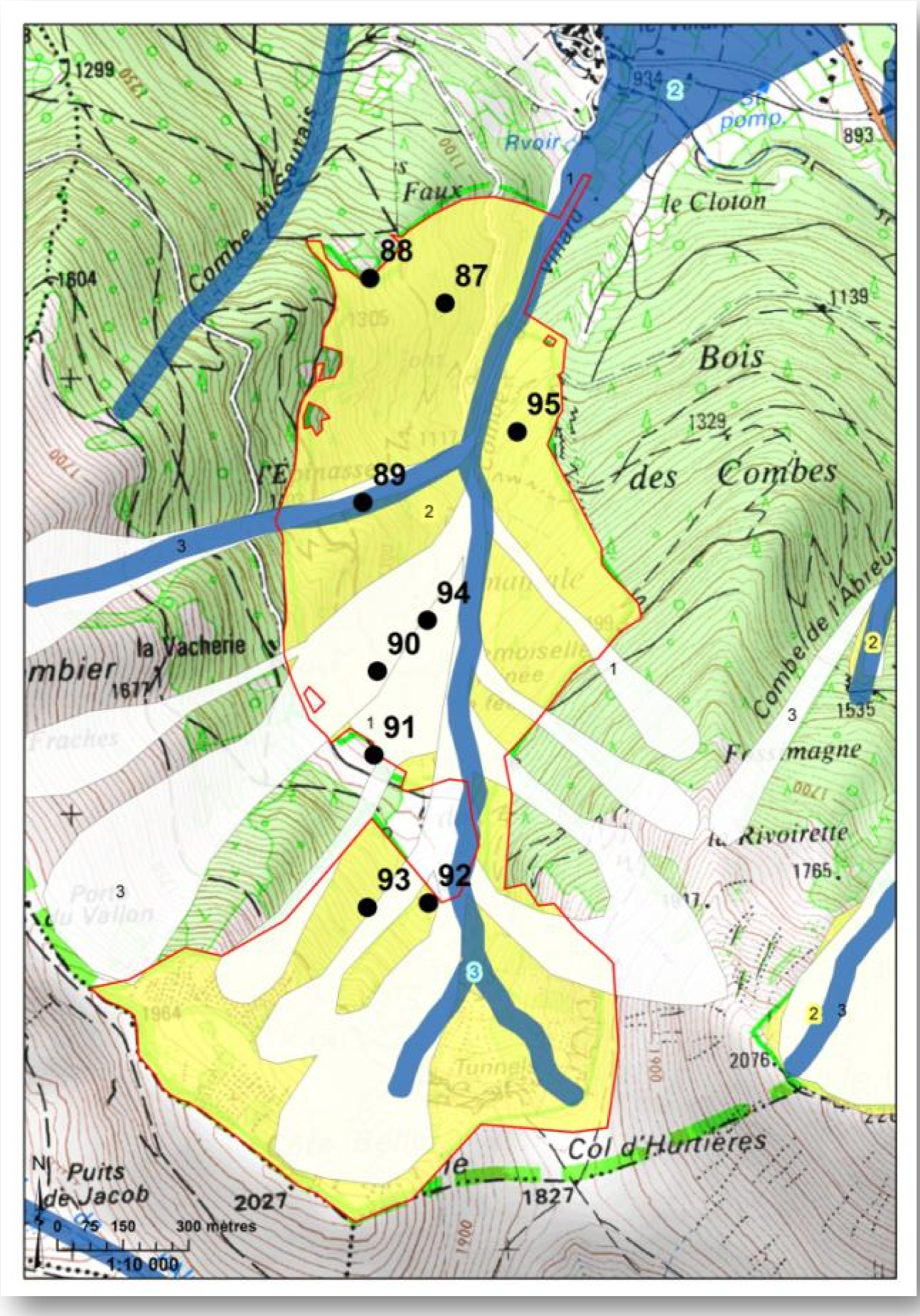
Annexe 5c : Cartographie d'aléas RPP ; division domaniale du Saint-Eynard



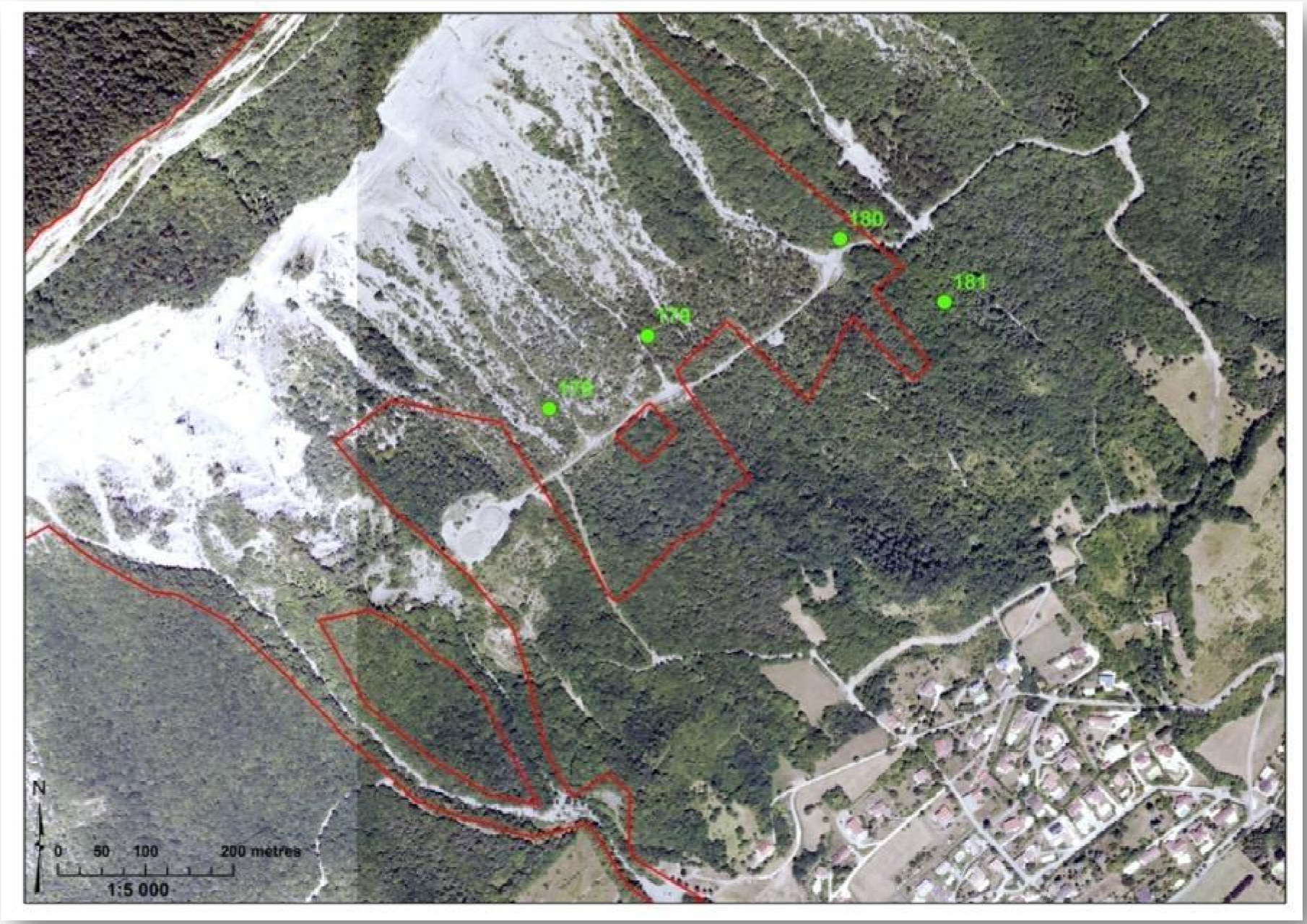
Annexe 5d : Cartographie d'aléas RPP ; division domaniale du Sautet



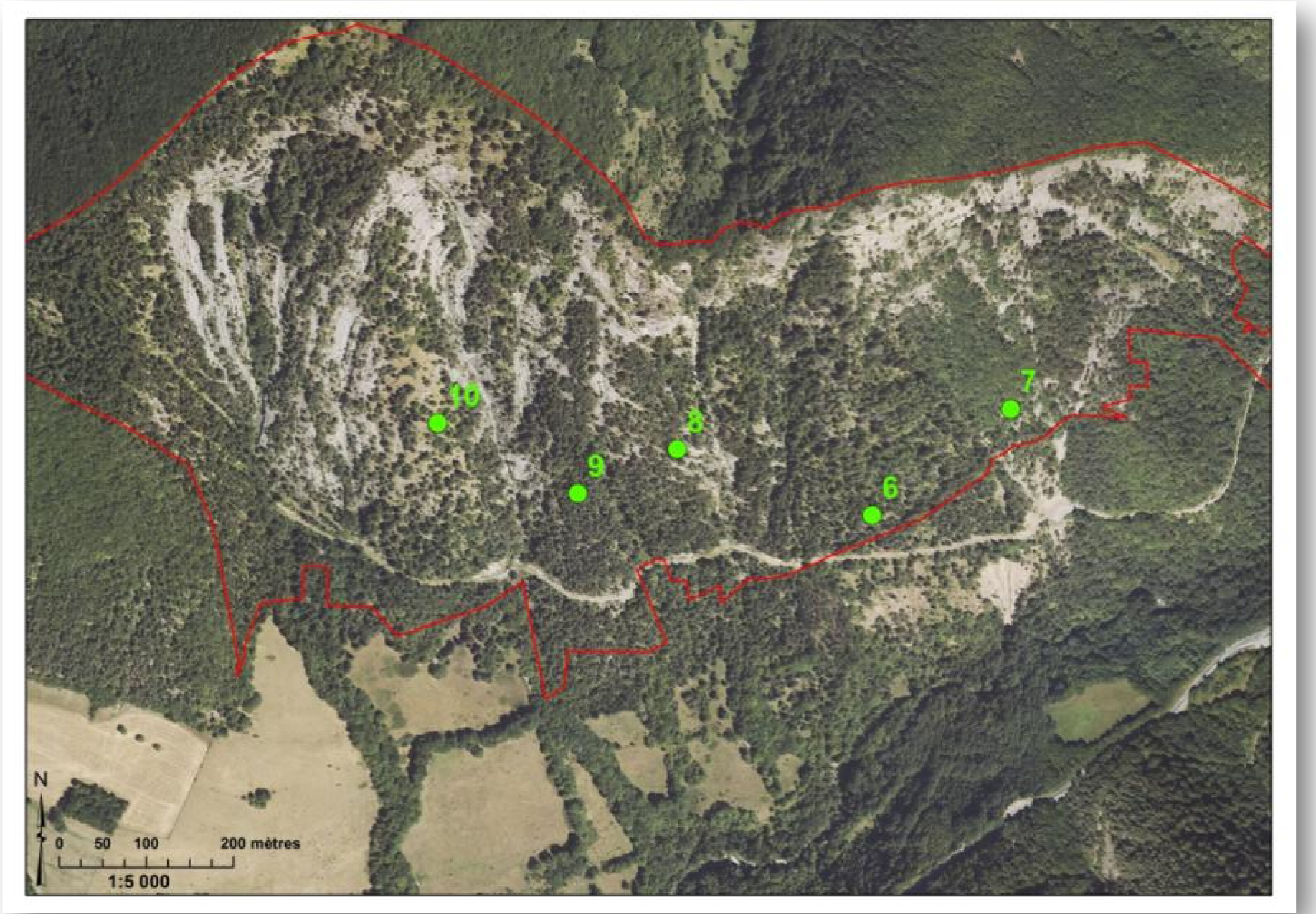
Annexe 5e : Cartographie d'aléas RPP ; division domaniale du Gargas



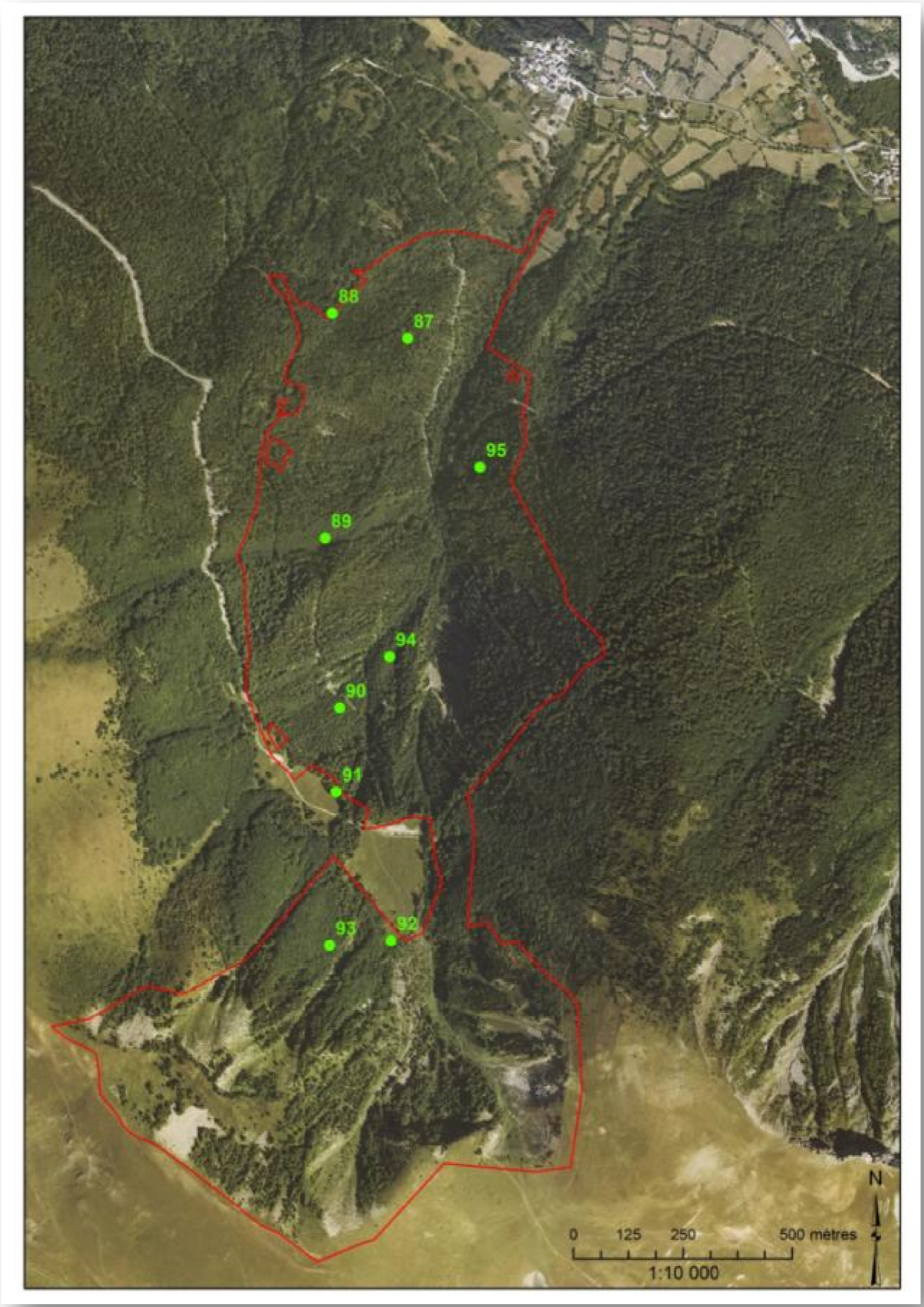
Annexe 6a : Choix de la localisation des points de relevé ; division domaniale du Saint-Eynard



Annexe 6b : Choix de la localisation des points de relevé ; division domaniale du Sautet



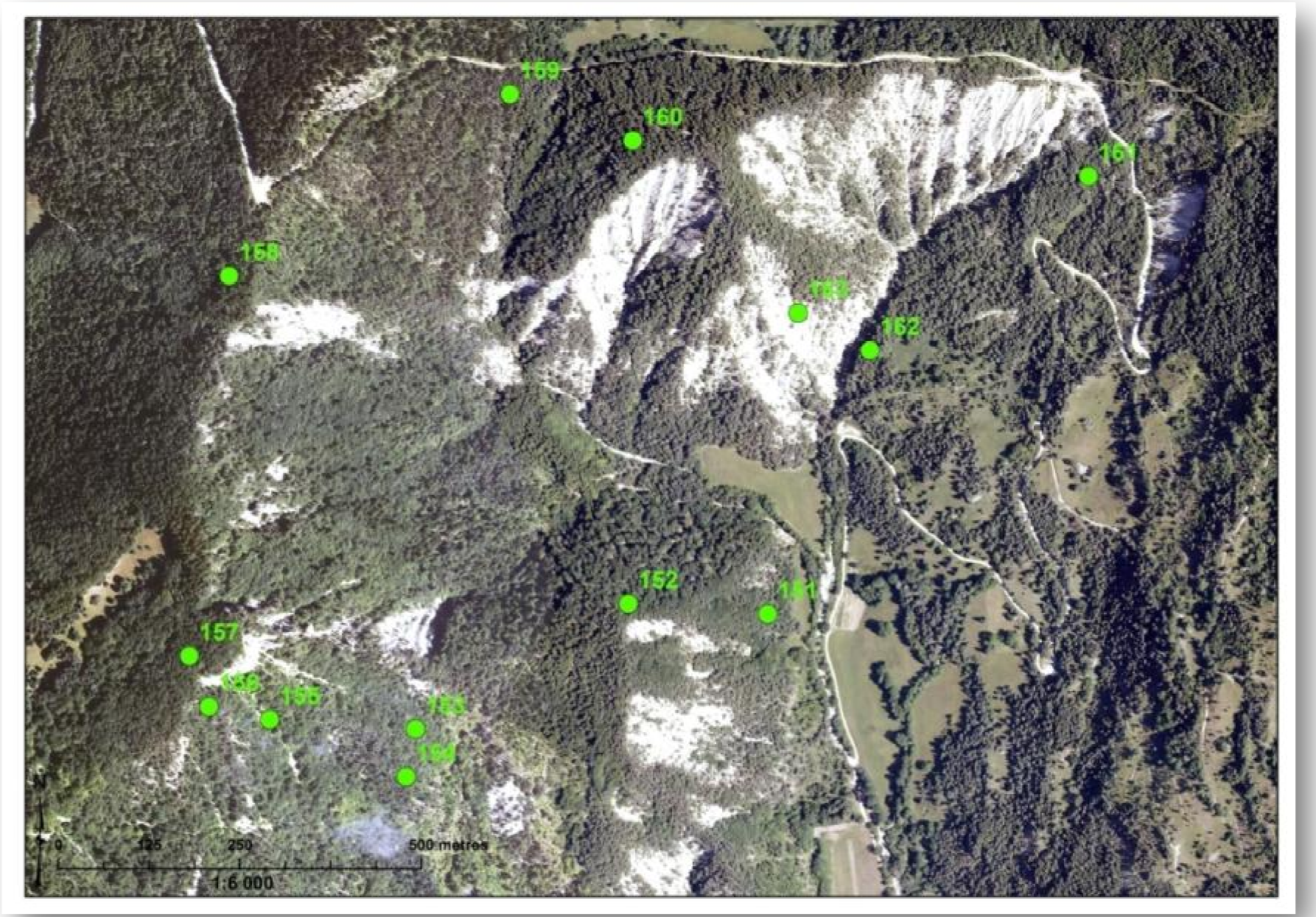
Annexe 6c : Localisation des points de relevé ; division domaniale du Gargas



Annexe 6d : Points de relevé ; FC RTM de Saint-Martin-le-Vinoux



Annexe 6e : Localisation des points de relevé ; division domaniale de Trezanne



Annexe 7a : Fiche de relevé utilisée sur le terrain – recto phénomènes

Nom de la forêt : FD RT Tf du Petit Vey mont

Point de relevé n° 44 **Date :** 27 / 03 / 2012 **Observateur 1 :** Antoine DURAND **et 2 :** Ø

Coordonnées GPS : 44° 52' 44,6" N 5° 34' 11,2" E **Exposition :** 180 °

Relief ☐ convexe ☒ rectiligne ☐ concave

Substratum ☐ facilement altérable *(marne/argile/schiste/sables/moraines peu consolidées)* ☐ moyennement altérable *(calcaire marneux/grès)* ☒ très peu altérable *(calcaire dur/roche cristalline)*

Pente : 29 °

Profondeur sol : 30 cm

Sol forestier ☐ non *préciser* le couvert du sol ☐ nu ☐ herbacé ☐ autre : ☒ peu évolué *(pédogénèse peu avancée) préciser* ☐ éboulis ☒ autre : blx cailloux ☐ évolué *(sans élément grossier en surface, véritable litière forestière)* Ca CO3

Épaisseur humus ☐ épais > 1an *(décomposition litière)* ☒ 1 an / épars

Avalanche **Phénomène** ☐ potentiel ☐ observé *Phénomène uniquement potentiel : s'en tenir là (avalanche possible si suppression boisement)* ☐ < 5ans ☐ 5 à 30 ans ☐ >30ans

Zone fonctionnelle ☐ départ ☐ transit ☐ dépôt

Dimension écoulement *(longueur de la coulée)* ☐ > boisement *(échelle du versant)* ☐ intraforestier majeur *(centaine de m)* ☐ intraforestier mineur *(dizaine de m)*

$H_{houppier}/H_{totale}$ feuillus et mélèze : ..... % résineux décidus : ..... %

Présence abris régénération ☐ oui ☐ non

Boisement ☐ continu *(formation de panneaux neigeux non envisagée)* ☐ trouées fréquentes : ..... x ..... H_0 ☐ autre *(par collectifs, ...)* : .....

Dégâts au boisement liés à la neige ☐ très importants *(jusqu'à destruction)* ☐ supportables *(avenir non compromis)* ☐ minimes ou absents *(troncs peu crossés)*

Commentaires : .....

Écoulement en interaction avec le boisement ☐ oui ☐ non *(transit dans un chenal intraforestier dont le lit n'est pas boisé par exemple)*

Crue torrentielle

Zone fonctionnelle ☐ bassin de réception ☐ non boisé ☐ boisé ☐ cône de déjection ☐ non boisé ☐ boisé → ☐ torrent chenalisé ☐ torrent non chenalisé

☐ zone intermédiaire de concentration écoulement *(chenal/grosse ravine)* berges → ☐ stable ☐ instable

Largeur du lit mineur (chenal actif) : ..... m **Risque de chablis** ☐ oui ☐ non

Écoulement en forêt ☐ improbable ☐ probable ☐ avéré

Transport solide ☐ oui ☐ non

Taille débris ☐ 0 – 0,5 m^3 ☐ 2 – 5 m^3 ☐ 0,5 – 2 m^3 ☐ > 5 m^3

Ancienneté dépôt ☐ < 5 ans ☐ 5 à 30 ans ☐ >30 ans ☐ uniquement dans le lit ☐ possible sur les berges ☐ improbable sur les berges

Commentaires : .....

Ouvrage dans le lit du torrent *(pierre sèche, maçonnée, béton, banquettes grillagées)* ☐ aucun visible ☐ présents : .....

Chute de blocs **Zone fonctionnelle** ☐ dépôt ☒ transit ☐ départ *Si départ visible, préciser :* ..... H_{chute} **max blocs :** 2 m

Commentaires : Risque de remise en mvt de petits blocs suite à des chablis

Manifestation ☐ < 5 ans ☒ 5 à 30 ans ☐ >30 ans

Blocs rencontrés ☒ 0 – 0,5 m^3 ☐ 2 - 5 m^3 ☐ 0,5 – 2 m^3 ☐ > 5 m^3

Présence de couloirs préférentiels ☒ oui ☐ non **zone accélération** ☐ oui ☒ non **zone décélération** ☒ oui ☐ non

Continuité forêt *(250m sans grosse ouverture, obstacles)* ☒ oui ☐ non *si non, préciser :* .....

Érosion **Nature** ☒ érosion diffuse ☒ ravinement **État** ☒ éteint ☐ partiellement actif ☐ actif

Présence de ravines ☐ non ☐ oui → **Largeur** *(crête à crête)* ..... m **Profondeur** ..... m

Évolution du phénomène *(hors événement majeur)* ☐ aggravation ☒ stabilité ☐ résorption

Couvert crête ..... % ☐ arboré ☐ arbustif ☐ herbacé

Couvert lit ..... % ☐ arboré ☐ arbustif ☐ herbacé

Végétation fond du lit ☐ arborée ☐ arbustive ☐ herbacée ☐ nu

Fond du lit ☐ roche nue ☐ éboulis ☐ plus ☐ moins évolué que sol alentour ☐ aussi

Commentaires : .....

Risque de reprise d'érosion si suppression du couvert ☒ oui ☐ non

Commentaires ou schéma : .....

Sol peu évolué -

Bcp petits cailloux calcaire

Annexe 7b : Fiche de relevé utilisée sur le terrain – verso peuplement

Structuration du peuplement : Hauteur moyenne : 26 m Structure : FIR (FR) T TSF autre : .....

Trouées : ☒ absentes ☐ éparses ☐ abondantes | ☐ naturelles ☐ coupes de bois

Dimensions trouées : ..... *(travers)* x ..... *(pente)* **Ho**

Régénération dans les trouées : ☐ absente ☐ présente → ☐ pérenne ☐ avenir non assuré

Couvert régénération dans les trouées : ..... %

Description trouées : .....

Couvert	strate 1	strate 2	strate 3	strate 4
Déficitaire <20%		X	X	X
Moyen 20 à 45 %				
Prépondérant >45 %	X			

G (m^2/ha) *encoche selon pente*	Pin noir	Tilleul	.....	.....	.....	.....
PB (17,5 - 27,5 cm)	5	1				
BM (27,5 - 42,5cm)	18					
GB (42,5 - 62,5 cm)	15					
TGB (> 62,5 cm)						

G_{total} = 43 m^2/ha

Densité de tiges cercle rayon

r = 10 à 15m selon la pente

essences	Gaule >3m dph<7,5 nb	Perche dph>7,5 nb	Précomptable (dhp>17,5cm) Sain nb	Précomptable (dhp>17,5cm) Blessé, parasité ou mort – Bris de cime, volis, chablis, gui, ... – préciser problème	Précomptable (dhp>17,5cm) Blessé, parasité ou mort nb
Epicéa	18		25		0
Hêtre					
Sapin					
Tilleul					
Erable A.					
Alisier					
Alisier Blc					
.....					

Régénération ☐ présente ☒ absente

stade pousse viable (2/3ans) jusqu'à 3m

(si absence, ne pas remplir ce tableau)

essences	diffuse – estimer le recouvrement du sol en dixièmes, par quart de cercle découpés autour de l'observateur, aussi loin que porte le regard : 1/4	2/4	3/4	4/4	cellules acquises – espacées tous les : 7 à 8m	8 à 15m	plus
.....	... /10	... /10	... /10	... /10			

Commentaires régénération : ..... Trop dense !

Préciser s'il y a urgence à intervenir pour cause d'instabilité du peuplement :

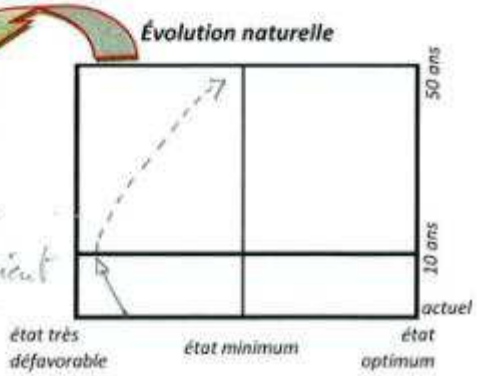
Peuplement de pin noir trop serré

Risques de chablis accrus !

Observations : *soucis liés à l'abroutissement, importance de la présence du buis, autre :*

L'épicéa, le hêtre et le sapin devraient prendre la suite du peuplement

Évolution naturelle



Annexe 8a : Présentation des 30 relevés les plus représentatifs selon l'axe F1

				Valeur des variables				
Relevé	**Coordonnées factorielles selon F1**	**Contribution du relevé à F1**	**Cos² du relevé pour F1**	**Gtot**	**Dprec**	**GBM**	**Hmoy**	**DGaPe**
18	5,62	3,82	42,70	**63**	**40**	**21**	**22**	**19**
62	5,07	3,10	34,54	**54**	**28**	**48**	**25**	**24**
79	4,71	2,68	25,63	**46**	**27**	**33**	**30**	**1**
20	4,02	1,95	43,54	**51**	**29**	**36**	**22**	**7**
78	4,01	1,94	8,62	**47**	**41**	**0**	**20**	**3**
53	4,00	1,94	50,63	**51**	**28**	**31**	**22**	**3**
42	3,93	1,87	28,34	**43**	**25**	**18**	**27**	**19**
28	3,77	1,71	53,11	**46**	**28**	**32**	**24**	**16**
157	3,76	1,71	42,81	**46**	**33**	**27**	**25**	**19**
41	3,73	1,68	58,30	**44**	**31**	**23**	**25**	**9**
93	3,66	1,62	20,48	**49**	**41**	**17**	**18**	**13**
61	3,33	1,34	44,43	**44**	**25**	**22**	**23**	**8**
81	3,25	1,27	20,71	**40**	**28**	**23**	**22**	**0**
153	3,15	1,20	22,36	**42**	**32**	**14**	**25**	**10**
88	3,05	1,13	24,99	**37**	**25**	**20**	**28**	**7**
89	-3,15	1,20	35,00	**6**	**6**	**0**	**14**	**170**
117	-3,21	1,24	60,06	**0**	**0**	**0**	**4**	**7**
59	-3,24	1,27	27,73	**5**	**5**	**0**	**7**	**59**
168	-3,31	1,32	42,70	**0**	**0**	**0**	**2**	**4**
48	-3,33	1,34	50,80	**2**	**2**	**0**	**7**	**80**
163	-3,34	1,35	56,97	**0**	**0**	**0**	**1**	**2**
173	-3,38	1,38	56,18	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
187	-3,38	1,38	57,56	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
25	-3,46	1,45	70,61	**0**	**0**	**0**	**4**	**37**
92	-3,68	1,63	73,16	**0**	**0**	**0**	**5**	**70**
94	-3,87	1,81	61,12	**0**	**0**	**0**	**6**	**100**
82	-3,89	1,83	20,14	**2**	**1**	**1**	**5**	**65**
129	-4,32	2,25	59,56	**0**	**0**	**0**	**4**	**140**
120	-4,33	2,27	47,60	**2**	**2**	**0**	**5**	**180**
31	-5,01	3,03	41,15	**0**	**0**	**0**	**5**	**230**
minimum	**-5,01**	**0,00**	**0,00**	**0**	**0**	**0**	**0,0**	**0**
maximum	**5,62**	**3,82**	**73,16**	**63**	**41**	**48**	**30,0**	**230**
moyenne	**0,00**	**0,53**	**18,76**	**22,0**	**14,2**	**8,8**	**15,9**	**24,8**
écart-type	**2,10**	**0,67**	**20,06**	**12,93**	**8,94**	**8,51**	**6,77**	**30,62**

Valeur apparaissant en rouge : supérieures à la moyenne de l'ensemble de la série des données de la variable

Valeur apparaissant en vert : inférieures à la moyenne de l'ensemble de la série des données de la variable

Annexe 8b : Présentation des 30 relevés les plus représentatifs selon l'axe F2

				Variable
Relevé	**Coordonnées factorielles selon F2**	**Contribution du relevé à F2**	**Cos² du relevé pour F2**	**DivEss**
127	5,95	8,37	38,85	**6**
174	5,13	6,21	24,73	**4**
181	4,98	5,88	13,55	**3**
176	4,72	5,26	26,67	**4**
98	4,26	4,30	9,08	**4**
128	4,25	4,28	21,56	**4**
183	4,17	4,12	27,24	**3**
126	3,94	3,68	24,54	**6**
138	3,54	2,96	23,22	**5**
72	3,03	2,17	7,66	**3**
75	3,01	2,14	5,58	**6**
186	2,93	2,04	20,97	**4**
121	2,46	1,43	21,67	**5**
172	2,38	1,34	8,55	**3**
67	2,21	1,15	13,65	**4**
117	-1,54	0,56	13,85	**0**
25	-1,58	0,59	14,74	**0**
42	-1,59	0,60	4,62	**2**
168	-1,61	0,61	10,12	**0**
91	-1,65	0,64	7,80	**2**
92	-1,66	0,65	14,85	**0**
146	-1,67	0,66	6,89	**1**
20	-1,70	0,68	7,77	**1**
150	-1,75	0,72	6,87	**1**
129	-1,75	0,73	9,82	**0**
94	-1,75	0,73	12,53	**0**
31	-1,92	0,87	6,06	**0**
10	-1,97	0,92	15,14	**1**
79	-2,10	1,04	5,08	**1**
62	-2,19	1,14	6,45	**2**

minimum	**-2,19**	**0,00**	**0,00**	**0**
maximum	**5,95**	**8,37**	**38,85**	**6**
moyenne	**0,00**	**0,53**	**6,68**	**2,3**
écart-type	**1,50**	**1,12**	**6,69**	**1,33**

Valeur apparaissant en rouge : supérieures à la moyenne de l'ensemble de la série des données de la variable

Valeur apparaissant en vert : inférieures à la moyenne de l'ensemble de la série des données de la variable

Annexe 8c : Présentation des 30 relevés les plus représentatifs selon l'axe F3

				Variables	
Relevé	**Coordonnées factorielles selon F3**	**Contribution du relevé à F3**	**Cos² du relevé pour F3**	**GPB**	**GGB**
78	4,00	4,06	8,59	**47**	**0**
181	3,54	3,17	6,82	**33**	**0**
172	3,23	2,64	15,75	**16**	**0**
93	3,23	2,63	15,91	**32**	**0**
72	3,19	2,58	8,49	**12**	**0**
70	2,93	2,17	16,83	**22**	**0**
159	2,52	1,61	24,24	**31**	**0**
18	2,36	1,41	7,53	**41**	**1**
27	2,20	1,23	24,35	**32**	**0**
183	2,16	1,19	7,33	**20**	**0**
63	2,05	1,07	20,25	**28**	**0**
167	2,00	1,02	8,06	**12**	**0**
46	1,93	0,95	12,54	**24**	**1**
153	1,88	0,89	7,96	**24**	**4**
161	1,81	0,83	23,40	**26**	**0**
128	-2,15	1,17	5,49	**12**	**1**
100	-2,17	1,19	8,54	**4**	**0**
42	-2,23	1,26	9,10	**6**	**19**
123	-2,27	1,30	10,91	**5**	**10**
99	-2,47	1,55	7,51	**8**	**0**
79	-2,62	1,73	7,92	**8**	**5**
138	-2,68	1,82	13,36	**7**	**0**
62	-2,69	1,84	9,75	**3**	**3**
148	-2,73	1,89	29,88	**5**	**13**
91	-2,77	1,95	22,15	**5**	**10**
60	-3,68	3,43	11,94	**13**	**0**
135	-3,86	3,77	18,10	**0**	**24**
84	-3,92	3,89	11,08	**10**	**0**
98	-4,54	5,21	10,28	**10**	**4**
139	-5,57	7,85	37,93	**4**	**24**

minimum	**-5,57**	**0,00**	**0,00**	**0**	**0**
maximum	**4,00**	**7,85**	**37,93**	**47**	**24**
moyenne	**0,00**	**0,53**	**6,48**	**11,3**	**1,9**
écart-type	**1,45**	**0,99**	**7,16**	**7,90**	**3,87**

Valeur apparaissant en rouge : supérieures à la moyenne de l'ensemble de la série des données de la variable

Valeur apparaissant en vert : inférieures à la moyenne de l'ensemble de la série des données de la variable

Annexe 8d : Présentation des 30 relevés les plus représentatifs selon l'axe F4

				Variable
Relevé	**Coordonnées factorielles selon F4**	**Contribution du relevé à F4**	**Cos² du relevé pour F4**	**Dmort**
135	3,22	2,95	12,59	**2**
72	3,02	2,60	7,61	**0**
134	2,24	1,43	10,78	**3**
172	1,94	1,07	5,66	**0**
150	1,76	0,88	6,97	**0**
160	1,73	0,85	6,39	**0**
148	1,71	0,84	11,76	**1**
171	1,70	0,82	2,77	**1**
158	1,67	0,80	10,76	**0**
62	1,65	0,78	3,66	**4**
126	1,64	0,77	4,24	**0**
133	1,63	0,76	7,58	**2**
183	1,58	0,71	3,92	**0**
167	1,52	0,66	4,64	**0**
88	1,47	0,62	5,82	**0**
159	-1,58	0,71	9,54	**0**
2	-1,66	0,78	16,02	**13**
59	-1,67	0,79	7,32	**0**
82	-1,82	0,94	4,40	**0**
81	-1,84	0,96	6,64	**6**
80	-2,10	1,25	14,06	**10**
77	-2,14	1,30	16,56	**12**
57	-2,29	1,49	23,85	**9**
18	-3,45	3,40	16,11	**17**
100	-4,23	5,09	32,40	**25**
99	-4,45	5,64	24,34	**9**
98	-4,53	5,85	10,25	**6**
84	-5,37	8,23	20,87	**8**
60	-6,23	11,04	34,18	**20**
78	-6,61	12,43	23,39	**17**

minimum	**-6,61**	**0,00**	**0,00**	**0**
maximum	**3,22**	**12,43**	**34,18**	**25**
moyenne	**0,00**	**0,53**	**4,79**	**2,5**
écart-type	**1,37**	**1,53**	**6,11**	**3,92**

Valeur apparaissant en rouge : supérieures à la moyenne de l'ensemble de la série des données de la variable

Valeur apparaissant en vert : inférieures à la moyenne de l'ensemble de la série des données de la variable

Annexe 9a : Boisements 0 – peuplements clairs et ouverts

Types L ou C du *GSM Alpes du Nord*

Description des boisements

Roche mère : **argile, marne, schiste, formations peu consolidées**
Profondeur de sol : **importante**
Litière forestière : **mince, discontinue ou absente. Couvert herbacé souvent très important.**

Hauteur moyenne : **15 à 20 m** Surface terrière : **5 à 15 m².ha^{-1}, dominance PB**
Densité de gaules et perches : **200 à 450 tiges.ha^{-1}** **25 % ≤ PB ≤ 70 %**
Densité de précomptables : **150 à 350 tiges.ha^{-1}** **20 % ≤ BM ≤ 50 %**
Densité d'arbres morts : **20 à 250 tiges.ha^{-1}** **GB rares**

La modulation de ces critères dendrométriques est avant tout fonction des conditions du milieu.





Types de boisement

Les exemples recensés de ces types de peuplements étaient liés à des terrains instables. Ils pourraient aussi dans l'absolu être le résultat de coupes de décapitalisation forte.

L'humidité importante des sols correspondant à ces formations, ainsi que l'importance de la strate herbacée, rendent difficile l'installation de la régénération.

Dans tous les cas, aucune intervention de récolte visant à prélever du bois n'est envisageable à moyen terme.

Prise en compte des phénomènes naturels et préconisations de gestion

Glissement de terrain : Il s'agit du phénomène exclusivement rencontré pour ces de peuplements. Souvent de dimensions supérieures à une maîtrise possible par la forêt, il ne peut qu'être conseillé de faire au mieux afin de maintenir, voir développer le couvert arboré.

Si une absence de régénération était constatée sur une large surface, afin de ne pas aggraver les problèmes de glissement, des plantations par petits bouquets, dans les sites les moins inappropriés, pourraient être envisagées. Elles devraient être réalisées à l'aide d'essences tolérant à la fois l'engorgement et une certaine sécheresse estivale. Le pin sylvestre pourrait convenir, ainsi que le chêne pubescent, voire le chêne pédonculé si la fraîcheur de la station le permet.

Érosion : Il conviendrait de maintenir un niveau important de recouvrement du sol par les strates arborées, arbustives et herbacées (**≥ 70%**). Dans le cas présent, la strate herbacée joue un rôle majeur dans la prévention du phénomène. Le phénomène d'érosion ne pose dans ce cas pas de problèmes.

Chute de blocs : Maintenir une densité de tiges précomptables d'**au moins 350 tiges.ha^{-1}** et si possible un niveau de capital d'au moins **20 à 25 m².ha^{-1}**. Ces boisements ne peuvent, en l'état, jouer un rôle satisfaisant contre les chutes de blocs. Un enrichissement en plantations serait à envisager si la simultanéité du phénomène et des enjeux le justifiait.

Annexe 9b : Boisements 1a – peuplements chétifs

Type CH du *GSM Alpes du Nord*

Description des boisements rencontrés

Altitude : **500 à 1700 m**
Roche mère : **toutes natures**
Profondeur de sol : **superficiel, 15 cm en moyenne, ≤ 40 cm**
Litière forestière : **souvent absente, sol peu évolué, pas de véritable ambiance forestière le plus souvent**

Hauteur moyenne **: 6 à 8 m, < 15 m**
Densité de gaules et perches **: 0 à 7500 tiges.ha^{-1}**
Densité de précomptables **: 0 à 250 tiges.ha^{-1}**
Densité d'arbres morts **: 0 à 150 tiges.ha^{-1}**

Surface terrière **: 0 à 10 m².ha^{-1}, dominance PB**
40 % ≤ PB ≤ 100 %
0 % ≤ BM ≤ 50 %

Types de boisements

Deux grandes catégories de peuplements ont été retrouvées majoritairement.

Les gaulis – perchis se développant suite à la survenue d'un phénomène naturel de grande ampleur (éboulement rocheux, avalanche ou crue torrentielle) au cours des décennies précédentes. Les très jeunes taillis entrent dans cette catégorie.

Les peuplements sommitaux de crêtes soumis à des conditions climatiques et pédologiques particulièrement difficiles.





Prise en compte des phénomènes naturels et préconisations de gestion

Crue torrentielle : Les gaulis-perchis d'aulne blanc en berge de torrent constituent l'essentiel des observations. L'ampleur des phénomènes torrentiels en question dépasse largement les dimensions de maîtrise de la forêt. Cependant, les ouvrages présents dans le lit des torrents ont pu conduire à son incision, rendant les débordements en forêt moins fréquents. Ainsi, les formations d'aulne blanc peuvent parfois laisser place à des essences moins pionnières. Si une gestion sylvicole de ces espaces peu productifs était menée, il faudrait veiller à minimiser la quantité de matériaux mobilisables en cas de crue.

Chute de blocs : Pour la plupart, les boisements considérés sont non précomptables, ce qui doit conduire à une grande prudence quand à l'interception des blocs qu'ils assurent. Au vu des densités de tiges parfois très fortes, cette fonction d'interception n'est toutefois pas nulle, surtout pour les pierres et les petits blocs. Peu d'actions sylvicoles à finalité de protection peuvent être proposées dans ces boisements. Des taillis qui arriveraient à un niveau de compétition réel pourraient être éclaircis par prélèvement de cépées entières, en veillant à limiter la taille des trouées à **2 fois la hauteur du peuplement**, à les **espacer** et les **intercaler** dans l'espace. Veiller aux remises en mouvement lors des exploitations.

Avalanche : Présents en bordure de couloir d'avalanche occasionnellement actif, ces gaulis-perchis de bouleau, saule, hêtre et mélèze subissent des perturbations liées au souffle de l'avalanche. Ces formations pionnières présentent parfois de belles régénérations d'épicéa et de hêtre. Il faut veiller au maximum à la stabilité individuelle de ces tiges (houppiers développée jusqu'au sol), ainsi qu'à la perméabilité globale des boisements (collectifs d'arbres), dans le cas où les tiges atteindraient des diamètres PB ou plus, afin de réduire leur sensibilité aux phénomènes avalancheux.

Érosion : Ce phénomène concerne les peuplements sommitaux soumis à rude épreuve climatique et pédologique. Il convient dans l'idéal de maintenir un niveau important de recouvrement du sol par les strates arborées, arbustives et herbacées (**≥ 70%**) afin de limiter l'érosion. Dans les faits, des situations préoccupantes et menacées par l'érosion n'ont été retrouvées que pour de très petites surfaces.

Annexe 9c : Boisements 3a – peuplements très denses de PB à BM à tendance monospécifique

Description des boisements rencontrés

Altitude : **500 à 1800 m**
Roche mère : **toute nature**
Profondeur de sol : **toute profondeur**
Litière forestière : **souvent épaisse, continues et âgée de plusieurs années.**

Hauteur moyenne : **15 à 28 m**
Densité gaules perches : **0 à 950 tiges.ha^{-1}**
Densité précomptable : **600 à 1300 tiges.ha^{-}**
Densité d'arbres morts : **0 à 500 tiges.ha^{-1}**

Surface terrière : **de 35 à 60 m².ha**
10 % ≤ PB ≤ 100 %
0 % ≤ BM ≤ 90 %
0 % ≤ GB ≤ 10 %





Types de boisements

Ces boisements présentent des caractéristiques voisines de celles du type 2b. Leur niveau de capital est toutefois très supérieur.

Seul une distinction par les essences est ici à réaliser, le niveau de capital de ces peuplements étant dans tous les cas à faire diminuer.

Prise en compte des phénomènes naturels et préconisations de gestion

En l'état actuel, vu la surface terrière et la densité de ces boisements, leur efficacité contre l'ensemble des phénomènes naturels considérés est extrêmement importante. Cette efficacité devrait perdurer à court, voire moyen terme.

La survenue d'un événement climatique majeur ou d'un attaque parasitaire sont cependant des risques potentiels préoccupants. Aucune régénération naturelle ne peut raisonnablement être espérée avant plusieurs décennies. Des structures de boisement pérennes sont recherchées pour les peuplements à fonction de protection. Il advient d'enclencher dès aujourd'hui le renouvellement de ce type de peuplement. Attendre ne fait que rapporter la responsabilité.

Il est difficile d'envisager des éclaircies pied à pied. Elles conduiraient à la déstabilisation du peuplement, les tiges étant stables par effet de masse.

Des créations expérimentales de trouées selon diverses modalités ont été réalisées. Il faudra être particulièrement attentif aux enseignement qu'elles apporteront. Les gestionnaires pourront proposer que ce type d'expérimentation soit renouvelé sur des forêt pour lesquelles les réponses à leurs interrogations font défaut.

Annexe 9d : Boisements 2dm – peuplements diversifiés mixtes

pages 91 à 122 *GSM Alpes du Nord*

Description des boisements rencontrés

Altitude : **450 à 1600 m**
Roche mère : **toute nature**
Profondeur de sol : **15 à 80 cm**
Litière forestière : **tout type**

Hauteur moyenne : **15 à 25**
Densité de gaules et perches : **250 à 800 tiges.ha^{-1}**
Densité de précomptables : **350 à 900 tiges.ha^{-1}**
Densité d'arbres morts : **0 à 500 tiges.ha^{-1}**

Surface terrière : **entre 15 et 35 m².ha^{-1}**
20 % ≤ PB ≤ 80 %
20 % ≤ BM ≤ 60 %
0 % ≤ GB ≤ 35 %





Types de boisement et consignes de gestion

Ce type de boisement est le plus efficace et le plus pérenne pour la maîtrise des phénomènes naturels par la forêt.

Ces peuplements correspondent majoritairement à ceux décrits dans le *GSM Alpes du Nord* sous l'appellation « peuplements mélangés de sapin, hêtre et épicéa ».

Ce guide permettra dans la plupart des cas de décrire les peuplements rencontrés et d'élaborer une stratégie de gestion.

Le cas plus rare de boisements à dominance de perches et PB de hêtre, sapin et épicéa, bien développés sous le couvert de GB épars de pin noir, peut également être rencontré. La présence de ces GB, peu concurrentielle, est un véritable atout dans la maîtrise des phénomènes naturels. Si des fonctions de protection compatibles avec le maintien de GB sont assignées à la forêt, il convient de les laisser en place. Leur exploitation sera limitée aux cas où leur densité compromet le bon développement des jeunes tiges. Cela se vérifie pour des surfaces terrières de ces GB supérieures à 15 – 20 m².ha^{-1}. Pour des peuplements de hêtre, tilleuls et érables sous couvert de GB de mélèze, le raisonnement est similaire.

Prise en compte des phénomènes naturels et préconisations de gestion

Crue torrentielle : Veiller à ne pas laisser d'arbres à risque de chablis ou de gros diamètre aux abords directs des berges.

Érosion : Maintenir un niveau de recouvrement du sol, toutes strates confondues, **supérieur à 70%** .

Chute de blocs : Obtenir une surface terrière précomptable d'**au moins 25 m².ha^{-1}**. Obtenir une densité d'individus précomptables d'**au moins 350 tiges.ha^{-1}**. Si le besoin s'en fait sentir des exploitations souches hautes, avec abandon éventuel d'arbres en oblique dans la pente, pourront être envisagées.

Glissement de terrain mineur : Veiller au maintien continu d'un état boisé, favorisant l'évapotranspiration.

Résumé

Ce rapport aborde les fonctions de protection jouées par la forêt contre les phénomènes naturels en montagne ; érosion, avalanches, chutes de blocs, crues torrentielles et glissements de terrain.

Parmi les programmes actuellement consacrés à ce sujet, le renouvellement des peuplements de protection prévoit un état des lieux des boisements des forêts domaniales RTM. Réalisé dans le service RTM du département de l'Isère, mon stage s'inscrit dans le cadre de ce programme.

Une synthèse des connaissances sur les interactions entre forêt et phénomène naturel est d'abord présentée. Une typologie de boisements construite sur la base de relevés en forêt vient ensuite. Chaque peuplement forestier est décrit au moyen d'une fiche de présentation.