



# **Etude du rôle de protection vis-à-vis du risque de chutes de pierres des taillis et propositions d'une sylviculture adaptée : le cas du versant du Saint Eynard**

2009 / 2010

**Auteurs :**  
**Niels Durand,**  
**Frédéric Berger**  
**Nicolas Clouet**  
**CEMAGREF Grenoble**



# Sommaire

<b>Résumé</b> .....	p1
<b>I. Contexte et objectifs de l'étude</b> .....	p1
Définition du taillis .....	p1
Objectifs de l'étude .....	p2
Méthodologie employée .....	p5
<b>II. Présentation du site d'étude</b> .....	p8
Situation géographique .....	p8
Climat .....	p9
Situation géologique .....	p10
Situation pédologique et groupements végétaux .....	p1
<b>III. Présentation des outils utilisés</b> .....	p13
Rockfor <sup>LIN</sup> .....	p13
Rockfor <sup>NET</sup> .....	p16
Rockyfor3D .....	p17
Guide des sylvicultures de montagne (GSM) .....	p23

## **IV. Présentation des résultats** .....p24

**Phase 1** : Caractérisation des propriétés du terrain et du peuplement forestier en place.....p24

**Phase 2** : Evaluation du rôle de protection du peuplement forestier dans son état actuel.....p36

**Phase 3** : Evaluation de l'impact des coupes par trouées sur la capacité de protection du peuplement forestier.....p43

**Phase 4** : Etude de la dynamique de végétation après coupe (prémices de l'étude).....p60

## **V. Conclusion** .....p65

### **Annexes**

- **Annexe 1 : Cartes agrandies**
- **Annexe 2 : Extraits du Guide des sylvicultures de montagne**

## Table des Figures :

**Figure 1** : Fiche de relevés de terrain

**Figure 2** : Utilitaire visuel pour l'aide à la détermination des classe Rg10, 20 et 70%

**Figure 3** : Localisation du site d'étude

**Figure 4** : Coupe géologique de la chartreuse méridionale

**Figure 5** : Vue géologique de la falaise supérieure du Saint Eynard

**Figure 6** : Présentation schématique de la démarche méthodologique des phases 1 à 3 de l'étude

**Figure 7** : Représentation schématique du principe de la ligne d'énergie et de la formule pour déterminer l'angle  $\beta$

**Figure 8** : Valeurs de l'angle  $\beta$  en fonction de la rugosité du sol et de la dimension des projectiles

**Figure 9** : Expression cartographique des seuils de ligne d'énergie utilisés par le Cemagref

**Figure 10** : Représentation schématique du modèle Rockyfor3D

**Figure 11** : Présentation du dispositif expérimental d'impact d'une sphère de béton sur un brin de taillis de 3m de haut prélevé en forêt et exemples d'images réalisées avec une caméra à prise de vues rapides

**Figure 12** : Présentation du dispositif expérimental in situ d'impact d'une sphère de granit sur un brin de taillis et exemples d'images réalisées avec une caméra à prise de vues rapides

**Figure 13** : Données expérimentales et représentation graphique du modèle de calcul de l'énergie maximale dissipable par un arbre en fonction de son diamètre. Les données sont exprimées en utilisant comme essence de référence le sapin.

**Figure 15** : Représentations en 3 dimensions du Modèle Numérique de Terrain Lidar au pas de 1m

**Figure 16** : Représentations en 3 dimensions du Modèle Numérique de Terrain utilisé

**Figure 17** : Chronologie de photographies aériennes du site d'étude

**Figure 18** : Identification des zones colonisées par la forêt entre 1948 et 2007

## Table des Tableaux :

**Tab. 1 :** Résultats de l'analyse par Rockfor<sup>NET</sup> pour des blocs de 0,25 m<sup>3</sup>, 0,5 m<sup>3</sup>, 1 m<sup>3</sup> et 2,5 m<sup>3</sup>

**Tab. 2 :** Résultats de l'analyse par Rockfor<sup>NET</sup> pour les blocs de 0,25 m<sup>3</sup>

**Tab. 3 :** Résultats de l'analyse par Rockfor<sup>NET</sup> pour des blocs de 0,5 m<sup>3</sup>

**Tab. 4 :** Résultats de l'analyse par Rockfor<sup>NET</sup> pour des blocs de 1 m<sup>3</sup>

**Tab. 5 :** Résultats de l'analyse par Rockfor<sup>NET</sup> pour des blocs de 2,5 m<sup>3</sup>

**Tab. 6 :** ARP moyen actuel et ARP moyen selon le volume unitaire des blocs

## Table des Graphiques :

**Graph. 1 :** Représentation des valeurs de l'ARP pour les blocs de 0,25 m<sup>3</sup>, 0,5 m<sup>3</sup>, 1 m<sup>3</sup> et 2,5 m<sup>3</sup> selon les transects

**Graph. 2 :** Représentation des valeurs de l'ARP moyen en fonction du volume du bloc

**Graph. 3 :** Représentation des valeurs de l'ARP avant trouées existantes, actuel et après futures trouées pour les blocs de 0,25 m<sup>3</sup> selon les transects

**Graph. 4 :** Représentation des valeurs de l'ARP avant trouées existantes, actuel et après futures trouées pour les blocs de 0,5 m<sup>3</sup> selon les transects

**Graph. 5 :** Représentation des valeurs de l'ARP avant trouées existantes, actuel et après futures trouées pour les blocs de 1 m<sup>3</sup> selon les transects

**Graph. 6 :** Représentation des valeurs de l'ARP avant trouées existantes, actuel et après futures trouées pour les blocs de 2,5 m<sup>3</sup> selon les transects

**Graph. 7 :** Représentation des différences relatives entre l'ARP après futures trouées et l'ARP actuel selon le volume unitaire des blocs

## Table des cartes :

**Carte 1 :** Localisation de la zone étudiée

**Carte 2 :** Types d'occupation du sol

**Carte 3 :** Localisation des trouées effectuées depuis 1994

**Carte 4** : Localisation des transects et points de relevés

**Carte 5** : Carte des types de peuplements forestiers selon le nombre d'arbre à l'hectare

**Carte 6** : Carte des types de peuplements forestiers selon le diamètre moyen des arbres (mesurés à 1,30m par rapport au sol)

**Carte 7** : Carte des coefficients de restitution normale

**Carte 8** : Carte de la rugosité présente sur 70% (Rg70) de la surface des unités géomorphologique, exprimée en hauteur moyenne des matériaux présents sur 70% de la surface de référence

**Carte 9** : Carte de la rugosité présente sur 20% (Rg20) de la surface des unités géomorphologique, exprimée en hauteur moyenne des matériaux présents sur 20% de la surface de référence

**Carte 10** : Carte de la rugosité présente sur 70% (Rg70) de la surface des unités géomorphologique, exprimée en hauteur moyenne des matériaux présents sur 70% de la surface de référence

**Carte 11** : Carte des pentes générées par le MNT

**Carte 12** : Localisation des zones de falaises (points de départ des blocs)

**Carte 13** : Zones de propagation selon le principe de la ligne d'énergie

**Carte 14** : Enveloppe de propagation maximale obtenue pour le scénario sans prise en compte de la forêt

**Carte 15** : Enveloppe de propagation maximale obtenue pour le scénario avec prise en compte de la forêt

**Carte 16** : Différence des enveloppes de propagation des blocs rocheux entre les simulations avec et sans prise en compte de la forêt

**Carte 17** : Localisation des futures trouées proposées par l'ONF

**Carte 18** : Analyse cartographique de l'emplacement des futures trouées possibles, à choisir et impossibles selon les recommandations du GSM

**Carte 19** : Localisation des zones où des trouées supplémentaires sont envisageables après réalisation des trouées initialement programmées et implantées selon les recommandations du GSM

**Carte 20** : Localisation des futures trouées possibles selon les recommandations du GSM

**Carte 21** : Emprise de la forêt sans prendre en compte les trouées effectuées depuis 1994

**Carte 22** : Emprise de la forêt dans son état actuel

**Carte 23:** Emprise de la forêt en prenant en compte les futures trouées proposées

**Carte 24:** Energie cinétique maximale des blocs pour le scénario avec prise en compte de la forêt avant les trouées existantes (scénario 1)

**Carte 25 :** Energie cinétique maximale des blocs pour le scénario avec prise en compte de la forêt dans son état actuel (scénario 2)

**Carte 26 :** Energie cinétique maximale des blocs pour le scénario avec prise en compte de la forêt après les futures trouées proposées (scénario 3)

## Résumé

Dans le domaine de l'ingénierie écologique pare-pierre, il n'existe à ce jour aucune référence scientifique pour la gestion des taillis à fonction de protection. Or compte tenu de la déprise agricole et de la dynamique naturelle de ce type de peuplement sur les versants, ceux-ci représentent une surface non négligeable de l'occupation des sols (25 % de la surface forestière de taillis en Isère, données IFN 1998). A travers le cas concret des taillis présents sur site du Saint Eynard, cette étude a eu pour vocation de proposer et de formaliser une sylviculture permettant de garantir la pérennisation du rôle de protection de ce type de peuplement forestier. Le rapport de cette étude présente donc les premiers essais de caractérisation, avec des outils de modélisations numériques, du rôle de protection des taillis du Saint Eynard vis-à-vis des chutes de pierres et d'évaluation de l'impact des coupes effectuées dans ces peuplements sur leur capacité de protection.

## I. Contexte et objectifs de l'étude

### • Définition du taillis

Le taillis est un : Peuplement forestier composés d'arbres issus de rejets de souche ou de racine dont la perpétuation est obtenue par une coupe rase avec une révolution généralement de courte durée.

En fait le vocable taillis regroupe trois types de peuplements qui sont définis par leur mode de gestion :

- taillis simple : on coupe les rejets régulièrement (l'ensemble des rejets issus d'une souche s'appelle une cépée), ce qui produit des arbres de petites dimensions (hauteur et diamètre), utilisable comme bois de feu ou piquets, utilisé principalement aujourd'hui pour le chauffage, mais qui alimentait autrefois des industries comme la verrerie, la porcelaine et la sidérurgie. Les brins peuvent aussi provenir de rejet à partir de racine appelé alors drageon.
- taillis sous futaie : c'est une forêt comprenant deux étages distinctes l'un exploité principalement en taillis, et l'autre fournir aussi du bois d'œuvre, on laisse venir des arbres de franc-pied, c'est-à-dire issus de semis, d'âges divers. L'avantage de ce type de traitement est que les arbres de franc-pied subissent un élagage naturel par les brins de taillis, ce qui permet d'obtenir des fûts nets de branches. De plus il permet d'étaler dans le temps le revenu des coupes.
- taillis fureté : on ne prélève qu'un nombre limité de brins par cépée à chaque rotation. Le diamètre moyen des brins coupés est supérieur à celui obtenu avec le taillis simple. Compte tenu du coût de la main d'œuvre forestière cette sylviculture « fine » est de nos jours proche de l'abandon.



Cette capacité de certaines essences à rejeter de souche ou à drageonner fait que le taillis est le mode de peuplement que l'on rencontre très fréquemment sur les versants régulièrement parcourus par des chutes de pierres.

En effet, les projectiles rocheux en cassant les brins des cépées réalisent un recépage naturel de celle-ci. De plus, ce type de peuplement peut avoir une action de végétation pionnière en colonisant des couloirs et une fois installé dans ceux-ci en permettant le développement de tige de franc-pied qui sont protégés par les cépées situées à l'amont.

Bien souvent, lors d'un abandon de pratique agricole la végétation forestière pionnière qui va recoloniser les terres agricoles va développer une phase d'occupation du sol de type taillis. De plus, la végétation forestière des bas de versants a été essentiellement gérée, de part le passé, en taillis pour des raisons de production durable de bois énergie.

Dans le cadre de cette étude nous ne nous sommes intéressés qu'aux taillis simples, qui est le mode de gestion actuellement majoritaire en France.

- **Objectifs de l'étude**

Dans le domaine de l'ingénierie écologique pare-pierre, il n'existe à ce jour aucune référence scientifique pour la gestion des taillis à fonction de protection. Or compte tenu de la déprise agricole et de la dynamique naturelle de ce type de peuplement sur les versants, ceux-ci représentent une surface non négligeable de l'occupation des sols (25% de la surface forestière de l'Isère est en taillis, donnée IFN 1998). De plus, la montée en puissance du bois-énergie fait que ce type de peuplement dans lequel le sylviculteur peut réaliser des interventions de types coupe à blanc avec une période de rotation courte sera de plus en plus sollicité dans l'avenir. Il convient donc de développer une stratégie de gestion et une sylviculture permettant de garantir en priorité la pérennisation du rôle de protection et, le cas échéant, compatible avec une production de bois-énergie.

La vocation de ce projet a donc été, à partir de l'étude du cas concret des taillis présents sur le versant du Saint Eynard, de proposer et formaliser une méthodologie et des outils d'analyse pour la programmation et la localisation de trouées de régénération en allant jusqu'à leur mise en œuvre sur ce site pilote. Le diagnostic du rôle de protection des taillis et plus généralement des peuplements forestiers vis-à-vis du risque de chutes de pierres, et la formalisation de recommandations sylvicoles permettant d'obtenir une mitigation durable à l'échelle d'un versant, intéressent :

- les services de gestion de l'ONF dans le cadre de la gestion des peuplements forestiers à fonction de protection directe. L'analyse de cette protection s'inscrit actuellement dans le cadre de la réalisation des aménagements forestiers et du bilan patrimonial qui vient d'être initié. Les indicateurs actuellement utilisés, s'ils ont été validés par des travaux scientifiques, n'en restent pas moins trop génériques. Il convenait donc de proposer une caractérisation de la protection offerte entre autre par les taillis en proposant une meilleure prise en compte des

critères exogènes à la forêt (influence : de la hauteur de chute, du volume, de la longueur de bande boisée, de la pente...).

- les services RTM dans le cadre de la gestion des séries RTM et plus généralement dans le cadre de la reconnaissance du rôle de protection des peuplements forestiers dans la politique de prévention des risques naturels.
- les forestiers privés qui bien souvent délaissent le rôle de protection des peuplements forestiers quand les conditions économiques font que l'exploitation de la biomasse forestière est rentable
- les collectivités qui souhaitent optimiser l'action de protection de leur patrimoine forestier.

A partir de la caractérisation du contexte local et des peuplements forestiers des parcelles forestières 4 à 9 de la forêt domaniale du Saint Eynard, nous avons donc :

1. Evaluer le rôle de protection des peuplements forestiers dans leur état actuel.
2. Mener une première étude prospective pour déterminer une sylviculture adaptée à la pérennisation de ce rôle de protection.

Nous avons en réalisant cette étude cherché à répondre à la question «comment améliorer ou pérenniser le rôle de protection qu'a la forêt actuelle ? »

Pour ce faire nous avons procédé à l'évaluation de :

1. l'impact direct des coupes par trouées sur la capacité de protection du peuplement :
2. l'influence directe des coupes réalisées les 15 dernières années
3. l'impact des travaux futurs prévus par l'ONF (dans l'aménagement).
4. la capacité de renouvellement du peuplement et du rôle de protection du peuplement renouvelé : étude de la régénération en place dans les trouées réalisées à des dates différentes. Quelles espèces retrouvent-t-on, vitesse de croissance, densité, influence des dimensions des trouées, recépage ou régénération de franc pied ?

Ce projet a été mené jusqu'à la réalisation effective des premières trouées de régénération et a permis de donner les premiers éléments de réponses à l'ensemble des acteurs forestiers concernés.

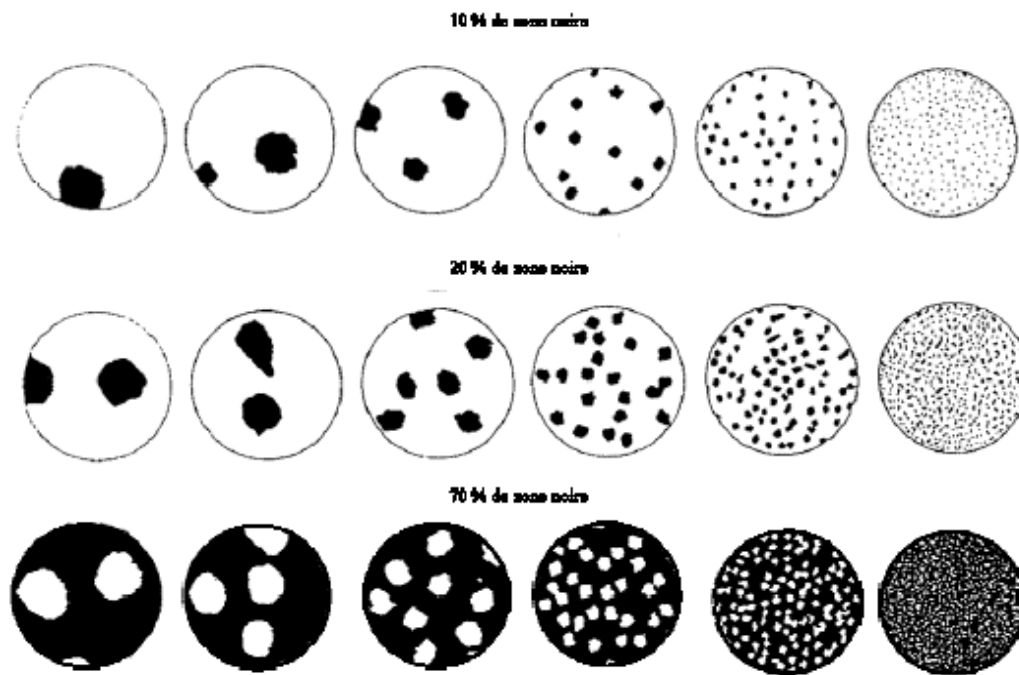
## • **Méthodologie employée**

Phase 1 : Caractérisation des propriétés du terrain (topographie, description des sols) et du peuplement forestier en place

Il s'agit ici de récolter les données nécessaires aux simulations de chute de blocs et de représenter spatialement à l'aide du logiciel de SIG Arcgis les propriétés du terrain et du peuplement forestier actuel.

Pour cela, des relevés ont été effectués de manière systématique sur la totalité de la zone d'étude afin de caractériser les sols en terme de rugosité, la dimension des obstacles présents et les caractéristiques des projectiles (taille, forme, présence ...) en





**Figure 2** : utilitaire visuel pour l'aide à la détermination des classe Rg10, 20 et 70%.

L'intérêt de cette fiche de relevé est double : le premier est que deux opérateurs différents vont décrire le même objet de la même manière et le deuxième est la traçabilité des données utilisées.

Par ailleurs, afin d'évaluer l'impact des coupes sur la capacité de protection de la forêt, il a été nécessaire de recenser toutes les coupes effectuées durant l'aménagement forestier en cours et celles prévues pour la suite de cet aménagement. Pour cela, l'Office Nationale des Forêts (ONF) nous a mis à disposition la localisation des trouées prévues ainsi que le Sommier de la forêt domaniale du Saint Eynard qui récapitule toutes les coupes effectuées depuis 1994. Ces trouées ont été cartographiées afin d'être prises en compte dans la suite de l'étude.

Phase 2 : Evaluation du rôle de protection du peuplement forestier dans son état actuel  
 Nous avons réalisé des simulations de chute de blocs pour deux scénarios différents avec 3 outils travaillant à différentes échelles d'analyse: RockforNET (échelle du peuplement forestier), Rockyfor3D (échelle locale) et RockforLIN (échelle globale). La comparaison des simulations sur terrain nu et avec prise en compte de la forêt a ainsi permis d'évaluer la capacité de protection de la forêt actuelle. Les données d'entrée pour les simulations sont celles qui ont été acquises et spatialisées lors de la phase 1 (sols et forêt).

Phase 3 : Evaluation de l'impact direct des coupes par trouées sur la capacité de protection du peuplement.

Comme pour la phase 2, nous avons effectué des simulations de chutes de blocs à l'aide des logiciels RockforNET et Rockyfor3D selon plusieurs scénarios :

- Sans prise en compte des trouées existantes avec RockforNET et Rockyfor3D (représente le peuplement avant les travaux recensés depuis 1994).
- Avec prise en compte des trouées effectuées depuis 1994 et des trouées prévues avec RockforNET et Rockyfor3D (représente la forêt après les travaux prévus par l'ONF). Les 120 trouées proposées par l'ONF ont été auparavant sélectionnées selon les recommandations du Guide des Sylvicultures de Montagne qui préconise des valeurs seuils de dimensionnement.

Par comparaison des résultats obtenus pour le peuplement avant les trouées existantes, dans son état actuel (trouées existantes prises en compte) et après les trouées prévues, nous avons ainsi évalué les conséquences des coupes sur la capacité de protection contre les chutes de blocs des peuplements forestiers.

Phase 4 : Initialisation de l'étude de la dynamique de végétation après réalisation des coupes

L'objectif a été d'apprécier la régénération du taillis dans les trouées en termes de type de régénération (de franc pied ou par rejet de souche), de réussite, d'espèces, de temps etc. Nous avons développé une première approche basée sur l'analyse de photos aérienne et de photos anciennes afin de caractériser la colonisation des terrains par la forêt puis de compléter par une reconnaissance sur site le temps de colonisation de la forêt sur ce type de terrain et de connaître le type d'espèce qui s'installe en fonction du temps.

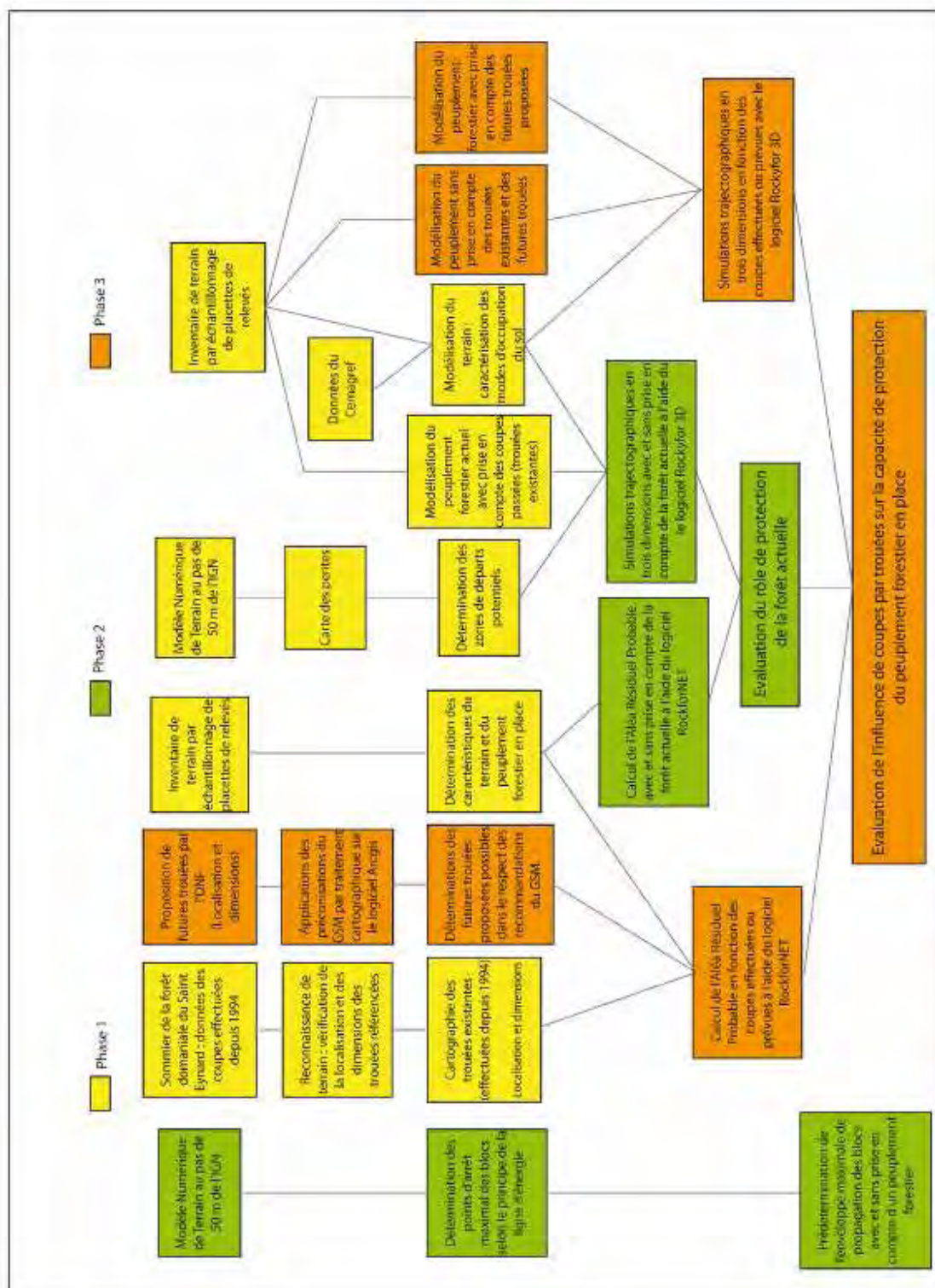


Figure 3 : Présentation schématique de la démarche méthodologique des phases 1 à 3 de l'étude.

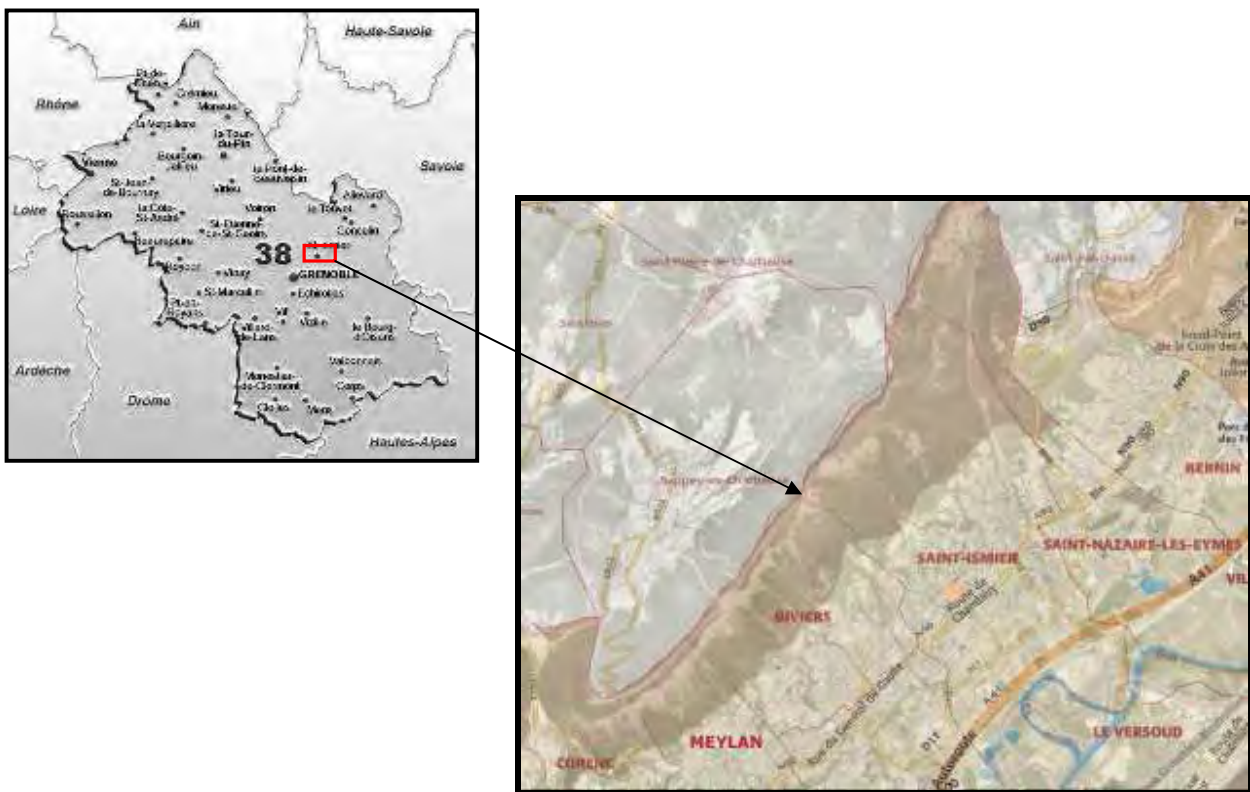


## II. Présentation du site d'étude

Le projet porte sur les parcelles 4 à 9 de la forêt domaniale RTM du Saint Eynard. Bien que la zone d'étude soit réduite à ces 5 parcelles, la présentation du site porte sur l'ensemble de la forêt domaniale et du versant.

- **Situation géographique**

La forêt domaniale R.T.M. du Saint Eynard située en Isère s'étend au pied des falaises calcaires tithoniques de la Chartreuse, en bordure sud-occidentale de la vallée du Grésivaudan et au Nord Est immédiat de la ville de Grenoble.



**Figure 4 :** Localisation du site d'étude

Sa dénivelée moyenne est de 1350 m à 500 m soit 850 m. Elle recoupe 5 communes (Biviers, Corenc, Meylan, Saint Ismier et Saint Nazaire Les Eymes) avec une superficie de près de 405 ha.

Elle appartient au périmètre de restauration de la BASSE-ISERE créé par la loi du 27 Juillet 1895 et regroupe 5 séries dont l'acquisition avait pour objectif la protection des cultures, des habitations et des routes, dont notamment l'axe Grenoble – Chambéry.

<b>Série</b>	<b>Surface</b>
Biviers	146,97 ha
Corenc	6,73 ha
Meylan	71,46 ha
Saint Ismier	91,69 ha
Saint Nazaire	88,08 ha

Le profil topographique est assez régulier dans l'ensemble et d'exposition Sud Est dominante. Il se représente schématiquement, de haut en bas, comme suit :

- un premier escarpement de 120 à 150 m de hauteur assez uniforme,
- un talus relativement boisé sur 120 à 150 m de dénivelée à 80% de pente moyenne,
- un escarpement principal qui dessine souvent un ressaut rocheux de 130 à 250 m de haut,
- un talus inférieur d'abord recouvert d'éboulis récents tombés des falaises, jusque vers l'altitude 600 m (pente moyenne 50 à 70 %), recouvert ensuite de dépôts glaciaires remaniés mais surtout de déjections torrentielles stabilisées sur une pente moins forte (30 à 50%).

## • Climat

La forêt domaniale R.T.M du Saint Eynard est dotée d'un climat montagnard présentant une sécheresse estivale sensible du fait de sa situation en zone de moyenne altitude et de son exposition Sud Est à l'abri des courants d'Ouest grâce au Massif de la Chartreuse.

Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 1200 mm et les moyennes saisonnières s'établissent suivant une bonne répartition d'ensemble malgré un léger déficit estival, période au cours de laquelle l'essentiel des précipitations tombe sous forme de violentes averses orageuses. Les précipitations tombent d'autre part sous forme de neige pendant la majeure partie de la période de décembre à avril.

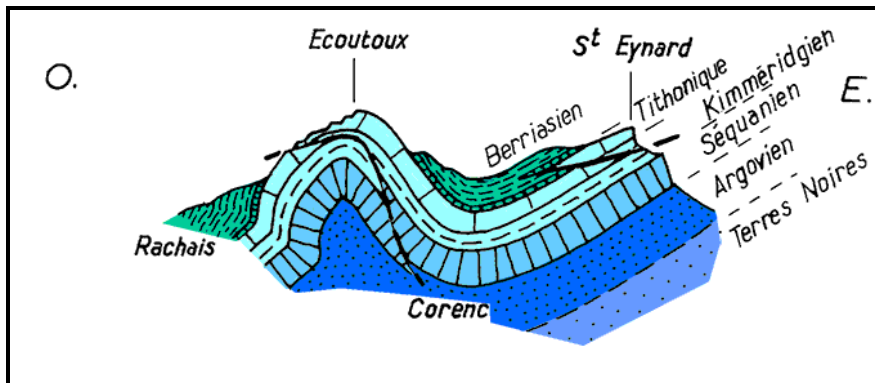
Les températures moyennes annuelles varient entre 6 et 12 °C selon l'altitude.

En résumé, on compte de 140 à 160 jours de pluies par an et 70 à 130 jours de gel par an.

Ces conditions météorologiques montagnardes limitent la saison de végétation, qui débute en moyenne fin avril dans les parties les plus basses et les mieux exposées et ne se manifeste que fin mai début juin aux altitudes supérieures sur versant Nord. Dans la partie centrale du massif, on peut l'estimer à 4 mois et demi.



- **Situation géologique**



**Figure 5 :** Coupe géologique de la chartreuse méridionale. Source : M. Gidon, 1981, [www.geol-alp.com](http://www.geol-alp.com).



**Figure 6 :** Vue géologique de la falaise supérieure du Saint Eynard. Source : M. Gidon, 1981, [www.geol-alp.com](http://www.geol-alp.com)

La coupe géologique de ce versant de la Chartreuse est très uniforme. De haut en bas, on rencontre les formations suivantes :

- Une première assise de calcaires Tithoniques supérieur et inférieur de 120 à 150 m de haut, calcaires durs et fins qui constituent la falaise supérieure du Saint Eynard.
- Sous la corniche tithonique se développe en général un talus marno-calcaire Kimméridgien, alternance de lits de marnes et de calcaires marneux), relativement boisé (érable, tilleul, chêne, hêtre, quelques résineux...) sur une hauteur de 120 à 150 m et une pente assez forte de l'ordre de 80 %.
- Le Séquanien, qui dessine le plus souvent un ressaut rocheux en contrebas de la corniche tithonique donne une falaise de 130 à 250 m de haut.
- Le talus Sauracien lui fait suite, constitué de marno-calcaires en bancs alternant avec des marnes ; il est plus ou moins recouvert par des nappes d'éboullis récents, tombés des falaises séquaniennoises voire tithoniques, jusque vers l'altitude de 600 m et se prolonge vers le bas par le talus marneux oxfordien, moins incliné et plus ou moins recouvert de dépôts glaciaires remaniés, mais principalement de déjections torrentielles stabilisées. La pente moyenne varie entre 50 et 70 %.

## • Situation pédologique et groupements végétaux

La forêt domaniale R.T.M du Saint Eynard repose sur des sols d'érosions, peu évolués voire bruts lorsqu'ils sont bloqués par un rajeunissement permanent (ravinement, chute de pierres...) à évolués lorsque leur consolidation est ancienne.

Les sols les plus évolués ou bruts correspondent aux falaises, affleurements de roche mère mis à nu par l'érosion, pierriers et éboulis régulièrement alimentés. Ces derniers, en pied de falaise, sont à l'origine de ravines torrentielles qui les prolongent assez bas dans les séries, voire les traversent.

Lorsqu'ils se stabilisent (éboulis consolidés), ces sols primitifs connaissent un début d'évolution avec apparition d'un horizon humifère, permettant ainsi l'installation d'une végétation pauvre, essentiellement herbacée. Quelques pins à crochets et alisiers blancs parviennent par endroits à s'y installer.

Le couvert forestier n'apparaît véritablement que sur des sols plus évolués. Il couvre environ 58 % de la surface domaniale, mais d'un aspect très variable suivant le sol et son exposition.

Les principales formations pédologiques rencontrées sont des sols humocalcaires et calciques allant des rendzines aux sols bruns calciques.

Les rendzines colluviales offrent un horizon humifère brun clair à rouge, très riche en cailloux grossiers. L'humus est un mull calcique peu épais, souvent déchiré par les affleurements caillouteux. La profondeur du sol est très variable selon le degré d'évolution et la position en pied ou en tête d'éboulis stabilisé.

Dans les meilleures cas apparaît un horizon (B) pouvant atteindre le mètre, les graviers calcaires sont plus réduits et la fraction de fines plus importante. Sur les rendzines les plus squelettiques (10 à 20 cm) le peuplement forestier est un taillis grêle de chêne pubescent, érable sycomore, alisier blanc, aulne vert,... très ouvert, au profit d'espèces herbacées en pelouse et arbustives xérophiles ou calcicoles telles que la Mélitte à fleurs de mélisse, la Mélampyre des champs, l'Euphorbe petit cyprès, le buis, le genévrier ou encore le cytise.

Aux faciès plus profonds, les formations arbustives et arborescentes se resserrent. La chênaie pubescente s'accompagne alors d'autres espèces thermophiles ou calcicoles telles que le cornouiller sanguin, la viorne lantane, le cerisier Sainte Lucie, le noisetier, l'alisier blanc, le saule marsault ou encore le sorbier des oiseleurs. On rencontre également par bouquets épars, des essences introduites comme le pin noir et le pin sylvestre, ce dernier se régénérant naturellement bien.

Les sols bruns calciques ont une faible extension. On les trouve aux expositions fraîches et/ou sur versants plutôt bien stabilisés. L'humus est un mull calcique reposant sur un horizon B d'environ 50 cm limono-argileux, abondamment fourni de cailloux d'éboulis calcaires.

La pénétration racinaire est aisée et se développe en profondeur à la faveur de diaclases dans la roche en place. L'exposition plus favorable, une altitude supérieure et la bonne rétention hydrique de ces sols permettent un développement relativement vigoureux du hêtre principalement en taillis et du sapin (peu abondant) ; mélange susceptible de se structurer en hêtraie sapinière.

Indépendamment de la qualité des sols et du couvert forestier, les peuplements situés en pied de falaise subissent de fréquentes chutes de pierres. Dans cette frange de taillis exposé, où l'aulne est dominant, ces multiples agressions procèdent de manière aléatoire à une sorte de recépage naturel dont on peut se demander s'il ne stimule pas la vitalité du peuplement, sinon du des arbres eux-mêmes.

En dehors des risques torrentiels liés aux 7 torrents qui traversent la forêt domaniale du Saint Eynard, le risque de chute de pierre est le plus important de par sa nature mais aussi par son impact car l'urbanisation « remonte » la pente jusqu'en limite de forêt domaniale et se rapproche ainsi des falaises rocheuses qui dominent le versant d'une hauteur de 600 m.

On distingue ici deux types de phénomènes :

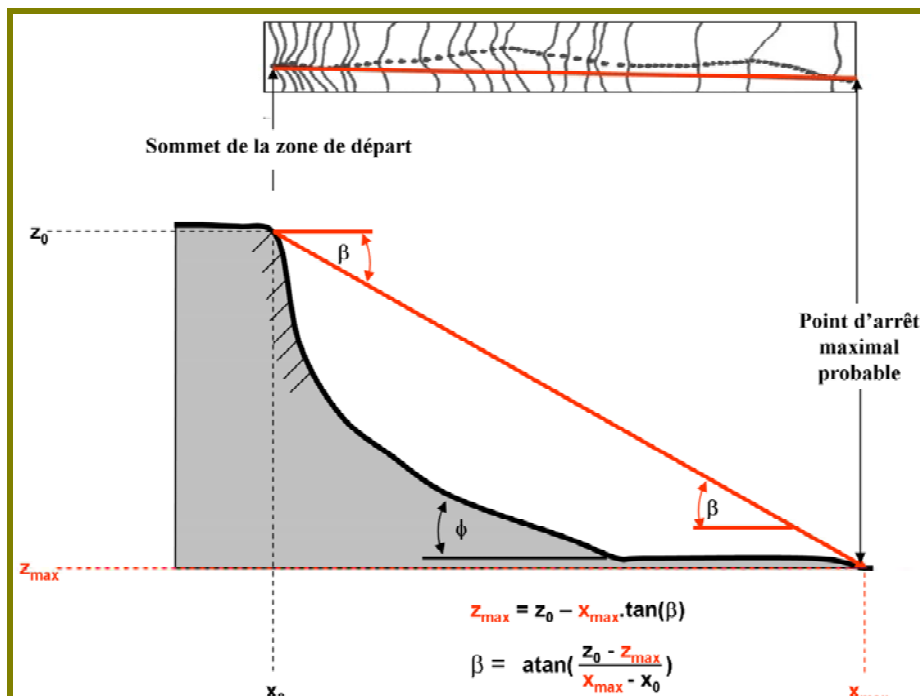
- Les éboulis, dont le volume est de l'ordre du  $\text{dm}^3$  qui représentent un phénomène très actif au niveau de la paroi inférieure où les calcaires sont stratifiés en lits étroits (15 à 30 m), localisés plus particulièrement dans les zones fracturées.
- Les écroulements et chutes de blocs, dont le volume est de l'ordre du  $\text{m}^3$  qui apparaissent nettement plus sporadiques mais qui peuvent se propager beaucoup plus à l'aval. Toute la paroi rocheuse du Saint Eynard est susceptible de fournir de tels départs de masse, plutôt rattachés eux aussi aux zones fracturées.

### III. Présentation des outils utilisés

Tous les traitements cartographiques ont été réalisés à l'aide du SIG Arcgis.

- **Rockfor<sup>LIN</sup>**

Cette méthode, développée par Heim en 1932 repose sur un principe simple et trivial : un bloc ne peut progresser sur une pente que si celle-ci est suffisamment raide. Ainsi, si la pente est supérieure à un angle limite  $\beta$ , il accélère. Si elle est inférieure à  $\beta$ , il ralentit. En partant de ce constat, un bloc peut aller d'une zone de départ A jusqu'à B, point d'intersection du relief avec une ligne imaginaire partant de la zone de départ et formant un angle  $\beta$  avec l'horizontal (**Figure 7**). Cette ligne est appelée ligne d'énergie et l'angle  $\beta$ , l'angle de la ligne d'énergie.



**Figure 7** : Représentation schématique du principe de la ligne d'énergie et de la formule pour déterminer l'angle  $\beta$ . Source : CEMAGREF Grenoble

A partir du profil en long de la pente depuis une zone de départ, on peut alors, si on connaît la valeur de l'angle  $\beta$ , déterminer le point maximal probable qu'atteindra tout projectile qui se détachera de la zone de départ.

Compte tenu de la possibilité de déviation des trajectoires des blocs que ce soit à cause de leur forme ou des obstacles rencontrés, ils peuvent donc progresser dans un cône, appelé cône de propagation. Ce cône a une pente  $\beta$  et son sommet est placé au niveau de la zone de départ A.

Plusieurs auteurs ont travaillé sur la détermination de l'angle  $\beta$ . La bibliographie indique des valeurs variant de 28° à 38°.

Nous proposons ici d'utiliser un angle  $\beta$  de 32° au minimum. Cette valeur a été choisie d'après les expériences grandeur nature de chute de blocs du Cemagref sur le site de Vaujany (Isère). Ces expériences ont consisté à des lâchers de blocs sur un site non boisé (dit terrain nu) et sur un site boisé.

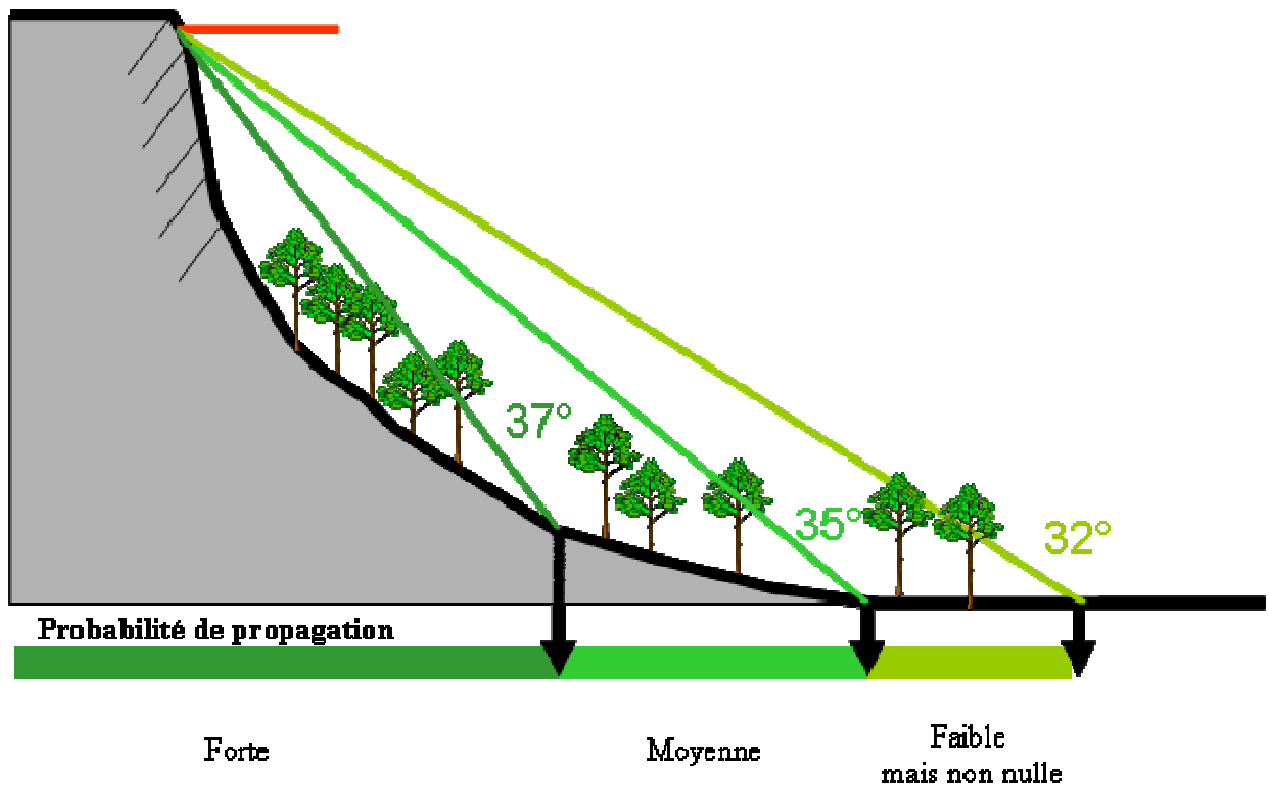
La valeur de 32° correspond à celle de l'angle de la ligne d'énergie pour le bloc étant allé le plus loin sur le site à terrain nu. Pour le site boisé, la valeur de cet angle est de 37°. On obtient donc un intervalle variant de 32° à 37° (**Figure 8**).

Type de projectile	Valeur de l'angle de la ligne d'énergie et rugosité du sol		
	33° et faible rugosité	35° et rugosité moyenne	37° et forte rugosité
Pierre (inférieure au dm <sup>3</sup> )	Prairie	Broussaille	Arbres
	Pas d'irrégularités	Petites irrégularités	Grosses irrégularités
	Sol superficiel	Sol superficiel	Sol profond
1 dm <sup>3</sup> < Pierre-Bloc < 1 m <sup>3</sup>	Broussaille	Arbres	
	Petites irrégularités	Grosses irrégularités	
	Sol superficiel	Sol profond	
Bloc > 1 m <sup>3</sup>	Arbres		
	Grosses irrégularités		
	Sol profond		

**Figure 8** : Valeurs de l'angle  $\beta$  en fonction de la rugosité du sol et de la dimension des projectiles.  
Source : Gerber 1994 et d'après Meissl 1998.

Dans le cas du St Eynard, nous avons appliqué cette méthode avec 3 valeurs d'angles différents 32, 35 et 37°. L'angle de 32° afin de connaître la distance de propagation maximale des blocs sur le site dans le cas où il n'y aurait aucune végétation et l'angle de 37° pour connaître cette distance en prenant en compte d'une végétation efficace. La forêt du St Eynard étant constituée d'un taillis présentant des brins de petits diamètres, un angle de 35° semble le plus approprié. Il est à noter qu'une 4<sup>ème</sup> valeur d'angle peut aussi être utilisée, celle de 28° qui correspond dans la littérature aux phénomènes qualifiés d'exceptionnels et de très rares. Compte tenu du fait que nous travaillons sur le rôle de protection des taillis, nous avons donc décidé de travailler sur les phénomènes pour lesquels ce type de peuplement est en mesure d'offrir une protection, et donc de fait nous avons écarté de nos analyses la valeur de 28°.

Ces trois angles ont donc été utilisés sur ce site afin de déterminer le point maximal probable qu'atteindra tout projectile (en dehors d'un phénomène exceptionnel et ayant une période de retour plus que centennial) qui se détachera de la falaise (**Figure 9**).



*Figure 9 : Expression cartographique des seuils de ligne d'énergie utilisés par le Cemagref*

Ces trois angles ont donc été utilisés sur ce site afin de déterminer le point maximal probable qu'atteindra tout projectile qui se détachera de la falaise (*Figure 9*).

- **Rockfor<sup>NET</sup>**

Rockfor<sup>NET</sup> est un utilitaire développé par le CEMAGREF qui est en accès libre en français, italien, allemand et anglais sur le site [www.Rockfor.net](http://www.Rockfor.net).

Cet outil permet une estimation de l'aléa résiduel probable de chutes de pierres (ARP) à l'aval d'une forêt. L'ARP représente le pourcentage des blocs sortant de l'écran forestier.

L'outil Rockfor<sup>NET</sup> permet une première évaluation de la capacité de protection d'un peuplement forestier contre les chutes de blocs. Il faut préciser que cet utilitaire ne fonctionne et ne peut fonctionner actuellement que pour des zones boisées.

Pour procéder au calcul de l'ARP, l'utilisateur doit réaliser les 4 étapes suivantes :

1. décrire le projectile
2. décrire le versant
3. décrire la zone boisée
4. lancer le calcul de l'ARP

Les paramètres utilisés par cet outil sont :

- La densité du peuplement (relevée sur le terrain)
- La surface terrière (relevée sur le terrain)
- Le diamètre moyen (relevé sur le terrain)
- La composition en espèce (relevée sur le terrain)
- Les dimensions du bloc (évaluées sur le terrain ou à partir des archives d'évènements)
- La nature de la roche
- La forme des blocs (évaluée sur le terrain)
- La pente moyenne : elle est déterminée sur le terrain ou sur une carte par la différence d'altitude entre le haut et le bas de la zone étudiée
- La hauteur de falaise : la hauteur maximale est déterminée sur le terrain ou sur une carte par la différence d'altitude entre le haut et le bas de la falaise
- La longueur de la zone boisée : déterminée sur le terrain ou sur une carte avec correction par rapport à la pente.
- La distance d'entrée dans la zone boisée : déterminée sur le terrain ou sur une carte avec correction par rapport à la pente.

Dans cet utilitaire, le principe de calcul de l'énergie maximale que peut dissiper un arbre est le même que celui utilisé dans le logiciel Rockyfor3D, présenté ci-après. Ce principe a été initialement élaboré à partir des résultats des expérimentations grandeur nature réalisées sur les sites de Bois Saint Martin (1983) et de Vaujany (2003 et 2004). Lors de ces expérimentations, seuls 3 arbres de moins de 15cm de diamètre mesuré à 1,30m ont été impactés. Par conséquent, la question de la validité de ce modèle de calcul de l'énergie maximale dissipable par un arbre en fonction de son diamètre se pose pour les arbres de faible diamètre tels que les brins de taillis. Dans le cadre de cette étude nous

avons bénéficié des premiers résultats expérimentaux du travail de thèse d'Oliver Jancke. Cette thèse est consacrée à la modélisation du comportement mécanique des brins de taillis lors de l'impact dynamique d'un projectile rocheux. Cet étudiant a développé une approche expérimentale d'acquisition de données basée sur la réalisation d'impact grandeur nature d'une sphère de granit sur des brins isolés dans un premier temps puis sur des cépées entières dans un deuxième temps. A ce jour seuls les tests sur brins isolés ont été réalisés. Dans le paragraphe consacré au logiciel Rockyfor3D nous présentons brièvement le dispositif expérimental et les résultats obtenus. En résumé, les données de ces expérimentations ont validé le fait que l'utilisation du modèle initial est extrapolable aux arbres de faible diamètre. De ce fait les logiciels Rockfor<sup>NET</sup> et Rockyfor3D peuvent donc être utilisés pour l'analyse des taillis.

- **Rockyfor3D**

Le lecteur trouvera une présentation détaillée de cet outil de simulation dans le rapport PGRN 2010 portant sur l'étude comparative de 3 modèles de simulations trajectographiques sur le site de Saint Paul de Varces. Nous ne présentons dans le présent rapport qu'une brève description de ce modèle.

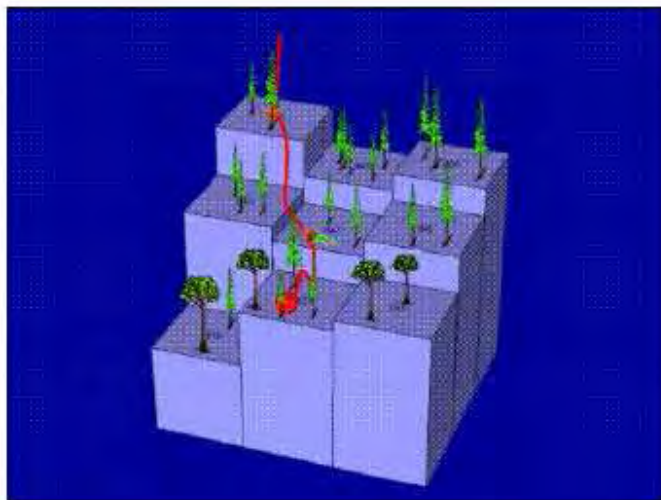
Le modèle de simulation numérique de trajectographie Rockyfor3D est développé par Dorren et al. (2004 et 2006). Ce modèle est de type « probabilistic process based » et distribué spatialement ce qui lui permet de modéliser en 3 dimensions le déplacement d'un bloc rocheux sur une pente. Ce modèle couple des algorithmes mathématiques déterministes lui permettant de simuler le vol parabolique d'un bloc et les rebonds sur le sol avec une approche stochastique dans le choix des paramètres régissant les calculs des rebonds et d'impact avec des obstacles. Il utilise une représentation en 3 dimensions du terrain sous la forme d'un modèle numérique de terrain (MNT) de type raster (représentation du terrain sous la forme d'un maillage carré). Le choix du pas du MNT est laissé à l'initiative de l'opérateur en fonction des données topographiques disponibles. La déperdition d'énergie lors des rebonds au sol est déterminée par l'élasticité du sol, exprimée par un coefficient de restitution normal ( $r_n$ ), et par la rugosité du sol, exprimée par un coefficient de restitution tangentiel ( $r_t$ ). Le paramètre le plus important pour le calcul de la variation de vitesse est le coefficient de restitution tangentiel. Ce coefficient est déterminé par la taille des matériaux recouvrant la pente (rugosité) et par le diamètre du projectile (Kirkby et Statham 1975, Dorren et al. 2006). La rugosité du sol combine à la fois la hauteur des matériaux couvrant la pente et la probabilité d'impact par un projectile. Ainsi trois classes de rugosité sont utilisées : Rg10, Rg20 et Rg70%. Ces trois classes correspondent à la répartition de la hauteur moyenne des matériaux couvrant le sol pour une surface de référence. Ainsi la classe Rg70% représente la hauteur moyenne des matériaux présents sur 70% de la surface de référence, la classe Rg20% la hauteur moyenne des obstacles présents sur seulement 20% de la surface de référence et celle Rg10% la hauteur moyenne des obstacles présents sur seulement 10% de la surface de référence. Pour rappel, la figure 2 représente l'aide visuelle pour la détermination des classes Rg10, 20 et 70% sur le terrain.



L'approche utilisée est de type probabiliste. Pour chacun des points de départ identifiés sur le terrain, et en fonction de la résolution du MNT de 100 à 10000 simulations sont réalisées en faisant varier aléatoirement (dans l'intervalle de valeurs déterminé lors de la phase de terrain) les paramètres de calculs lors des rebonds. Le projectile est assimilé à un point mathématique (méthode de la masse concentrée) auquel est associée une information sur son volume. Le projectile utilisé lors des simulations est celui correspondant à l'aléa de départ de référence déterminé par l'opérateur.

Le volume de cet aléa de référence est en fait la valeur du volume moyen des projectiles pouvant se propager sur le site d'étude. Afin de rendre compte de la variabilité qui existe autour de ce volume moyen, Rockyfor utilise une gamme de volume centrée sur le volume moyen de l'aléa de départ de référence et comprise dans l'intervalle  $[-30\% \times \text{Volume moyen de référence} ; +30\% \times \text{Volume moyen de référence}]$ .

Ainsi, si 500 simulations sont réalisées pour chacune des zones de départ, Rockyfor procédera 500 fois au choix aléatoire d'un volume de départ compris dans cet intervalle. A partir des travaux de Jahn (1988), Gsteiger (1993), Berger et al (2004), un algorithme a été développé pour prendre en compte la présence d'arbres sur le terrain en temps qu'obstacles potentiels (*Figure 10*).



*Figure 10 : Représentation schématique du modèle Rockyfor3D*

Le calcul de la dissipation d'énergie occasionnée par l'impact sur un arbre nécessite de connaître la position du projectile avant l'impact, son énergie cinétique, la position de l'arbre, son diamètre et son essence.

Les arbres peuvent être parfaitement positionnés si on connaît leurs positions exprimées en XY, et dans le cas contraire randomisé pour chaque maille de calcul à partir du nombre moyen d'arbre par hectare et de la distribution observée des diamètres.

Etant donné que la propagation du projectile est modélisée en 3 dimensions, la position exacte de celui-ci est connue pour chacune des mailles de calcul.

Si un impact a lieu, la dissipation d'énergie est calculée avec l'algorithme suivant :

$$\Delta E = -0.046 + \frac{0.98 + 0.046}{1 + 10^{(0.58 - ((Pi - Ct) / 0.5 * DBH)) * -5}}$$

avec  $\Delta E$  = le pourcentage de l'énergie maximale que peut dissiper un arbre (%)  
Pi-Ct = la distance horizontale entre le centre du point d'impact et centre de l'arbre (m)  
DHP = le diamètre de l'arbre à hauteur de poitrine (mesurée à 1,30 m) (m)

L'énergie maximale que peut dissiper un arbre (*max. E. diss*) est déterminée par son diamètre et son essence. Pour le sapin l'algorithme est :

$$\text{max. E. diss.} = 38.7 * \text{DHP}^{2.31}$$

Le modèle Rockyfor utilise le sapin comme essence de référence pour calculer la capacité de dissipation d'énergie de 10 autres essences.

Comme nous l'avons mentionné précédemment nous avons testé et validé l'utilisation de ce modèle de calcul pour des arbres de faible diamètre. Pour ce faire nous avons utilisé les résultats des expérimentations grandeur nature réalisées par O. Jancke sur 72 hêtres allant de 3,0 à 10,6 cm de diamètre. Pour acquérir ces données, deux dispositifs expérimentaux ont été utilisés. Le premier permet d'impacter avec un pendule un brin de taillis de 3m de haut prélevé en forêt (cf. Fig.11).



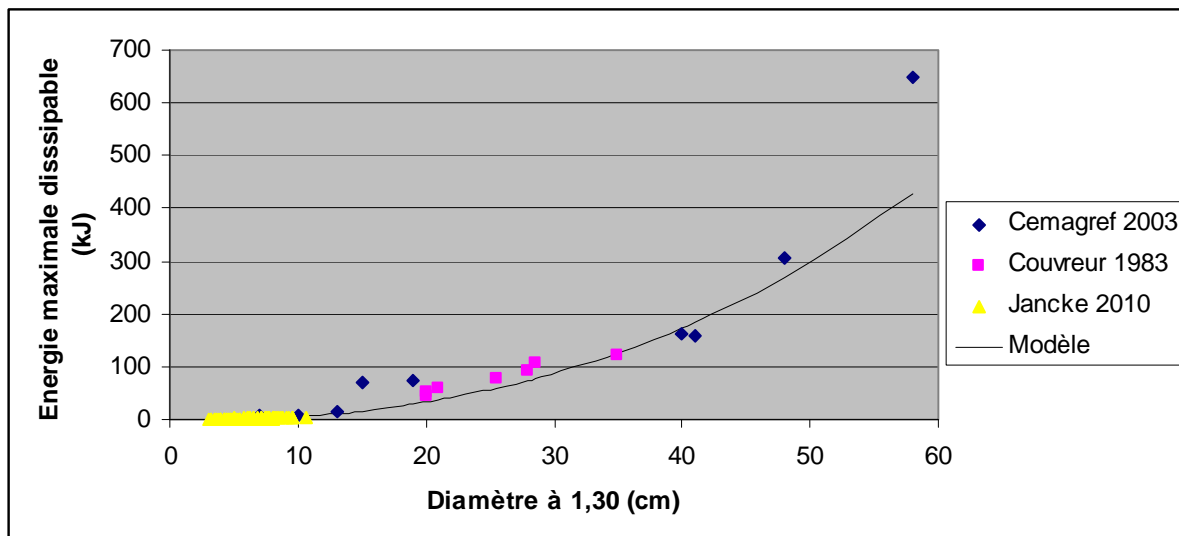
**Figure 11** : Présentation du dispositif expérimental d'impact d'une sphère de béton sur un brin de taillis de 3m de haut prélevé en forêt et exemples d'images réalisées avec une caméra à prise de vues rapides

Le deuxième quant à lui permet d'impacter in situ des brins de taillis par une sphère de granit qui dévale la pente en étant canalisée dans des tubes (cf. Fig.12). Dans les deux cas de figure, l'impact est filmé avec une caméra à prises de vues rapides.



**Figure 12** : Présentation du dispositif expérimental in situ d'impact d'une sphère de granit sur un brin de taillis et exemples d'images réalisées avec une caméra à prise de vues rapides

La figure 13 présente graphiquement les différentes sources de données expérimentales et l'utilisation du modèle utilisé dans Rockyfor3D. Le coefficient de détermination ( $R^2$ ) de ce modèle est de 0,916 et la RMSE de 21,61.



**Figure 13** : Données expérimentales et représentation graphique du modèle de calcul de l'énergie maximale dissipable par un arbre en fonction de son diamètre. Les données sont exprimées en utilisant comme essence de référence le sapin.

La déviation latérale est quant à elle déterminée en utilisant les matrices de déviation observées le site expérimental du Cemagref situé sur la commune de Vaujany (38). Il existe trois grands types d'impacts :

1. impact frontal (si le bloc percute l'arbre dans une zone de 1/6 de part et d'autre de son centre),
2. impact latéral (si le bloc percute l'arbre dans une zone de 1/6 de part et d'autre de la zone centrale),
3. impact frôlé (si le bloc percute l'arbre dans une zone de 1/6 de part et d'autre de la zone latérale).

Pour chacun de ces types d'impacts nous disposons des matrices de fréquences des déviations observées. Le modèle déterminant la position de l'impact sur le diamètre, il affecte à cet impact une valeur de déviation par tirage au sort dans la matrice de déviation correspondant au type d'impact.

Ces algorithmes ont été développés par Dorren et Berger (publiés en 2006) et sont entre autre basés sur l'utilisation de données obtenues lors d'expérimentations grandeurs nature réalisées dans les Alpes du Nord Françaises (Dorren *et al.* 2005).

L'objectif de ce modèle est de cartographier les zones parcourues par les chutes de pierres simulées. A chacune des mailles du modèle numérique de terrain est associée des informations concernant le nombre de projectiles atteignant une cellule, le nombre de projectiles s'arrêtant dans une cellule, le volume des dépôts, la hauteur maximale et moyenne des rebonds [m] (calculée selon la composante normale à la pente), les vitesses maximales et moyenne de translation et de rotation, l'énergie maximale et moyenne des projectiles (en kJ). Ces informations sont utilisées pour produire les cartes associées à chacun des paramètres calculés.



En dehors du MNT, les données nécessaires à l'utilisation de ce modèle sont obtenues par une phase de relevés de terrain. Ces relevés doivent permettre, sur la totalité de la zone d'étude, de définir et décrire des unités géomorphologiques homogènes tant d'un point de vue type de sol que peuplement forestier.

Les paramètres relevés sont :

- Pour les peuplements forestiers :
  - la composition en essences,
  - la répartition des diamètres,
  - la densité (nombre d'arbres à l'hectare)
  - la hauteur des blessures sur les arbres
  
- Pour les sols :
  - la rugosité est caractérisée à partir de la dimension des éléments présents au sol et de leur répartition spatiale.
  - L'élasticité du sol est quant à elle estimée à partir de la profondeur du sol, de la description de la litière et des horizons humifères.
  - Le dimensionnement des anciens projectiles présents sur la placette de relevé

En plus de ces données, des informations relatives à la topographie de la placette de relevé sont aussi collectées.

Ce modèle a été utilisé pour évaluer, en termes de distance d'arrêt, l'action des peuplements forestiers présents sur le site

- **Guide des sylvicultures de montagne (GSM)**

Le Guide de Sylviculture de Montagne Alpes du Nord synthétise une démarche d'analyse des peuplements forestiers de montagne et établit des recommandations sylvicoles pour les peuplements forestiers à objectif de protection marquée ou à objectif de production.

Il comporte :

- Une partie introductive présentant de la démarche d'analyse et une fiche diagnostique de terrain.
- Une partie présentant des clés diagnostiques sur les thèmes des risques naturels, de l'exploitation, des stations forestières et de la structure des peuplements.
- Une partie présentant des recommandations sylvicoles pour 9 unités dynamiques différentes (une unité dynamique regroupe un certain nombre de stations forestières comparables en termes de préconisations de gestion). Pour chaque Unité dynamique, les préconisations sont déclinées suivant la priorité de gestion (protection contre les risques naturels ou production) et par type de structure de peuplement.
- Une partie regroupant des fiches thématiques sur les thèmes de l'écologie et la dynamique naturelle des peuplements, sur les risques naturels, sur la sylviculture et l'exploitation, sur la biodiversité et les autres fonctions de la forêt.
- Des annexes avec les fiches d'analyse de terrains vierges à photocopier.

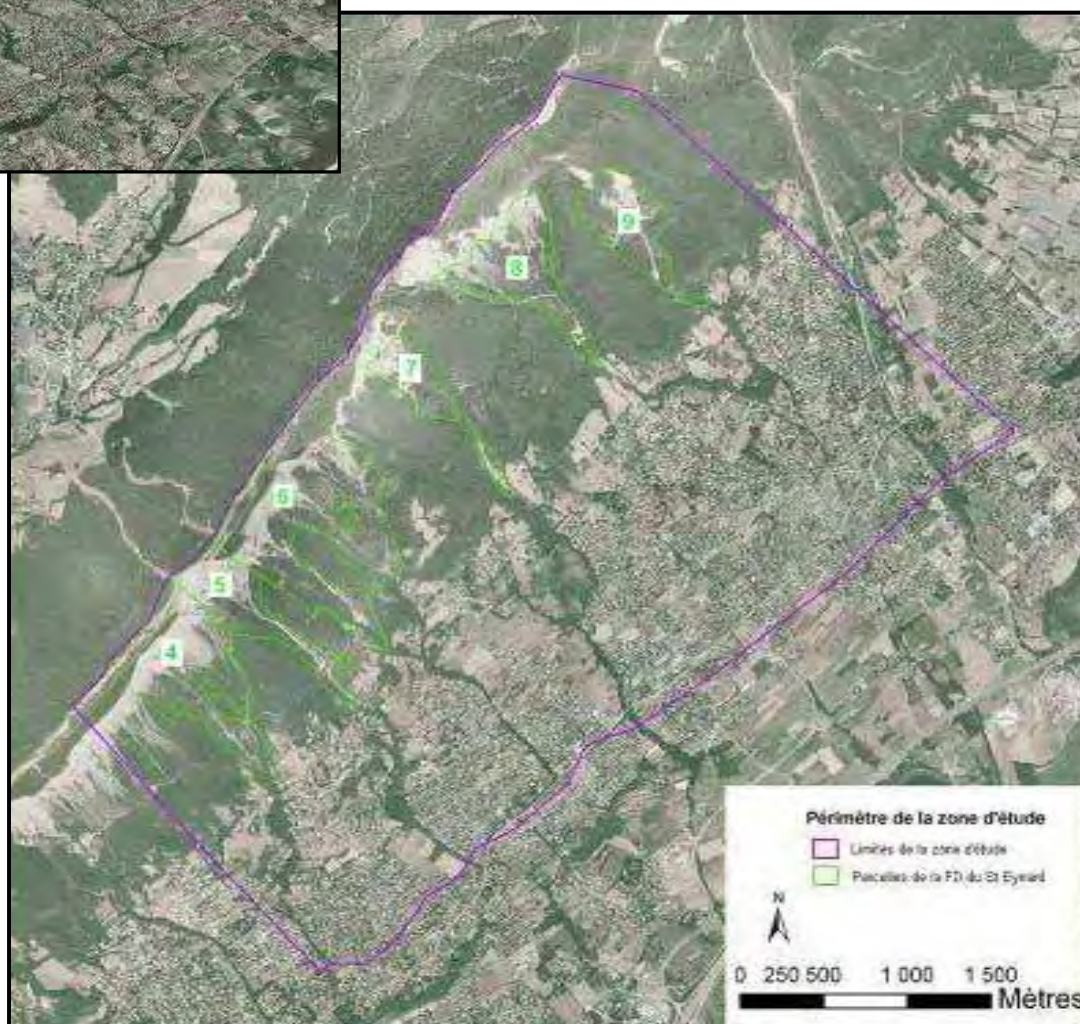
En ce qui concerne les chutes de blocs, le GSM propose une clé de détermination permettant de répondre à la question « la forêt a-t-elle un rôle de protection contre les chute de blocs ? » (Annexe 2) ainsi qu'une fiche thématique sur les chutes de blocs donnant des recommandations sylvicoles à adopter (Annexe 2).

## IV. Présentation des résultats

### Phase 1 : Caractérisation des propriétés du terrain et du peuplement forestier en place



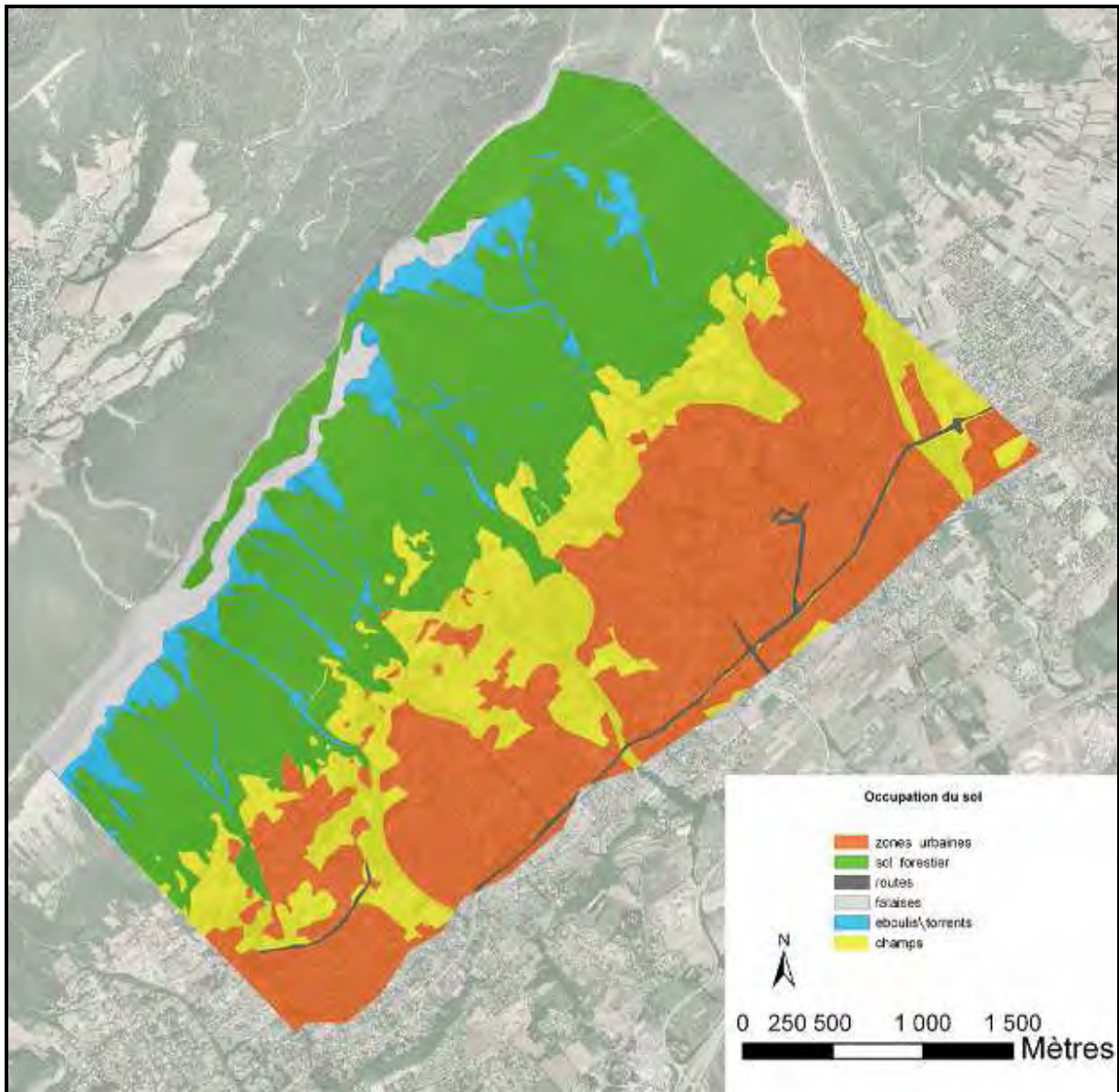
Le projet porte sur les parcelles 4 à 9 de la forêt domaniale du St Eynard. La zone d'étude a donc été délimitée autour de ces parcelles de manière à prendre en compte la totalité du versant, c'est-à-dire du sommet des falaises jusqu'à la partie urbanisée en plaine (**Carte 1**).



**Carte 1 : Localisation de la zone étudiée**

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)

On compte donc six grands types d'occupation du sol (**Carte 2**), à savoir les falaises qui sont les zones de déclenchement du phénomène de chute de bloc, les zones d'éboulis et de torrents qui sont en contact direct avec la forêt de versant, puis la partie agricole séparant la forêt de la zone urbanisée en plaine. Cette dernière représente l'enjeu principal, tout comme les routes et les pistes qui parcourent la forêt.

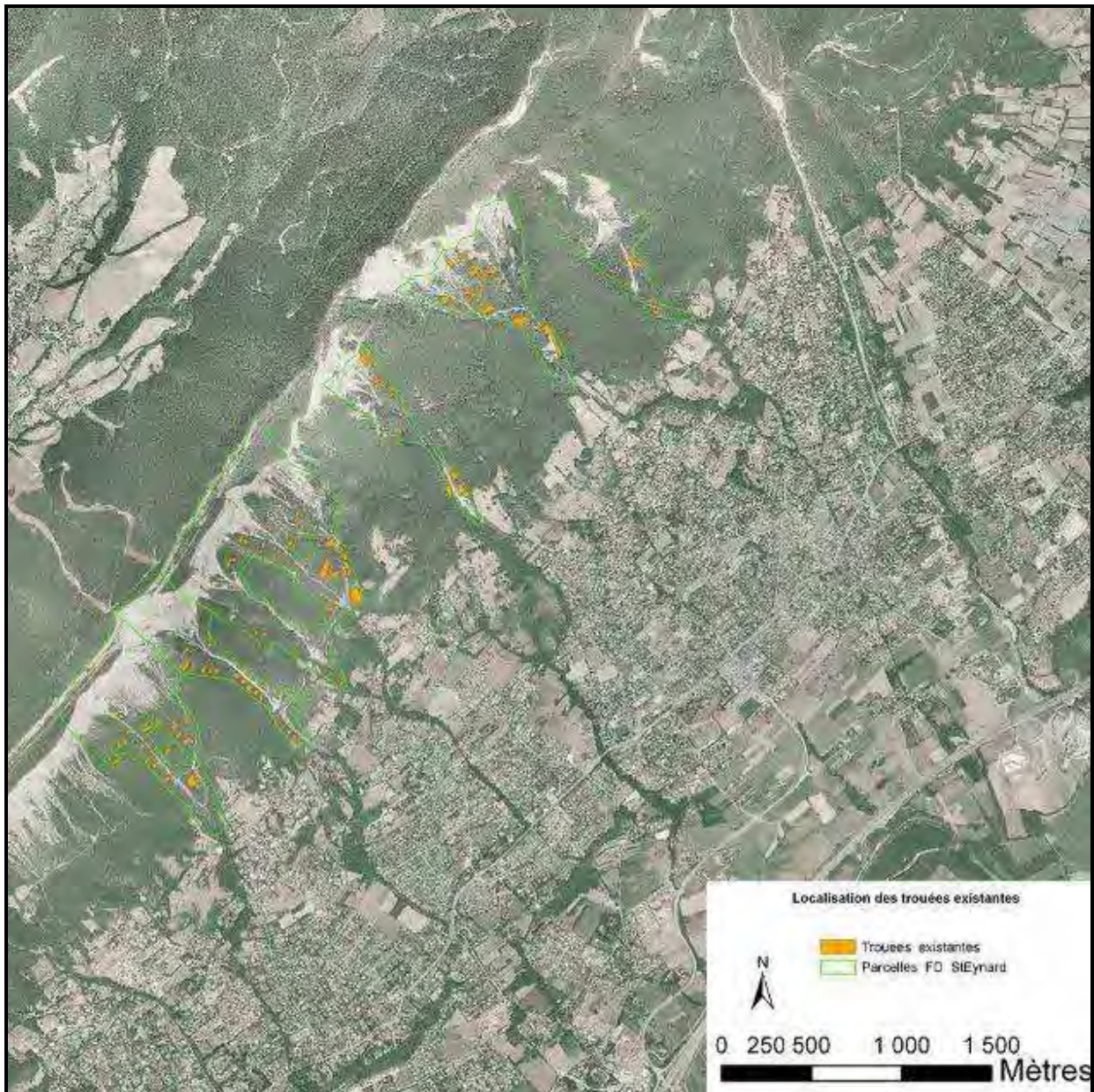


**Carte 2 : Types d'occupation du sol**

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



La partie boisée comprise dans la zone d'étude s'étale sur environ 550 ha dont 136 ha sont en forêt domaniale (parcelles 4 à 9), le reste étant des forêts communales ou privées. A partir du sommier de la forêt domaniale du Saint Eynard, les trouées de renouvellement effectuées depuis 1994 dans les parcelles 4 à 9 ont pu être recensées pour être prises en compte par la suite dans les simulations de chute de blocs (**Carte 3**). Les travaux effectués en forêt communale ou privée n'ont pas pu être recensés par manque d'informations disponibles et de suivi sur les coupes réalisées à ce jour.

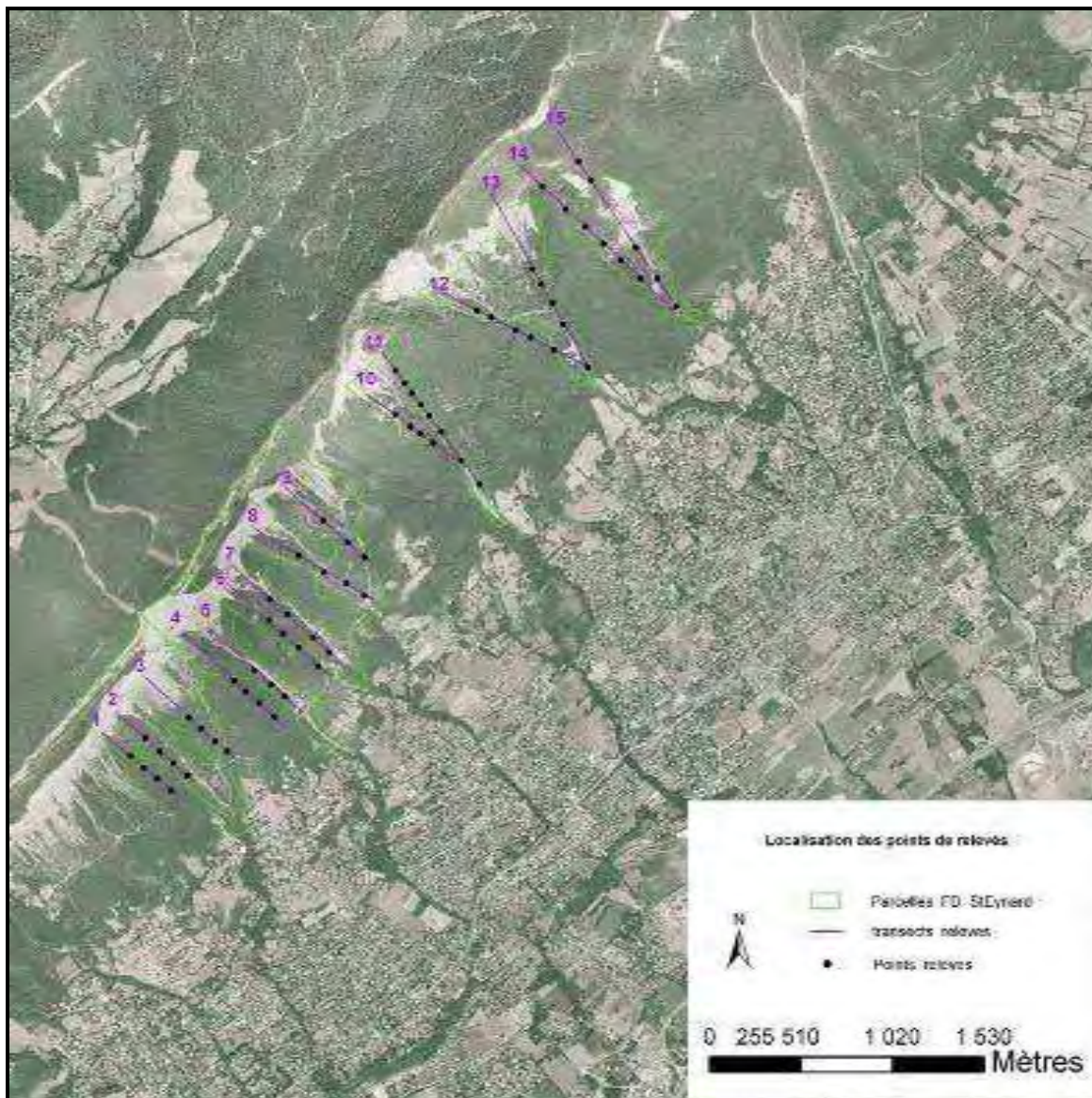


**Carte 3 : Localisation des trouées effectuées depuis 1994**

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



Pour caractériser au mieux le peuplement forestier en place, un inventaire de terrain a été effectué. Cet inventaire permet la récolte des données d'entrée des différents outils de simulation que sont Rockfor<sup>NET</sup> et Rockyfor3D. Des transects de relevés numérotés de 1 à 15 ont donc été mis en place selon deux critères : ils doivent être placés dans la ligne de plus grande pente (trajectoire probable des blocs) et doivent passer par le maximum de trouées existantes pour qu'elles puissent être prises en compte dans l'analyse. Des points de relevés ont ensuite été déterminés de manière systématique le long de chaque transect, à savoir tous les 50 à 100m d'altitude (selon la faisabilité de la progression des personnels sur le terrain), afin d'obtenir une bonne répartition des points sur le territoire (**Carte 4**).



**Carte 4 : Localisation des transects et points de relevés**

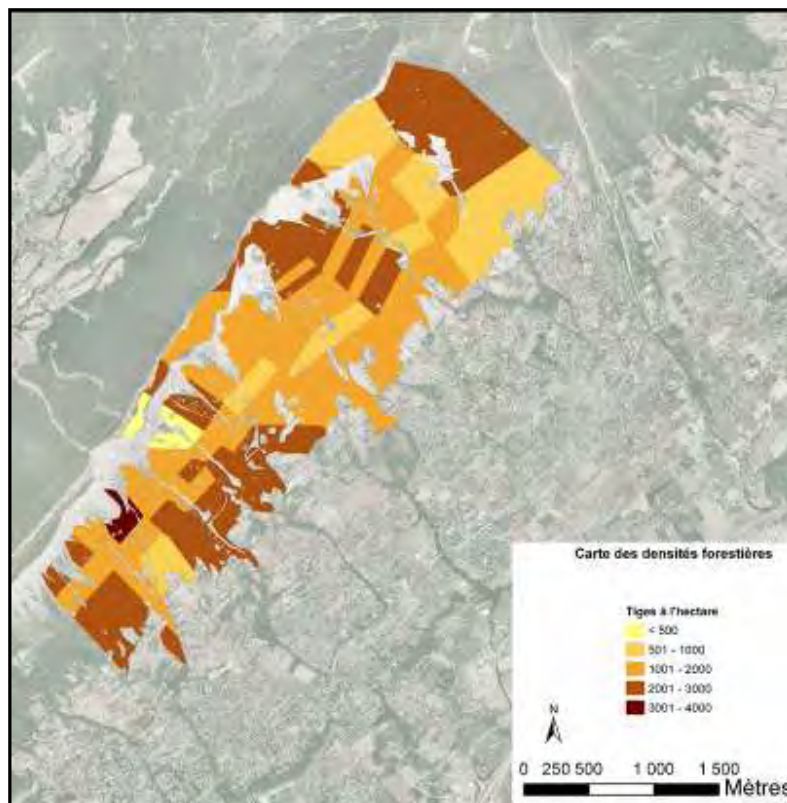
(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



L'ensemble des relevés a ainsi permis de définir les caractéristiques du peuplement forestier et du sol en termes de coefficients de rugosité et coefficient de restitution normale.

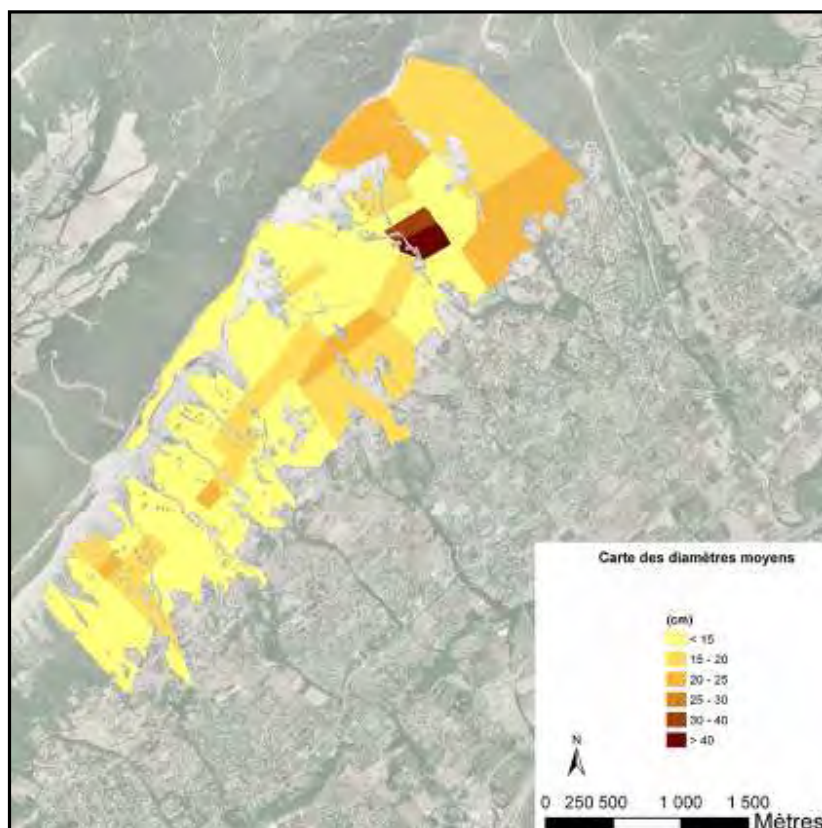
Le peuplement forestier en place présente toutes les caractéristiques d'un taillis de versant sec sur éboulis calcaire (conditions stationnelles difficiles) : une densité élevée dépassant parfois les 3000 tiges par hectare (**Carte 5**) avec des diamètres moyens majoritairement inférieurs à 15 cm (**Carte 6**).

Les secteurs à plus faible densité avec un diamètre moyen élevé (de 25 cm à plus de 40 cm) correspondent souvent à des anciennes plantations de pins noirs issus des reboisements RTM.



**Carte 5** : Carte des types de peuplements forestiers selon le nombre d'arbre à l'hectare.

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)

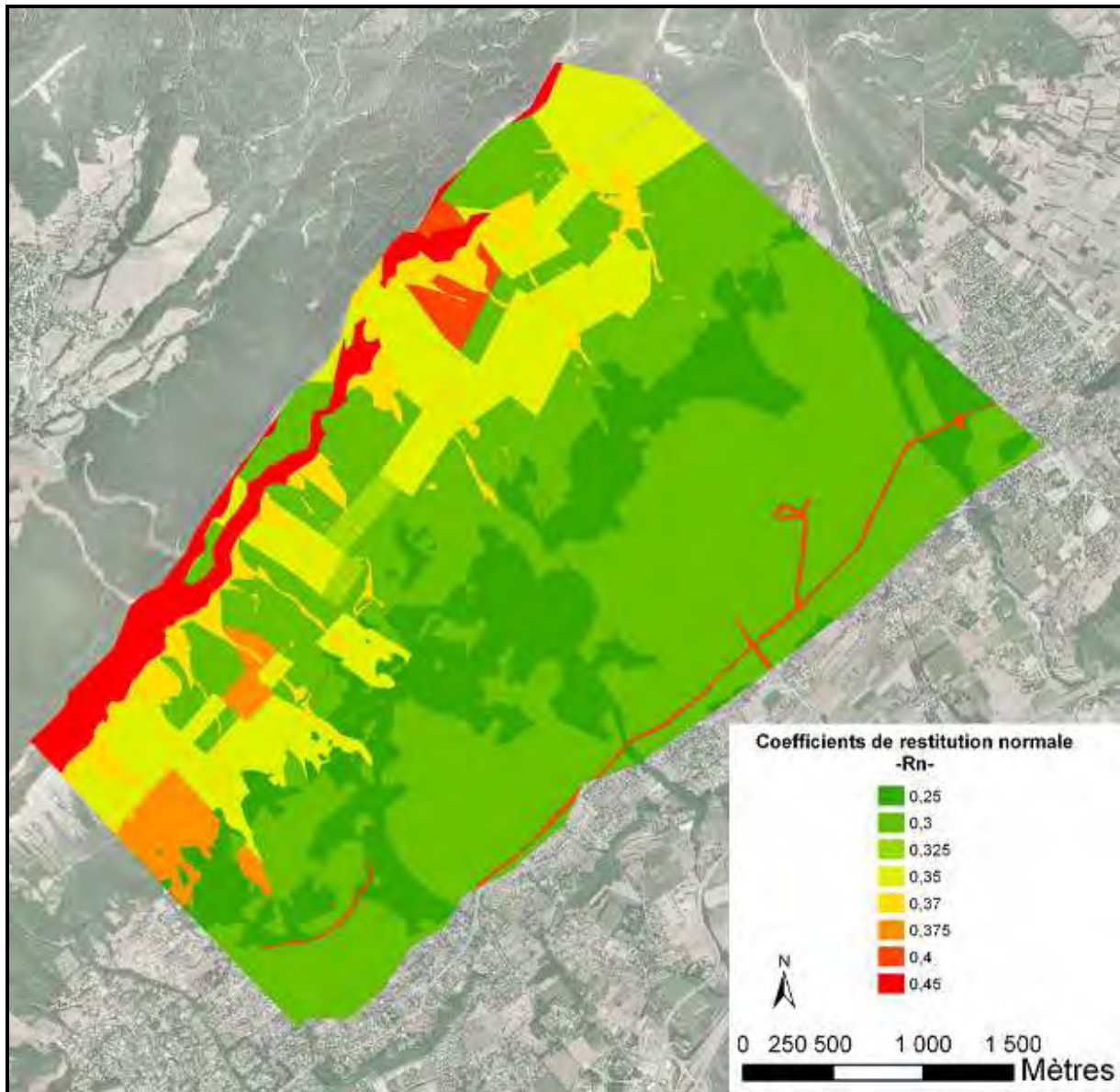


Le pourcentage de résineux est de 18 % sur l'ensemble de la zone d'étude. Ce sont majoritairement des pins noirs issus des reboisements et des pins sylvestre qui eux se régénèrent naturellement sur le site. Les essences forestières dominantes sont le chêne pubescent, les érables (sycomore et plane) et l'alisier blanc. On trouve également du hêtre ou encore du frêne mais en plus faible proportion. Dans l'ensemble, les hauteurs sont plutôt faibles, avec une hauteur maximale de 18 à 20 m. En revanche, le sous-bois peut être très important en termes de densité et de hauteur, principalement composé de cépées de noisetier et de buis, ce dernier constituant des tâches parfois très denses.

**Carte 6** : Carte des types de peuplements forestiers selon le diamètre moyen des arbres (mesurés à 1,30m par rapport au sol).

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)

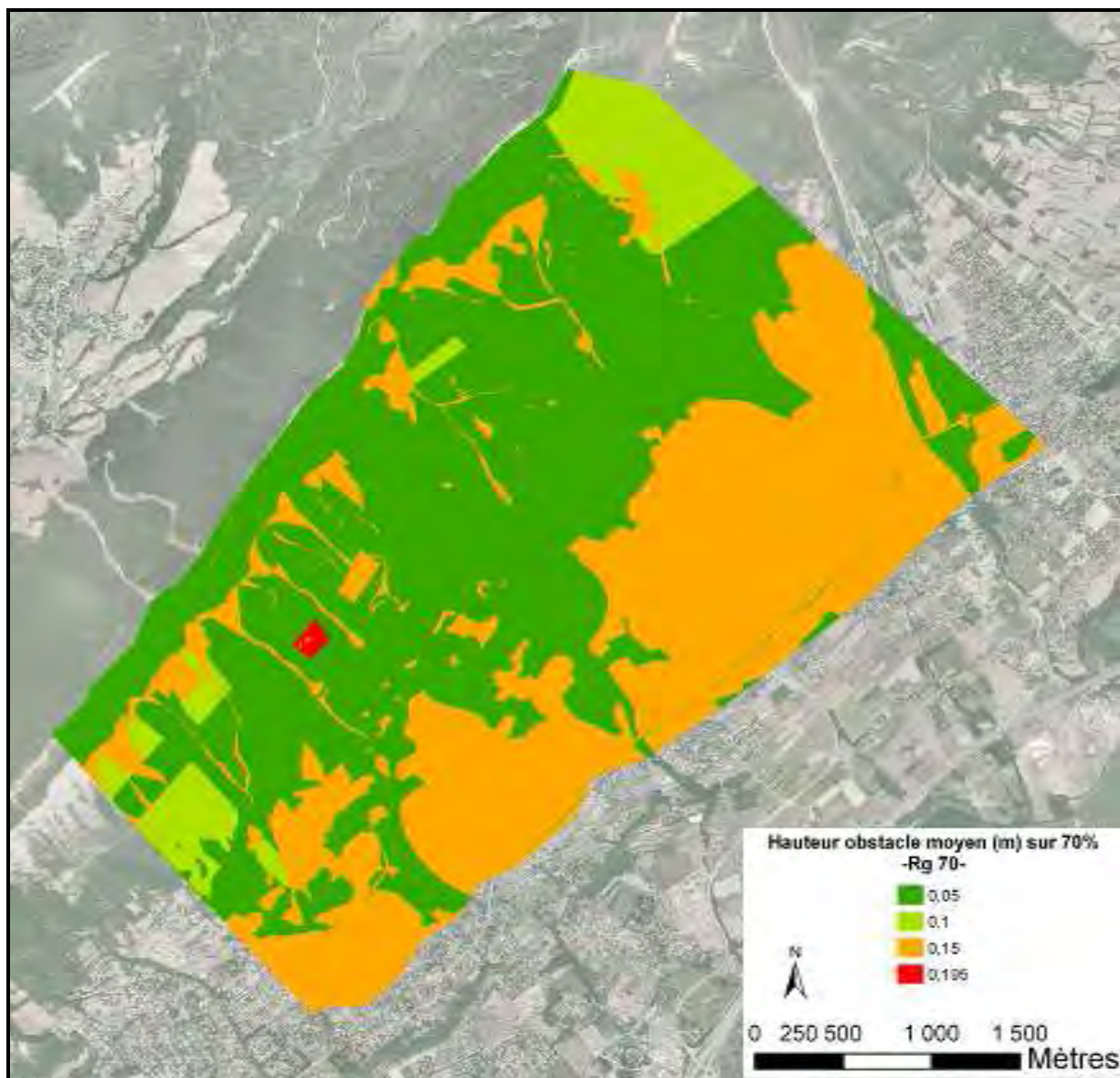
**Caractérisation du sol :**



**Carte 7 : Carte des coefficients de restitution normale**

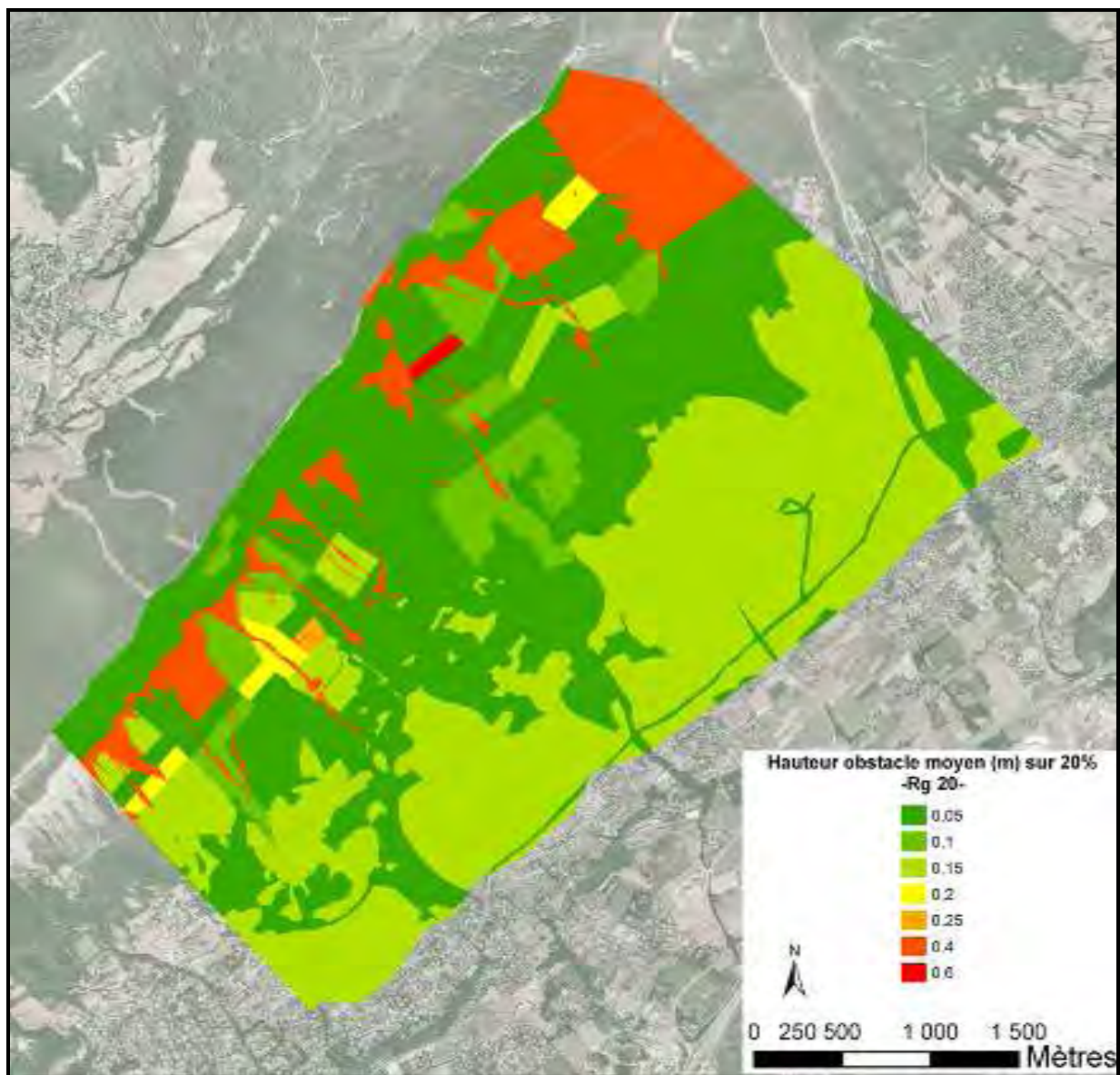
(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)





**Carte 8 : Carte de la rugosité présente sur 70% (Rg70) de la surface des unités géomorphologiques, exprimée en hauteur moyenne des matériaux présents sur 70% de la surface de référence**

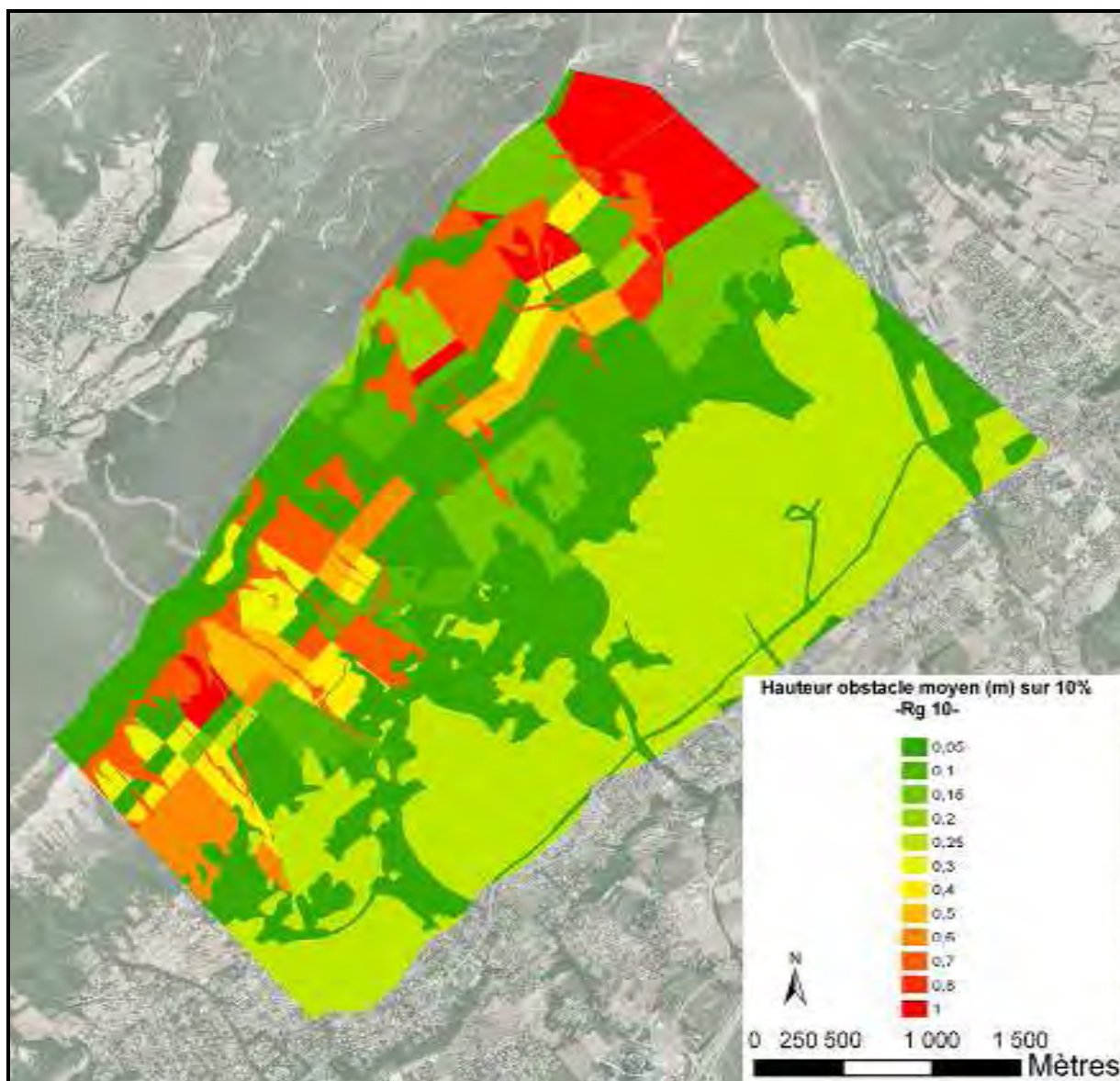
(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



**Carte 9 : Carte de la rugosité présente sur 20% (Rg20) de la surface des unités géomorphologique, exprimée en hauteur moyenne des matériaux présents sur 20% de la surface de référence**

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)

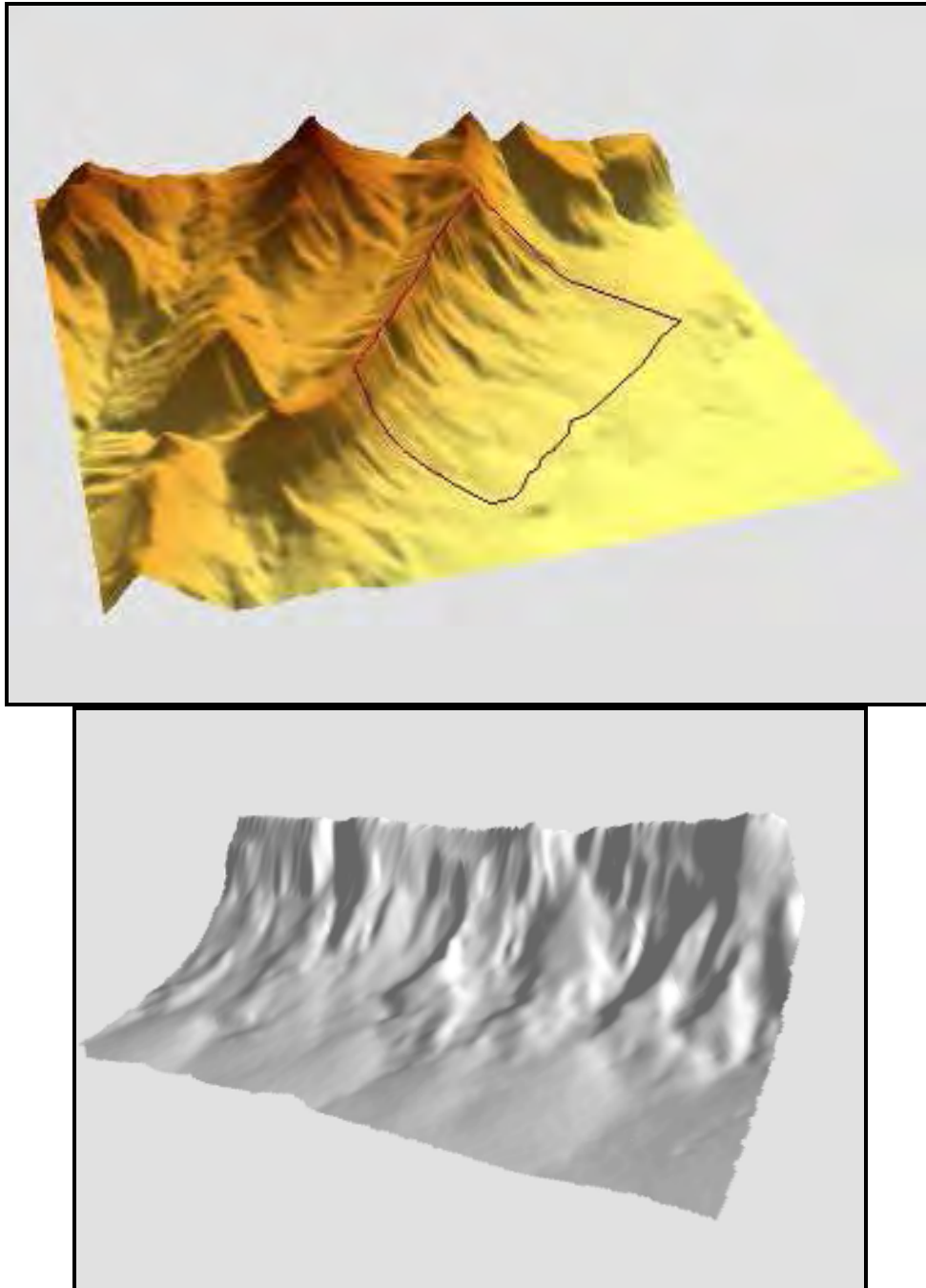




**Carte 10 : Carte de la rugosité présente sur 70% (Rg70) de la surface des unités géomorphologique, exprimée en hauteur moyenne des matériaux présents sur 70% de la surface de référence**

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)

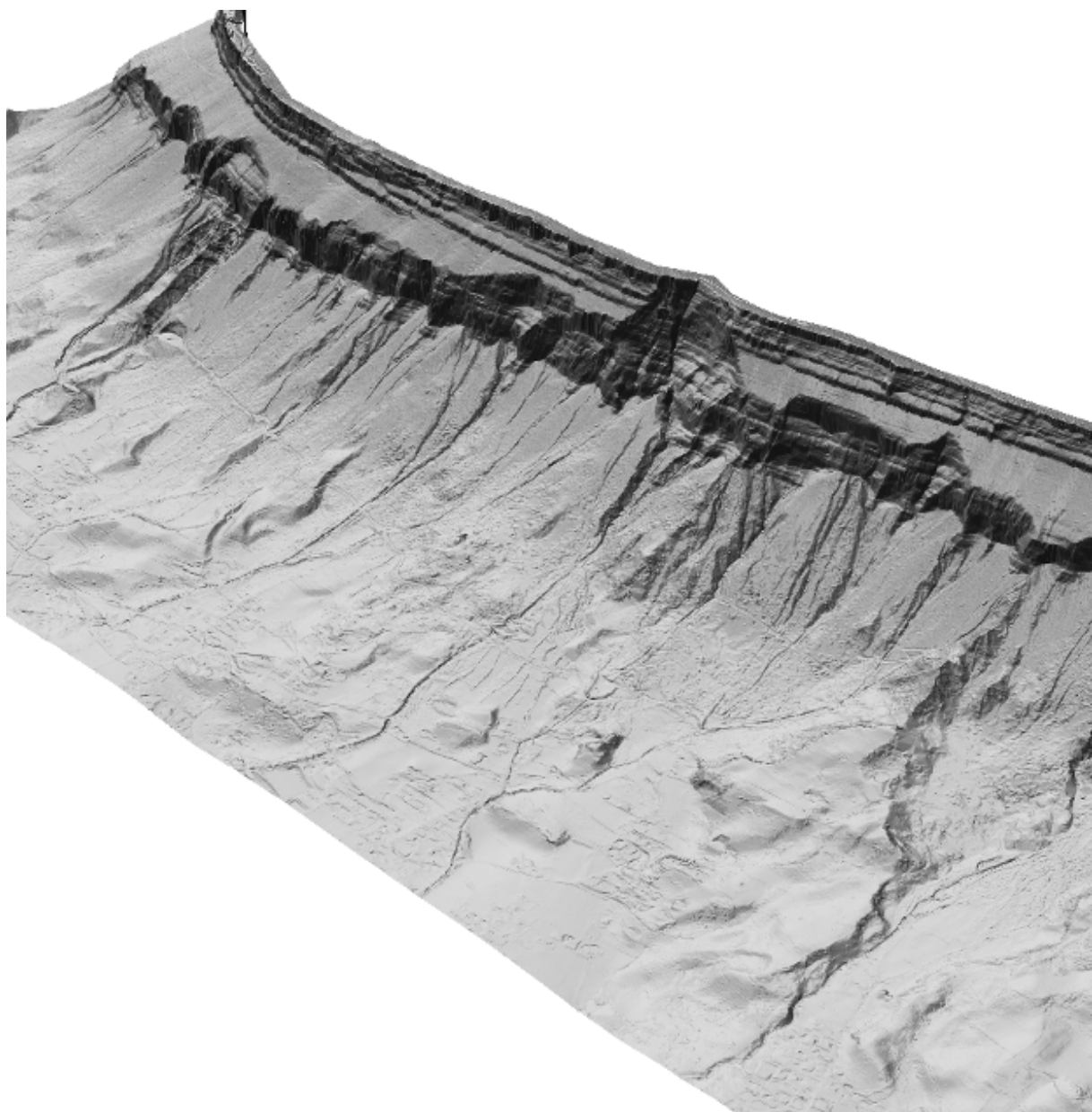
Les MNT utilisés sont celui de l'IGN au pas de 50 m et un MNT Lidar au pas de 1m acquis auprès de la société Sintegra. La résolution du MNT de l'IGN n'est pas suffisante pour représenter les complexités locales du relief. Il permet néanmoins de représenter les bassins versants et lits des torrents, mais de manière lissée par rapport à la réalité (*Figure 14*).



*Figure 14* : Représentations en 3 dimensions du Modèle Numérique de Terrain de l'IGN au pas de 50m

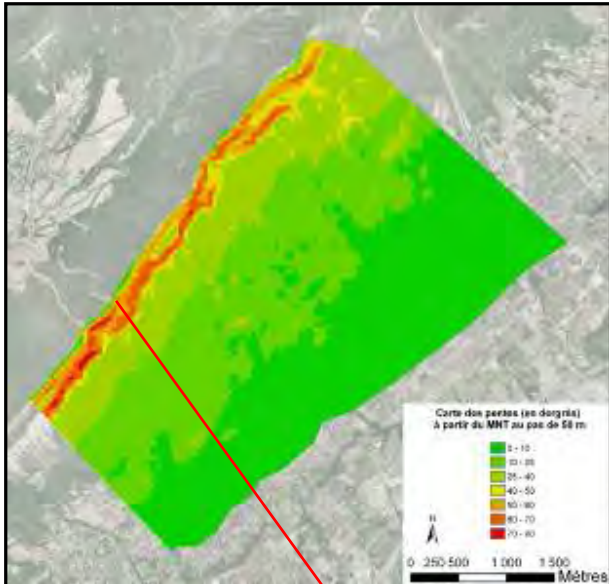


La figure 15 présente le MNT Lidar de la zone d'étude au pas de 1m. Compte tenu de la résolution d'analyse de l'utilitaire Rockfor<sup>NET</sup>, nous avons utilisé le MNT de l'IGN au pas de 50m avec cet utilitaire. Par contre, nous avons utilisé le MNT Lidar au pas de 1m pour les travaux de simulations réalisés avec le modèle Rockyfor3D.



**Figure 15** : Représentations en 3 dimensions du Modèle Numérique de Terrain Lidar au pas de 1m.

Afin de localiser les zones de départs nécessaires aux travaux de simulations, nous avons utilisé la carte des pentes obtenue à partir des deux MNT (i.e **Carte 11** réalisée avec le MNT de l'IGN). Les zones de départs ont été déterminées en fonction de la pente afin de cibler les zones de falaises. Celles-ci sont en fait caractérisées par des pentes de plus de 45° (vérifiées par photographie aérienne). (**Carte 12**).



**Carte 11 : Carte des pentes générées par le MNT**

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



**Carte 12 : localisation des zones de falaises (points de départ des blocs)**

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



## Phase 2 : Evaluation du rôle de protection du peuplement forestier dans son état actuel

### Résultats obtenus du avec Rockfor<sup>LIN</sup> basé sur le principe de la ligne d'énergie

A partir du Modèle Numérique de Terrain au pas de 50 m, on obtient grâce au logiciel Rockfor<sup>LIN</sup> une carte représentant les limites maximales d'arrêt probable des blocs (**Carte 13**), en fonction du type de végétation pris en compte, à savoir une végétation forestière efficace (37°), un taillis de moyenne efficacité (35°) et un cas où la végétation est absente (32°). Cela permet une prédétermination de l'enveloppe maximale probable de propagation des blocs. Il est intéressant de noter que la route forestière qui permet de desservir le captage d'eau est intégralement située dans la zone de propagation à 37° et de ce fait en zone d'aléa fort. De plus, dans certains secteurs les zones de propagation à 35 et 32° incluent des zones urbanisées. Par conséquent les forêts présentes sont donc bien dans une situation où elles peuvent avoir une fonction de protection. La question à traiter maintenant est la qualification de l'efficacité de cette protection.



**Carte 13 : Zones de propagation selon le principe de la ligne d'énergie**

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)

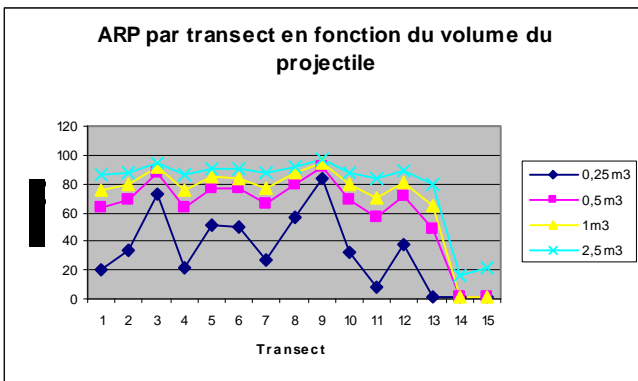
## Résultats des calculs d'Aléa Résiduel Probable (ARP) avec Rockfor<sup>NET</sup> :

Afin d'étudier le maximum de situations, quatre volumes de projectiles ont été testés dans cette analyse ( $0,25\text{ m}^3$ ,  $0,5\text{ m}^3$ ,  $1\text{ m}^3$  et  $2,5\text{ m}^3$ ) (**Tab. 1**)

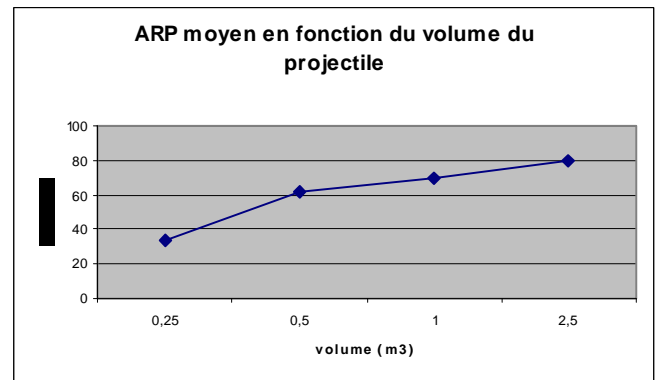
Les résultats donnés sont ceux obtenus à la sortie de chaque transect (**Carte 4**), c'est-à-dire au niveau de la route forestière qui traverse le site. Ils ne correspondent donc pas à la valeur exacte que l'on pourrait obtenir à la sortie précise de la zone boisée. Ces résultats permettent néanmoins de faire ressortir des tendances par rapport à la capacité de protection du peuplement forestier en fonction du volume unitaire des blocs.

Transect	ARP (%) en fonction du volume du bloc			
	ARP $0,25\text{m}^3$	ARP $0,50\text{m}^3$	ARP $1\text{m}^3$	ARP $2,5\text{m}^3$
1	20	63	75	86
2	34	69	79	88
3	73	88	92	95
4	22	64	76	86
5	51	77	85	91
6	50	77	84	91
7	27	66	77	87
8	57	80	87	92
9	83	92	95	97
10	32	69	79	88
11	8	56	70	83
12	38	71	81	89
13	1	48	65	80
14	1	1	1	16
15	1	1	1	21
Moyenne	33	61	70	79

**Tab. 1** : Résultats de l'analyse par Rockfor<sup>NET</sup> pour des blocs de  $0,25\text{ m}^3$ ,  $0,5\text{ m}^3$ ,  $1\text{ m}^3$  et  $2,5\text{ m}^3$



**Graph. 1** : Représentation des valeurs de l'ARP pour les blocs de  $0,25\text{ m}^3$ ,  $0,5\text{ m}^3$ ,  $1\text{ m}^3$  et  $2,5\text{ m}^3$  selon les transects



**Graph. 2** : Représentation des valeurs de l'ARP moyen en fonction du volume du bloc

On constate une nette augmentation dans le pourcentage de blocs passant l'écran forestier en fonction du volume du projectile. Plus celui-ci est important, plus l'ARP est grand (**Graph. 2**). Cependant, la différence la plus nette se situe lorsque l'on passe d'un volume de  $0,25\text{ m}^3$  à un volume de  $0,5\text{ m}^3$  pour lesquels la valeur d'ARP double quasiment alors que cette augmentation relative diminue au dessus de  $0,5\text{ m}^3$ .

Par ailleurs, on remarque de nettes différences d'ARP en fonction des transects. Cette variation est d'autant plus marquée que le volume du projectile est faible. Ainsi, Les transects 3 et 9 ressortent avec un ARP élevé tandis que les transects 14 et 15 montrent un ARP très faible.

Ces variations résultent des conditions topographiques et des caractéristiques dendrométriques des peuplements forestiers. En effet, plus la pente sera forte, plus le projectile parcourra de distance. En revanche, il est possible d'influencer le pourcentage de bloc sortant de l'écran forestier en agissant directement sur les caractéristiques de la forêt. Jouer sur la longueur de la zone boisée, la distance d'entrée dans la zone boisée, la densité, les diamètres etc. permet de diminuer ou augmenter l'efficacité du peuplement en termes de protection. Pour le Saint Eynard, les secteurs « sensibles » sont ceux aux abords des transects 3 et 9. Par exemple, ouvrir le peuplement dans ces secteurs pourrait présenter un risque important pour les enjeux situés en aval.

De plus, on peut à priori penser que les actions sylvicoles auront plus d'influence sur l'arrêt de blocs de faible volume que sur de gros blocs ; les valeurs d'ARP étant déjà très élevées pour un volume unitaire qui avoisine le mètre cube (sauf pour la parcelle 9 qui montre de très faibles valeurs d'ARP).

### **Résultats des simulations trajectographiques avec Rockyfor3D :**

Le logiciel Rockyfor3D calcul pour chacun des projectiles rocheux, dont la propagation est simulée à partir de chacune des zones de départ identifiées par l'utilisateur de ce logiciel, les paramètres suivants :

- Son volume choisi aléatoirement par tirage au sort dans l'intervalle +/-30% du volume choisi par l'opérateur
- En tout point de sa trajectoire simulée et pour chacune des mailles du MNT (appelées aussi « cellules de calcul »):
- Sa vitesse de translation et de rotation
- Sa hauteur de passage normale à la pente
- Son énergie cinétique
- Sa direction de propagation
- Si le projectile s'arrête au pas

Ces calculs sont réalisés pour chacun des deux scénarii : avec et sans prise en compte de la végétation forestière.

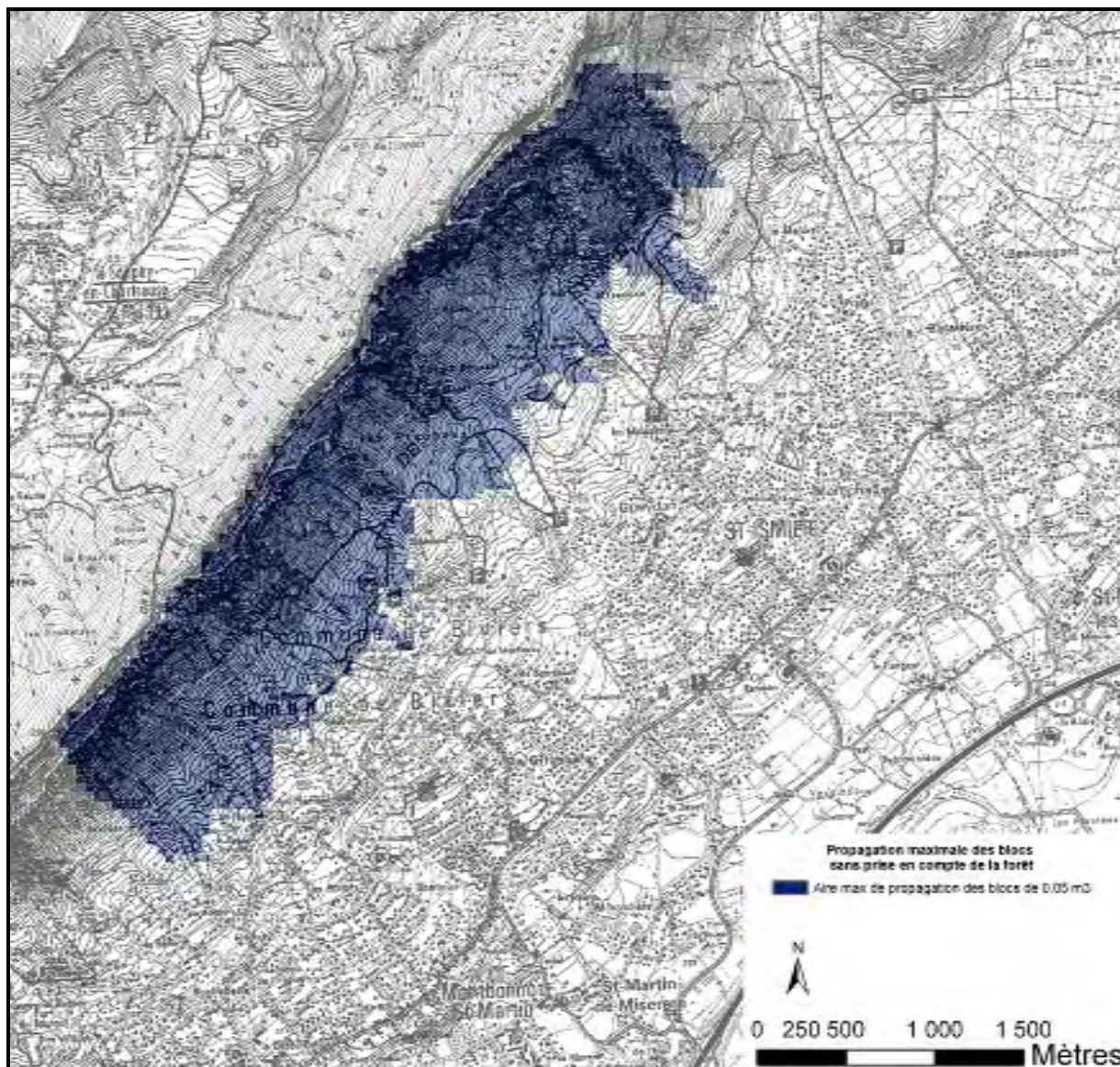
Ces données sont automatiquement mises en forme cartographique par ce logiciel afin d'obtenir pour la totalité du secteur d'étude et les deux scénarii, les cartes suivantes :

- La carte de l'enveloppe maximale de propagation
- La carte des points d'arrêt exprimée en fonction du volume des projectiles.
- La carte des fréquences de passage des projectiles rocheux pour chacune des cellules de calcul.
- La carte de l'énergie cinétique moyenne de passage pour chacune des cellules de calcul.
- La carte de l'énergie cinétique maximale de passage pour chacune des cellules de calcul.
- La carte de la hauteur normale (par rapport à la pente) moyenne de passage pour chacune des cellules de calcul.
- La carte de la hauteur normale maximale (par rapport à la pente) de passage pour chacune des cellules de calcul.

Pour faciliter la lecture et la comparaison des cartes obtenues pour chacun des deux scénarii (sans et avec prise en compte de la végétation forestière actuellement présente sur le site d'étude), seules les enveloppes de propagations sont présentées (**Carte 14 et 15**). Ces cartes permettent ainsi de visualiser aisément l'influence de la végétation forestière en termes de propagation (**Carte 16**).

Le volume utilisé pour les simulations est celui des blocs le plus souvent rencontrés lors des inventaires de terrain, à savoir des blocs cubiques de 40 cm de côté soit un volume unitaire de 0,06 m<sup>3</sup> et 500 simulations ont été réalisées pour chacun des points de départ. Pour ce volume de projectile rocheux, la végétation forestière présente offre une protection efficace car elle permet de réduire fortement leur zone de propagation .

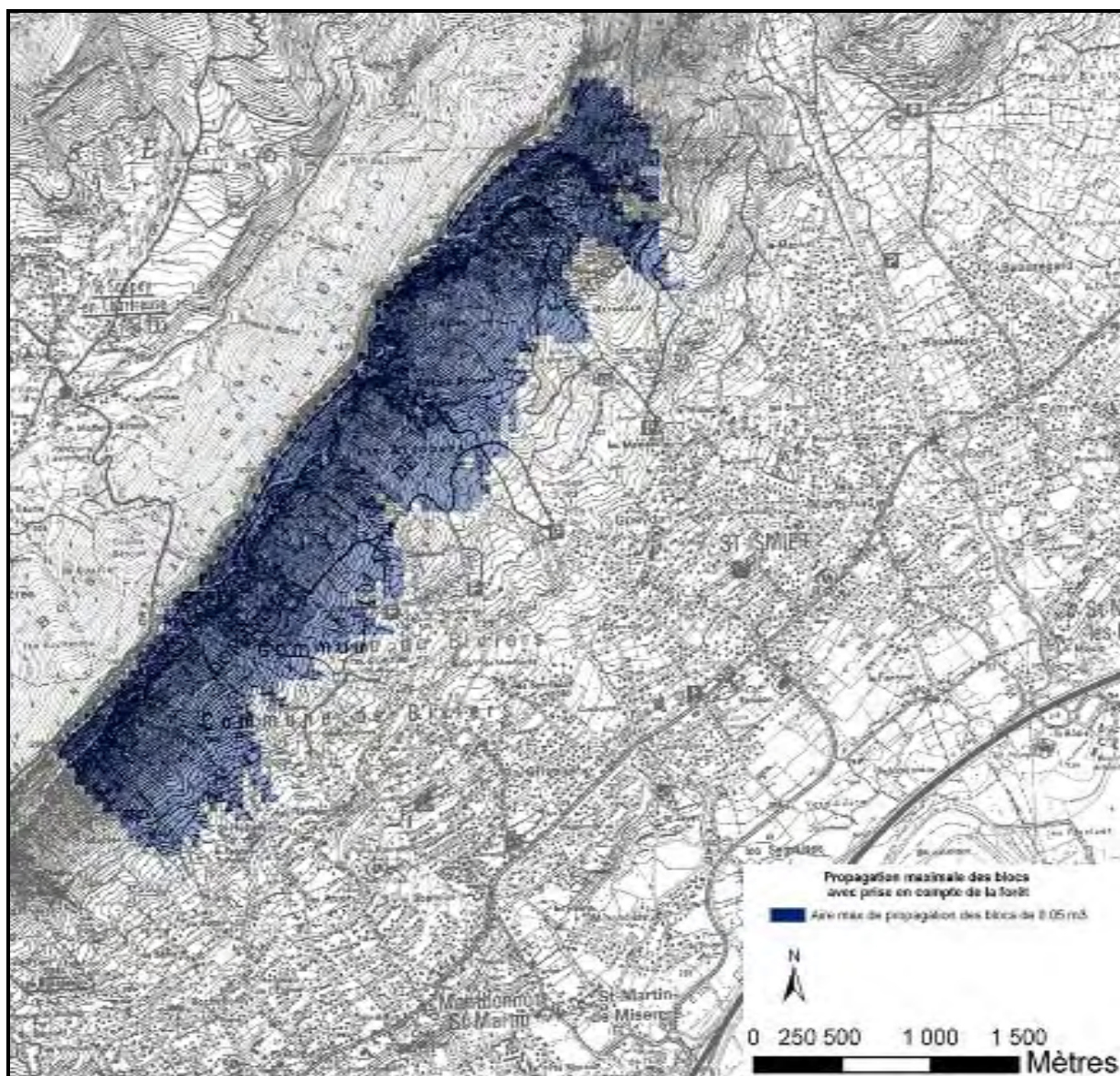




**Carte 14 : Enveloppe de propagation maximale obtenue pour le scénario sans prise en compte de la forêt**

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)

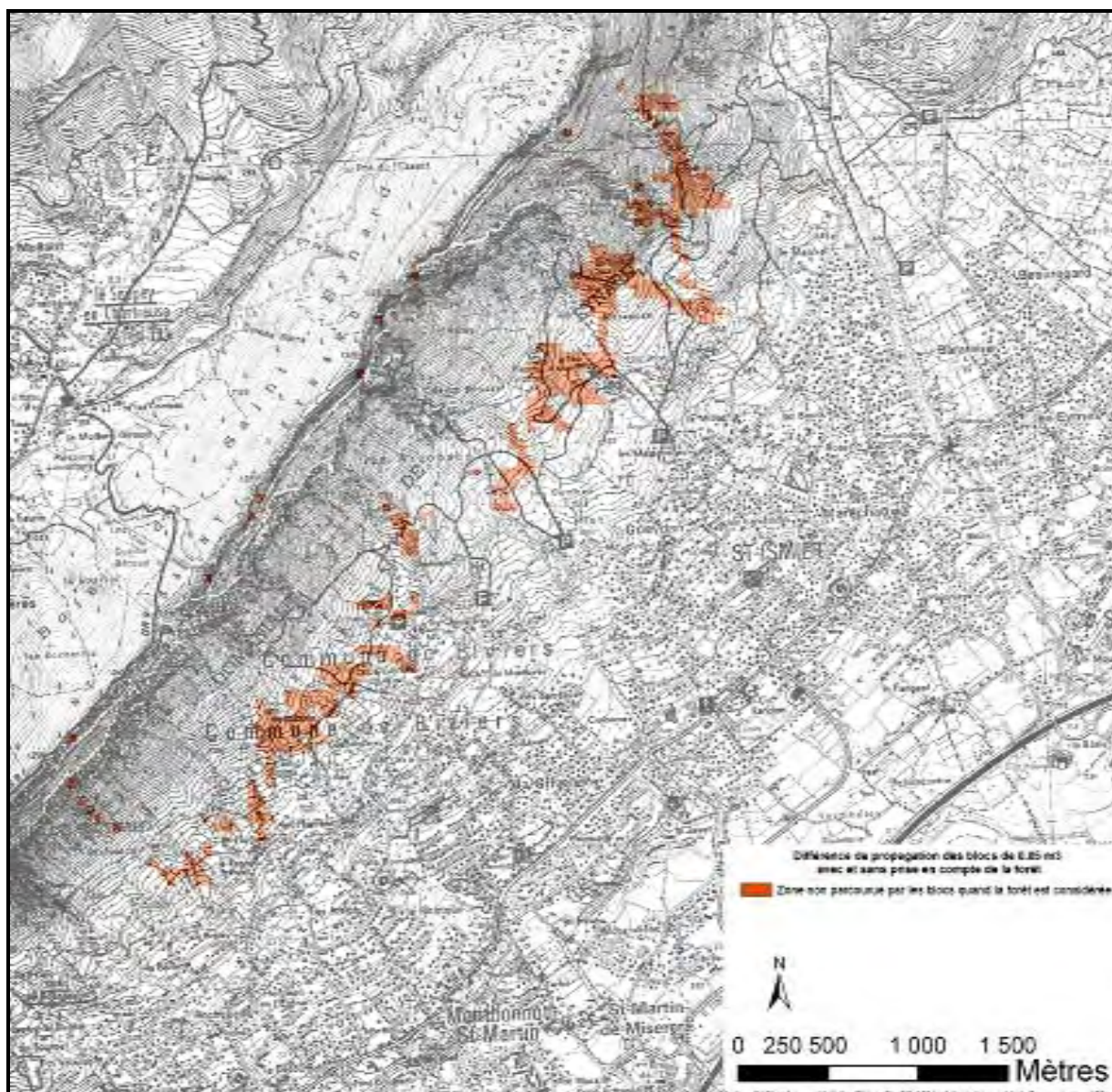




**Carte 15 : Enveloppe de propagation maximale obtenue pour le scénario avec prise en compte de la forêt**

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)





**Carte 16 : Différence des enveloppes de propagation des blocs rocheux entre les simulations avec et sans prise en compte de la forêt**

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)

### Phase 3 : Evaluation de l'impact des coupes par trouées sur la capacité de protection du peuplement forestier

Pour évaluer l'impact direct des coupes par trouées en termes de protection contre les chutes de blocs dans la forêt domaniale du Saint Eynard, trois scénarii ont été comparés. Le premier correspond à l'état de la forêt si les coupes recensées depuis 1994 n'avaient pas eu lieu, le deuxième à l'état actuel de la végétation forestière (avec prise en compte des coupes effectuées depuis 1994) puis le troisième à l'état du peuplement après les coupes prévues par l'ONF d'ici la fin de l'aménagement en cours. Il s'agit donc de calculer l'ARP avec Rockfor<sup>NET</sup> pour ces trois scénarii puis de comparer les résultats entre eux. Nous avons décidé de ne travailler qu'avec Rockfor<sup>NET</sup> à cette étape de l'analyse car il est en accès libre sur internet et d'une utilisation facile et rapide pour le gestionnaire.

Pour le troisième scénario, l'ONF nous a fourni une proposition de futures trouées sous forme de carte. Ces futures coupes sont donc localisées et dimensionnées et sont au nombre de 120 (**Carte 17**).



**Carte 17 : Localisation des futures trouées proposées par l'ONF**

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



Dans un premier temps, nous avons effectué un tri dans ces propositions afin de respecter les recommandations sylvicoles du Guide de Sylviculture de Montagne pour les peuplements à fonction de protection contre les chutes de blocs des Alpes du Nord. Seules celles qui les respectent seront retenues et prises en compte dans le troisième scénario.

Le Guide de Sylviculture de Montagne préconise de limiter la taille des trouées dans un peuplement à fonction de protection contre les chutes de blocs. La longueur d'une trouée (dans la ligne de plus grande pente) doit être inférieure ou égale à 1,3 fois la hauteur du peuplement. De plus, la forêt domaniale du St Eynard étant principalement composé d'un taillis, la longueur des trouées ne doit pas dépasser 20 m. D'autre part, il est nécessaire de préserver un écart d'au moins deux longueurs de trouées en amont de chacune d'entre elles. Ainsi, deux trouées situées dans la même ligne de pente doivent être séparées d'au moins deux fois leur longueur.

Ce principe est donc appliqué sur le site :

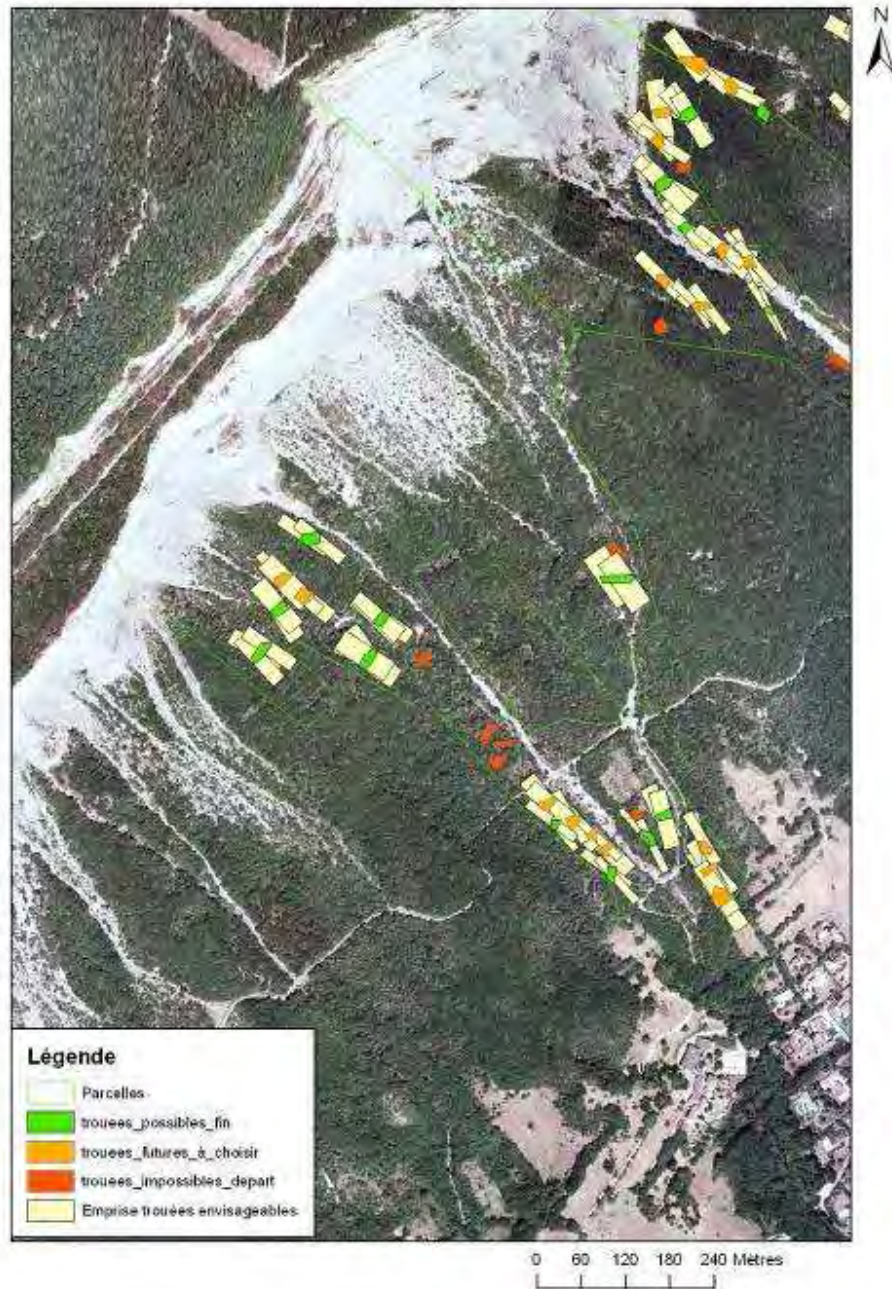
- La hauteur maximale du peuplement est de 15 m. Par précaution, la longueur d'une trouée doit donc être inférieure à 20 m (1,3 fois 15 m). On préservera ainsi deux fois cette longueur, soit 40 m, à l'amont de chacune des trouées.

Nous avons donc appliqué cartographiquement ce principe sur les trouées existantes. Il est ainsi possible de supprimer des trouées proposées lorsqu'elles se trouvent à moins de 40 m en amont d'une trouée existante. Les cartes 18 et 19 présentent un exemple de ces analyses au niveau d'une parcelle et pour un ensemble de parcelles.

Par la suite, ce principe des 40 m est appliqué aux futures trouées proposées qui n'ont pas été précédemment supprimées. Cela nous permet de connaître celles qui sont possibles car distantes l'une de l'autre d'au moins 40 m dans la ligne de plus grande pente et celles qui sont trop proches l'une de l'autre et donc impossibles. Parmi ces dernières, un choix est fait pour ne garder que celles qui permettent de respecter cette distance de 40 m.

On obtient donc la localisation des futures trouées proposées qui respectent les contraintes du GSM (**Carte 20**), soit 74 trouées sur les 120 proposées.

Trouées possibles et trouées à choisir  
Parcelle 4

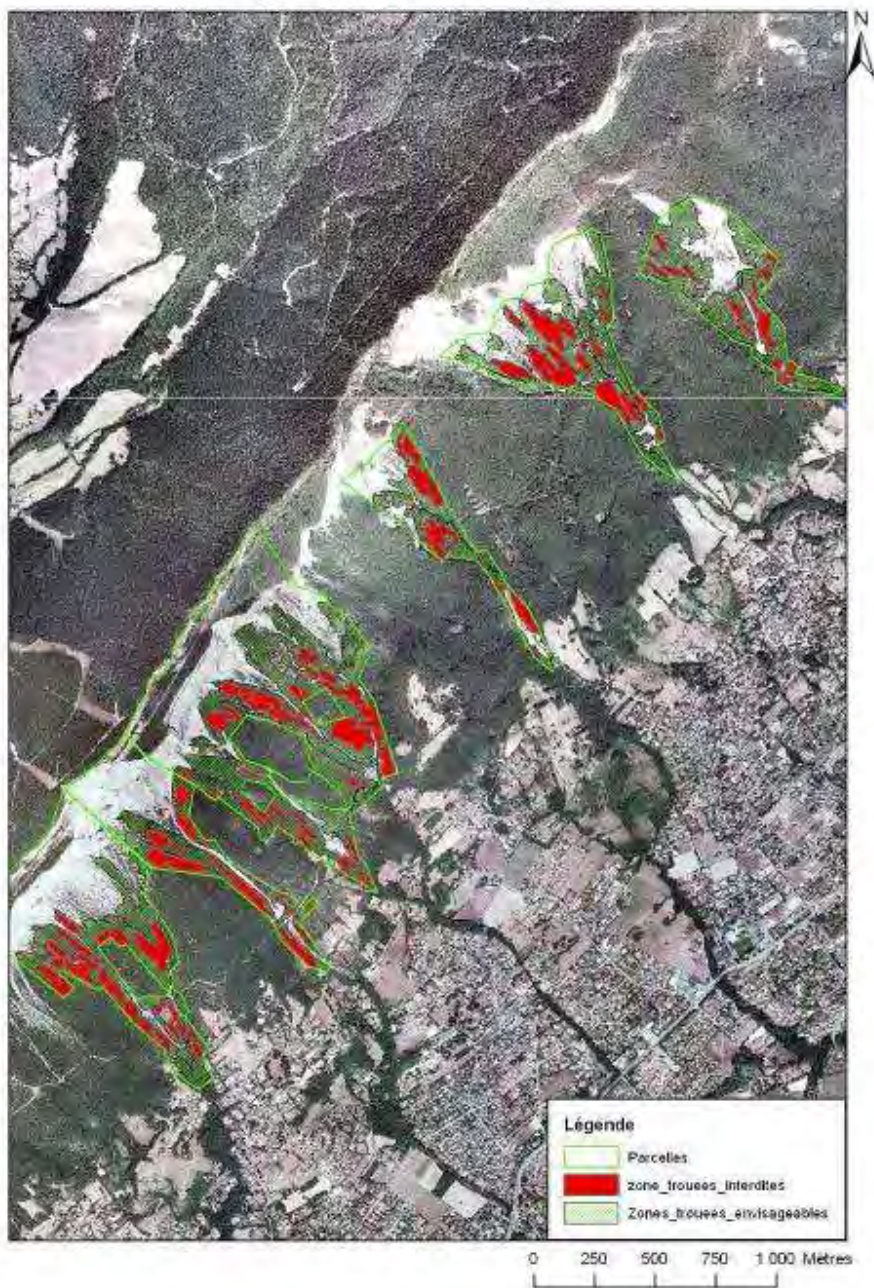


**Carte 18 : Analyse cartographique de l'emplacement des futures trouées possibles, à choisir et impossibles selon les recommandations du GSM**

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



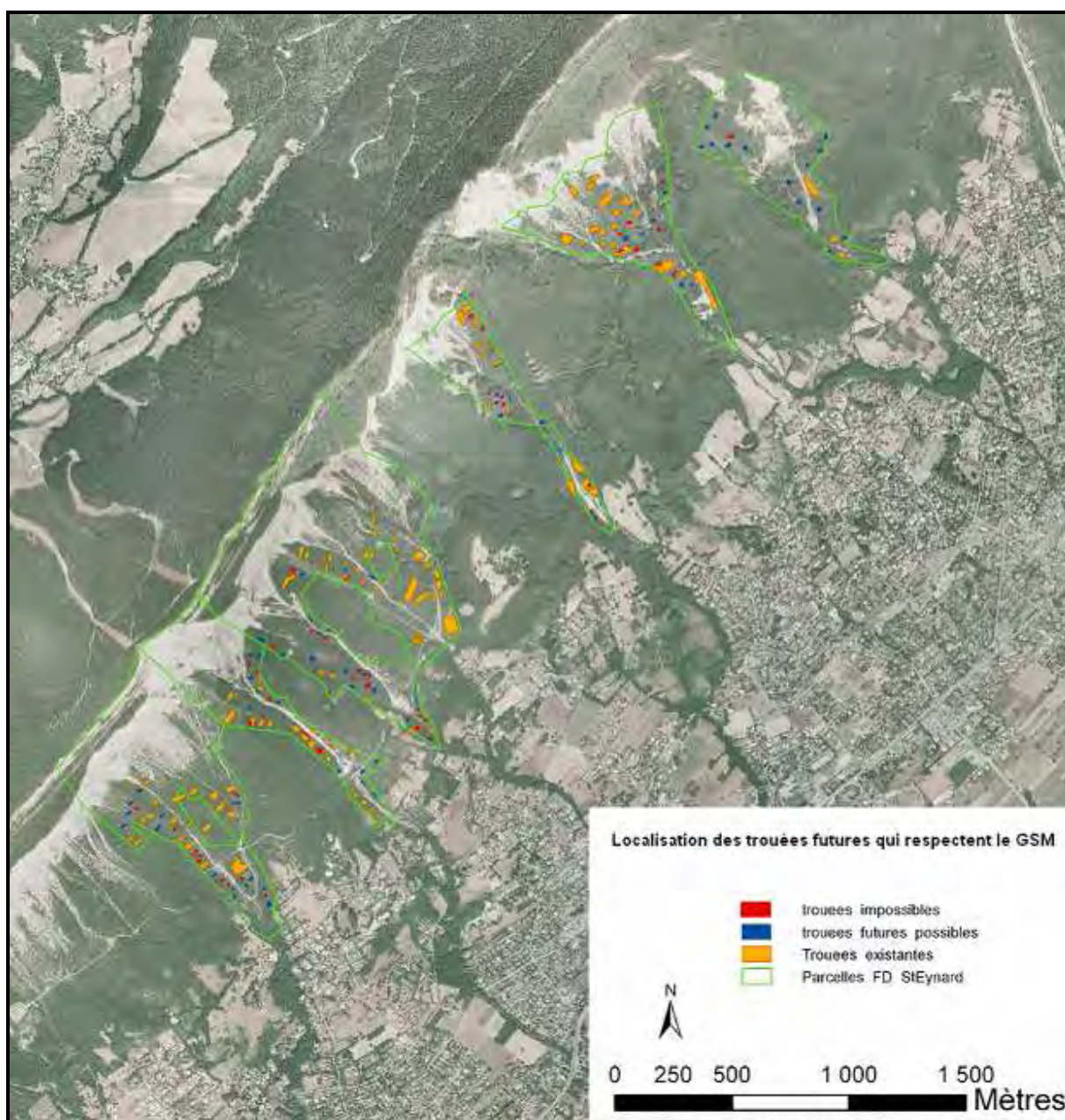
**Localisation des zones où des trouées supplémentaires peuvent être envisagées**



**Carte 19 : Localisation des zones où des trouées supplémentaires sont envisageables après réalisation des trouées initialement programmées et implantées selon les recommandations du GSM**

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



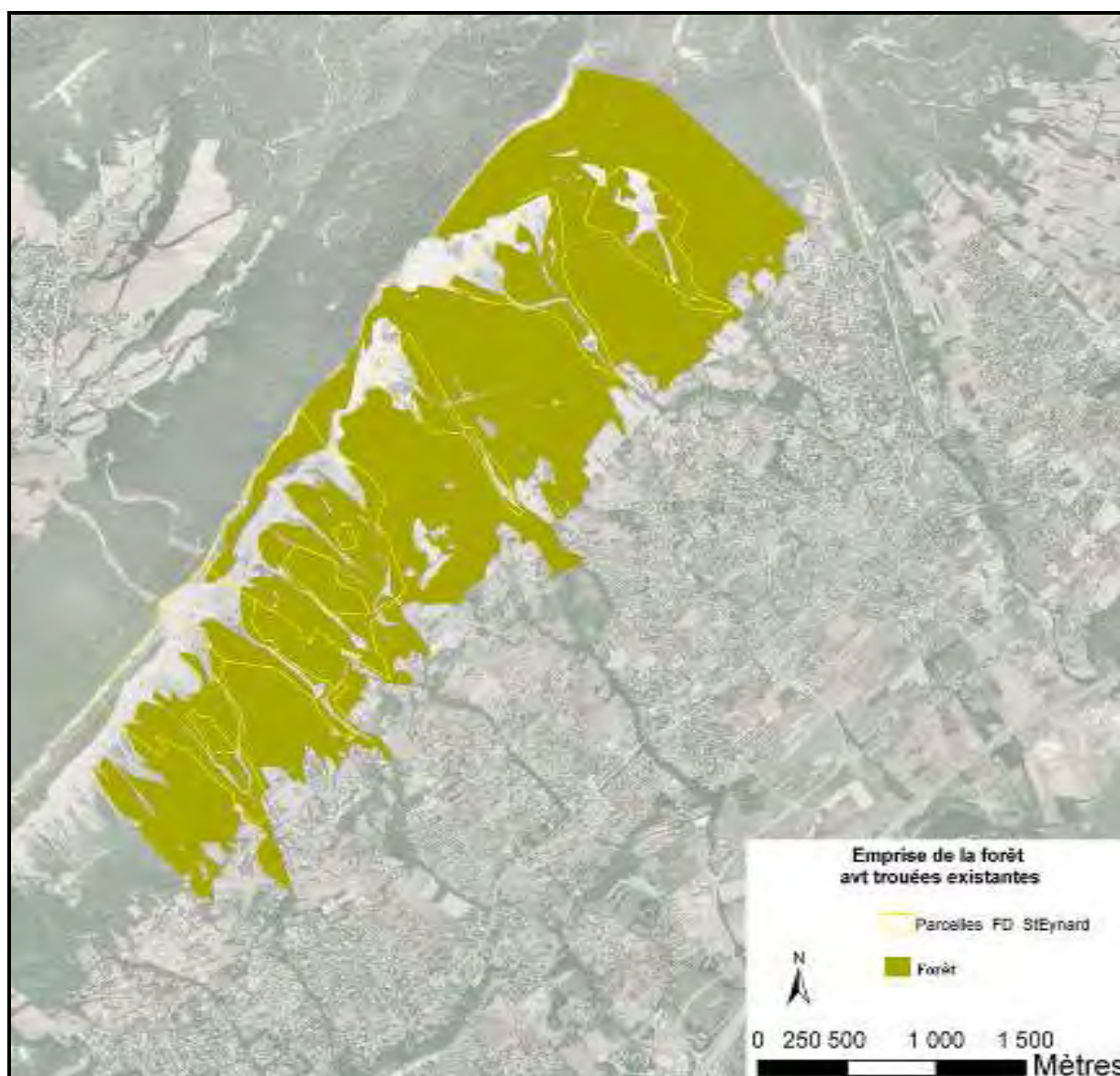


**Carte 20 : Localisation des futures trouées possibles selon les recommandations du GSM**

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)

A ce stade de l'analyse nous avons déterminé l'emprise de la forêt et ces caractéristiques dendrométriques selon les trois scénarii présentés ci-dessous. Puis nous avons pour chacun de ces scénarii calculé l'aléa résiduel probable avec Rockfor<sup>NET</sup>.

**1<sup>er</sup> scénario** : Etat de la forêt sans prise en compte des coupes effectuées depuis 1994

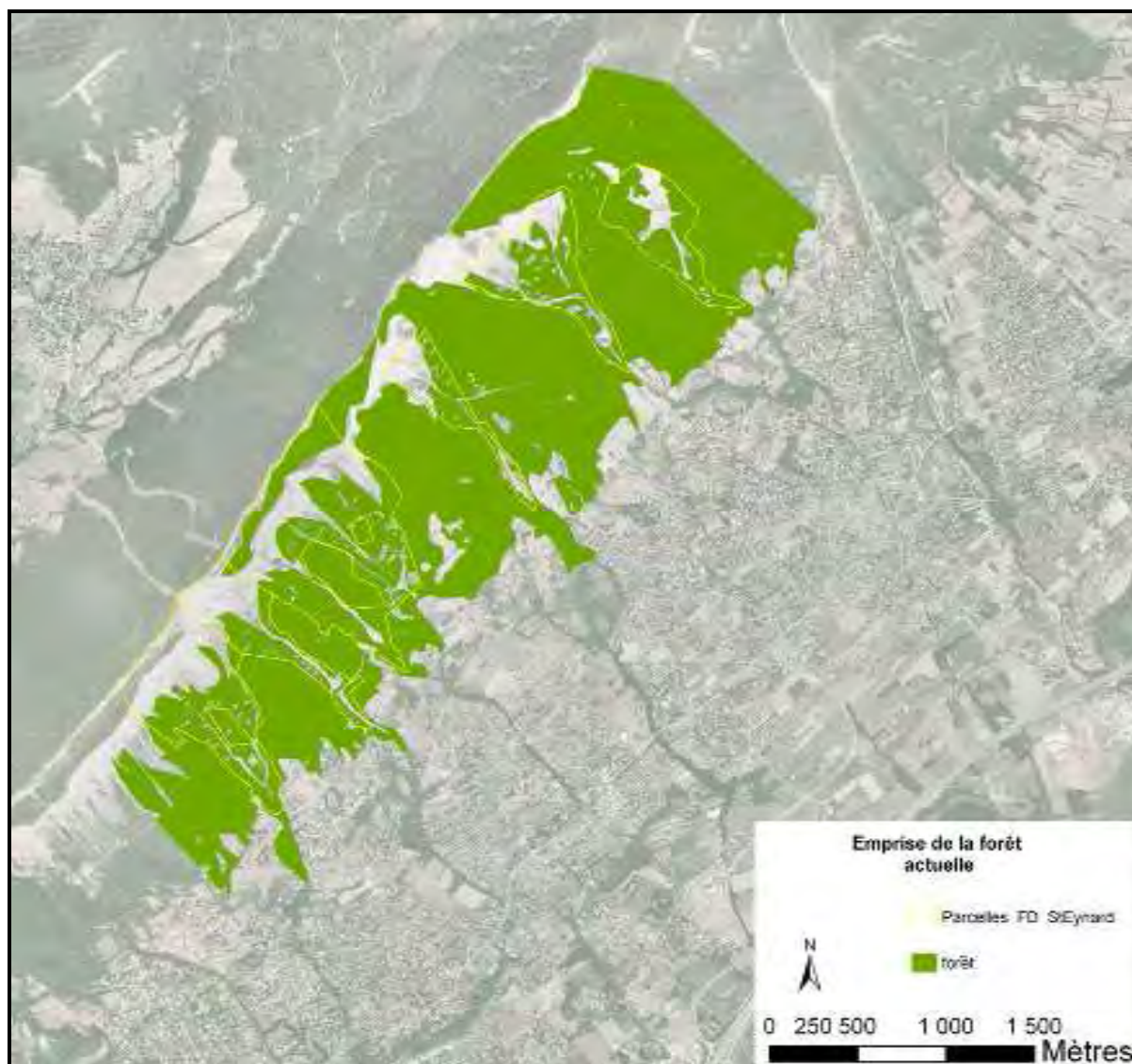


**Carte 21 : Emprise de la forêt sans prendre en compte les trouées effectuées depuis 1994**

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



**2<sup>ème</sup> scénario** : Etat de la forêt actuelle



**Carte 22 : Emprise de la forêt dans son état actuel**

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)

**3<sup>ème</sup> scénario** : Etat de la forêt avec prise en compte des futures coupes



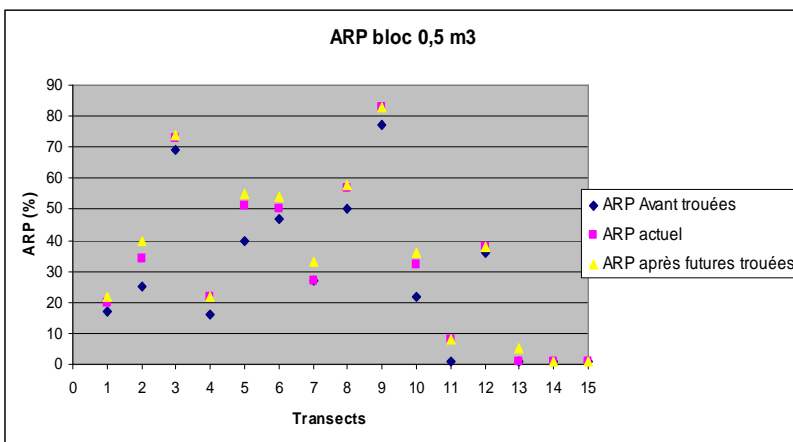
**Carte 23 : Emprise de la forêt en prenant en compte les futures trouées proposées**

*(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)*

## Résultats des calculs d'Aléa Résiduel Probable (ARP) avec Rockfor<sup>NET</sup> :

Bloc 0,25 m <sup>3</sup>						
Transect	ARP Avant trouées	ARP actuel	ARP après futures trouées	Valeur absolue : ARP fut - ARP act	Valeur relative (ARP fut - ARP act) / ARP act	Nb trouées futures
1	17	20	22	2	10,00%	1
2	25	34	40	6	17,65%	4
3	69	73	74	1	1,37%	1
4	16	22	22	0	0,00%	0
5	40	51	55	4	7,84%	4
6	47	50	54	4	8,00%	4
7	27	27	33	6	22,22%	4
8	50	57	58	1	1,75%	1
9	77	83	83	0	0,00%	0
10	22	32	36	4	12,50%	3
11	1	8	8	0	0,00%	1
12	36	38	38	0	0,00%	0
13	1	1	5	4	400,00%	4
14	1	1	1	0	0,00%	3
15	1	1	1	0	0,00%	3
Moyenne	29	33	35	2	6,43%	33

Tab. 2 : Résultats de l'analyse par Rockfor<sup>NET</sup> pour les blocs de 0,25 m<sup>3</sup>



Graph. 3 : Représentation des valeurs de l'ARP avant trouées existantes, actuel et après futures trouées pour les blocs de 0,25 m<sup>3</sup> selon les transects

Pour les blocs de 0,25 m<sup>3</sup>, les conséquences de l'implantation de trouées varient selon l'emplacement. Selon les transects, on augmente l'ARP actuel par la prise en compte des futures trouées de 0 à 6 % en valeur absolue. C'est-à-dire que jusqu'à 6 % de blocs en plus sont susceptibles de franchir l'écran forestier par rapport à la situation actuelle.

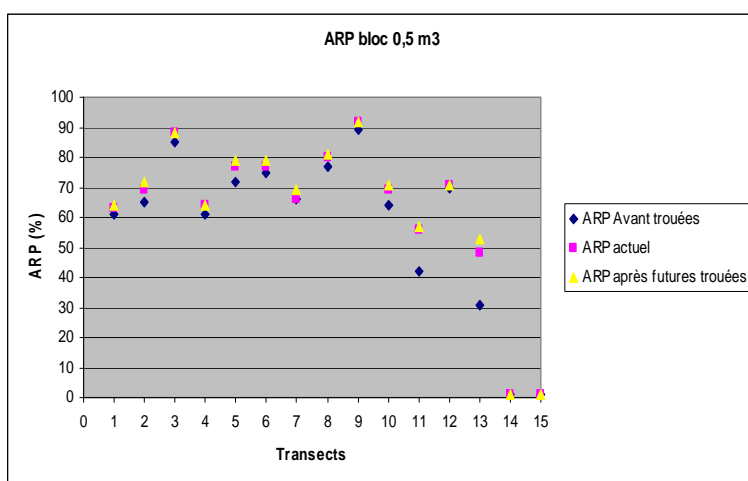
L'ouverture de trouées futures au niveau des transects 2, 5, 6, 7, 10 et 13 augmente le plus fortement l'ARP en valeur absolue. De plus, en valeur relative, on constate que l'implantation de trouées au niveau des transects 1, 2, 5, 6, 7, 10 et 13 influence fortement la capacité de protection du peuplement contre les chutes de pierres, avec une augmentation de l'ARP actuel de 7 à 400 % en valeur relative. L'importance de cette augmentation peut être corrélée au nombre de futures trouées présentes.



En effet, les transects présentant la plus grande augmentation en valeur relative et absolue de l'ARP sont ceux où il y a le plus grand nombre de trouées futures. Les valeurs de l'ARP avant trouées existantes permettent également de se rendre compte de leur influence sur la capacité de protection du peuplement. Sans prendre en compte la dynamique de végétation à l'intérieur de celles-ci, on remarque que leur mise en œuvre jusqu'à aujourd'hui a aussi diminué la capacité de protection du peuplement contre les chutes de pierres.

Bloc 0,5 m <sup>3</sup>						
Transect	ARP Avant trouées	ARP actuel	ARP après futures trouées	ARP fut - ARP act	(ARP fut - ARP act) / ARP act	Nb trouées futures
1	61	63	64	1	1,59%	1
2	65	69	72	3	4,35%	4
3	85	88	88	0	0,00%	1
4	61	64	64	0	0,00%	0
5	72	77	79	2	2,60%	4
6	75	77	79	2	2,60%	4
7	66	66	69	3	4,55%	4
8	77	80	81	1	1,25%	1
9	89	92	92	0	0,00%	0
10	64	69	71	2	2,90%	3
11	42	56	57	1	1,79%	1
12	70	71	71	0	0,00%	0
13	31	48	53	5	10,42%	4
14	1	1	1	0	0,00%	3
15	1	1	1	0	0,00%	3
Moyenne	57	61	63	1,33	2,17%	33

Tab. 3 : Résultats de l'analyse par Rockfor<sup>NET</sup> pour des blocs de 0,5 m<sup>3</sup>



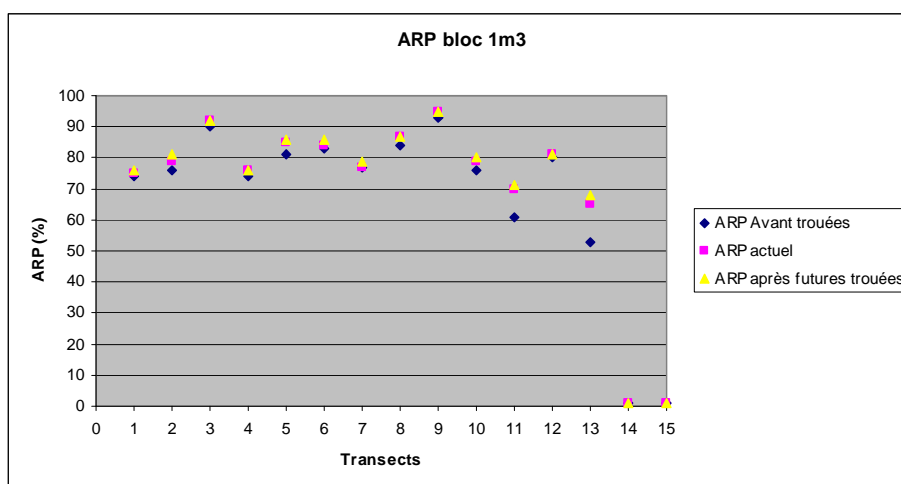
Graph. 4 : Représentation des valeurs de l'ARP avant trouées existantes, actuel et après futures trouées pour les blocs de 0,5 m<sup>3</sup> selon les transects

Pour les blocs de 0,5 m<sup>3</sup>, l'influence des trouées sur l'ARP est moins importante que pour les blocs de 0,25 m<sup>3</sup>. Selon les transects, l'ARP actuel augmente de 0 à 5 % en valeur absolue après l'implantation des trouées

futures et de 0 à un peu plus de 10 % en valeur relative. De même, l'augmentation est d'autant plus forte que le nombre de trouées futures est important. Ici, l'ouverture des trouées futures sélectionnées ont une forte influence sur la capacité de protection contre les chutes de pierres du peuplement au niveau des transects 2, 7 et 13.

Bloc 1m <sup>3</sup>						
Transect	ARP Avant trouées	ARP actuel	ARP après futures trouées	ARP fut - ARP act	(ARP fut - ARP act) / ARP act	Nb trouées futures
1	74	75	76	1	1,33%	1
2	76	79	81	2	2,53%	4
3	90	92	92	0	0,00%	1
4	74	76	76	0	0,00%	0
5	81	85	86	1	1,18%	4
6	83	84	86	2	2,38%	4
7	77	77	79	2	2,60%	4
8	84	87	87	0	0,00%	1
9	93	95	95	0	0,00%	0
10	76	79	80	1	1,27%	3
11	61	70	71	1	1,43%	1
12	80	81	81	0	0,00%	0
13	53	65	68	3	4,62%	4
14	1	1	1	0	0,00%	3
15	1	1	1	0	0,00%	3
Moyenne	67	70	71	0,87	1,24%	33

Tab. 4 : Résultats de l'analyse par Rockfor<sup>NET</sup> pour des blocs de 1 m<sup>3</sup>

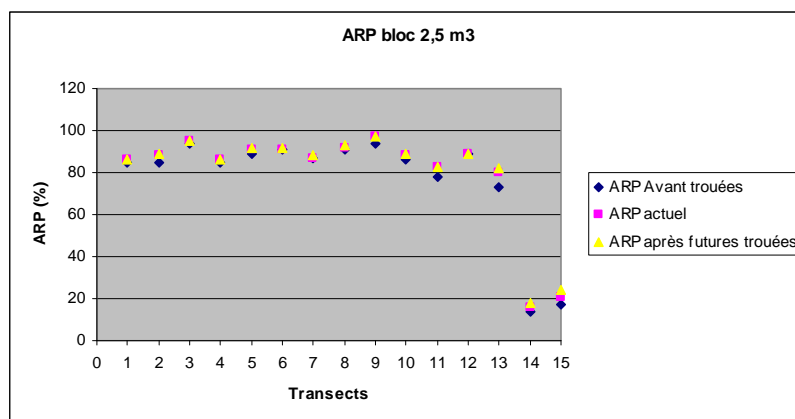


Graph. 5 : Représentation des valeurs de l'ARP avant trouées existantes, actuel et après futures trouées pour les blocs de 1 m<sup>3</sup> selon les transects

Pour les blocs d'1 m<sup>3</sup>, l'augmentation de l'ARP actuel par l'ouverture des trouées futures sélectionnées varie de 0 à 3 % en valeur absolue et de 0 à presque 5 % en valeur relative. Cette augmentation est donc plus faible que pour les blocs de volumes inférieurs. La mise en place de trouées influence donc principalement la capacité de protection du peuplement vis-à-vis des chutes de pierre au niveau des transects 2, 6, 7 et 13.

Bloc 2,5 m <sup>3</sup>						
Transect	ARP Avant trouées	ARP actuel	ARP après futures trouées	ARP fut - ARP act	(ARP fut - ARP act) / ARP act	Nb trouées futures
1	85	86	86	0	0,00%	1
2	85	88	89	1	1,14%	4
3	94	95	95	0	0,00%	1
4	85	86	86	0	0,00%	0
5	89	91	92	1	1,10%	4
6	91	91	92	1	1,10%	4
7	87	87	88	1	1,15%	4
8	91	92	93	1	1,09%	1
9	94	97	97	0	0,00%	0
10	86	88	89	1	1,14%	3
11	78	83	83	0	0,00%	1
12	89	89	89	0	0,00%	0
13	73	80	82	2	2,50%	4
14	14	16	18	2	12,50%	3
15	17	21	24	3	14,29%	3
Moyenne	77	79	80	0,87	1,09%	33

Tab. 5 : Résultats de l'analyse par Rockfor<sup>NET</sup> pour des blocs de 2,5 m<sup>3</sup>

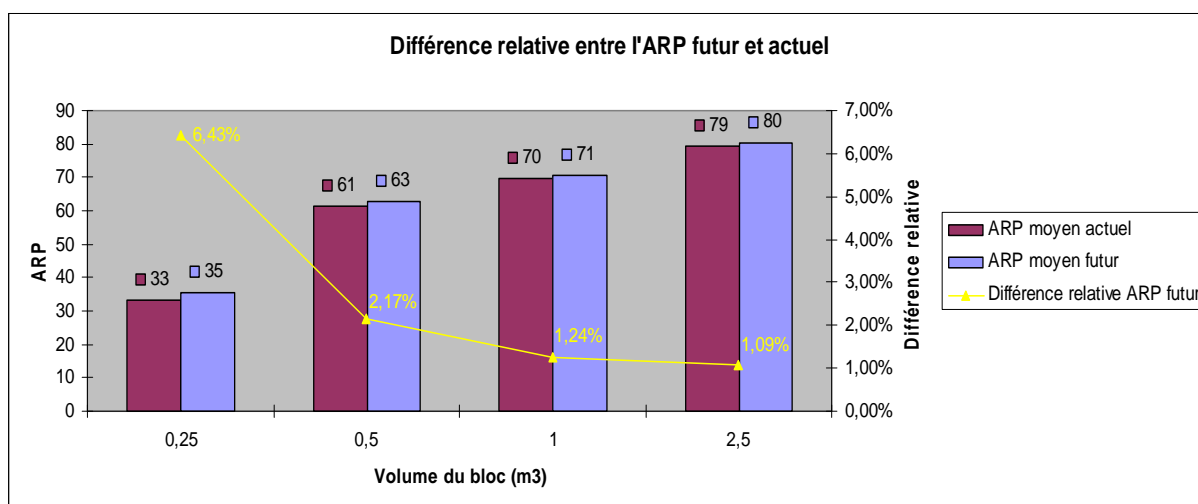


Graph. 6 : Représentation des valeurs de l'ARP avant trouées existantes, actuel et après futures trouées pour les blocs de 2,5 m<sup>3</sup> selon les transects

Pour les blocs de 2,5 m<sup>3</sup>, l'influence des trouées apparaît relativement faible pour la plupart des transects. L'ARP actuel est augmenté au maximum de 3% en valeur absolue mais en valeur relative, les transects 14 et 15 montrent une forte augmentation avec l'implantation des trouées futures. Cela s'explique par le fait que pour tous les autres transects, l'ARP actuel est déjà très élevé pour des blocs de ce volume tandis que les transects 14 et 15 montrent un ARP actuel plutôt faible avec 16 et 21 %. Ici, le nombre de trouées n'influence que très peu cette augmentation de l'ARP.

Volume bloc (m <sup>3</sup> )	ARP moy actuel	ARP moy futur	Différence relative ARP futur
0,25	33	35	6,43%
0,5	61	63	2,17%
1	70	71	1,24%
2,5	79	80	1,09%

**Tab. 6 :** ARP moyen actuel et ARP moyen selon le volume unitaire des blocs



**Graph. 7 :** Représentation des différences relatives entre l'ARP après futures trouées et l'ARP actuel selon le volume unitaire des blocs

D'une manière générale, la mise en place de trouées de renouvellement influence plus fortement la capacité de protection du peuplement face aux blocs de taille réduite.

Plus le volume unitaire d'un bloc est important, moins les trouées dans le peuplement n'auront d'influence sur ses dispositions à les arrêter.

En effet, on constate que l'ouverture des futures trouées proposées augmente en valeur relative moyenne de 6,43 % le nombre de blocs de 0,25 m<sup>3</sup> susceptibles de sortir de l'écran forestier au niveau de la route forestière contre 1,09 % pour les blocs de 2,5 m<sup>3</sup>. Cette augmentation relative chute très vite pour un volume de bloc supérieur à 0,25 m<sup>3</sup>. Ceci s'explique aussi par le fait que le pourcentage des blocs passant l'écran forestier est déjà très élevé dans la situation actuelle pour les blocs d'un volume égal ou supérieur à 0,5 m<sup>3</sup>. L'ouverture de nouvelles trouées ne semble donc pas altérer significativement le rôle de protection du peuplement contre les blocs de plus de 0,5 m<sup>3</sup>. Ce constat est important à prendre en compte dans la gestion de ce peuplement car les blocs de petits volumes sont les plus importants et les plus fréquents. La capacité de protection du peuplement contre ce type de bloc (faible volume) apparaît donc relativement affaiblie par l'ouverture de trouées. Leur nombre et leur localisation sur le versant sont donc très importants à prendre en compte dans la gestion du peuplement forestier.



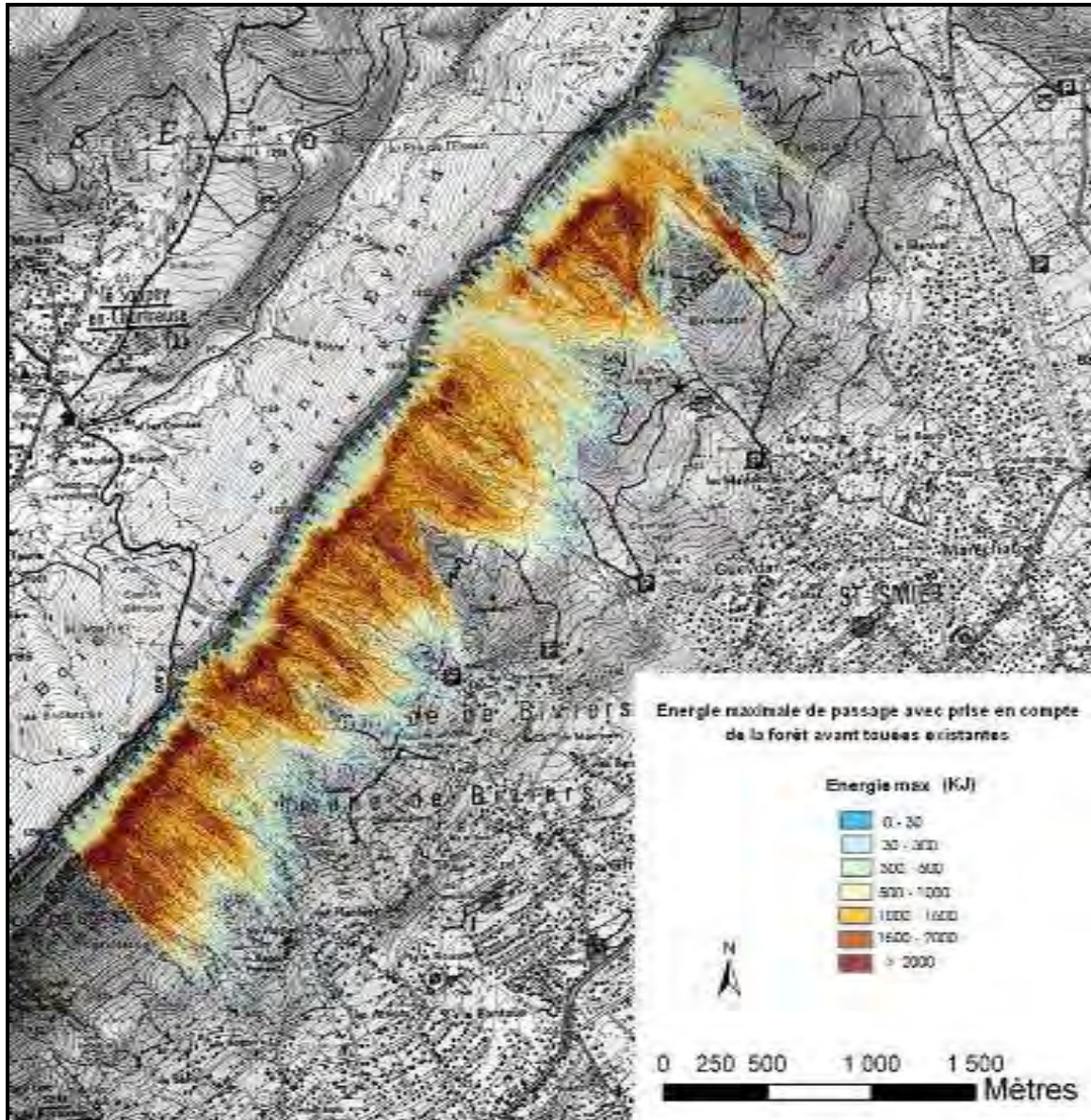
## Résultats des simulations trajectographiques avec Rockyfor3D :

Des résultats obtenus avec Rockfor<sup>NET</sup>, il ressort que pour des blocs de  $0,5\text{m}^3$  et plus, la réalisation de trouées de régénération est transparente à la propagation des blocs, c'est-à-dire qu'elles n'augmentent pas significativement l'ARP. Pour vérifier ce constat, nous avons réalisé des simulations trajectographiques en trois dimensions selon les trois scénarios présentés plus haut, c'est-à-dire selon l'état de la végétation forestière (état avant les coupes effectuées depuis 1994, état actuel et état après les futures coupes proposées). Ces simulations ont été réalisées pour des projectiles rocheux dont le volume est compris dans l'intervalle  $[0,5\text{m}^3 ; 2,5\text{m}^3]$ .

Nous avons donc réalisées ces analyses avec Rockyfor3D avec 500 simulations par points de départ et le MNT Lidar au pas de 1 m ré-échantillonné au pas de 5 m pour une optimisation des temps de calcul (**Carte 24, Carte 25, Carte 26**).

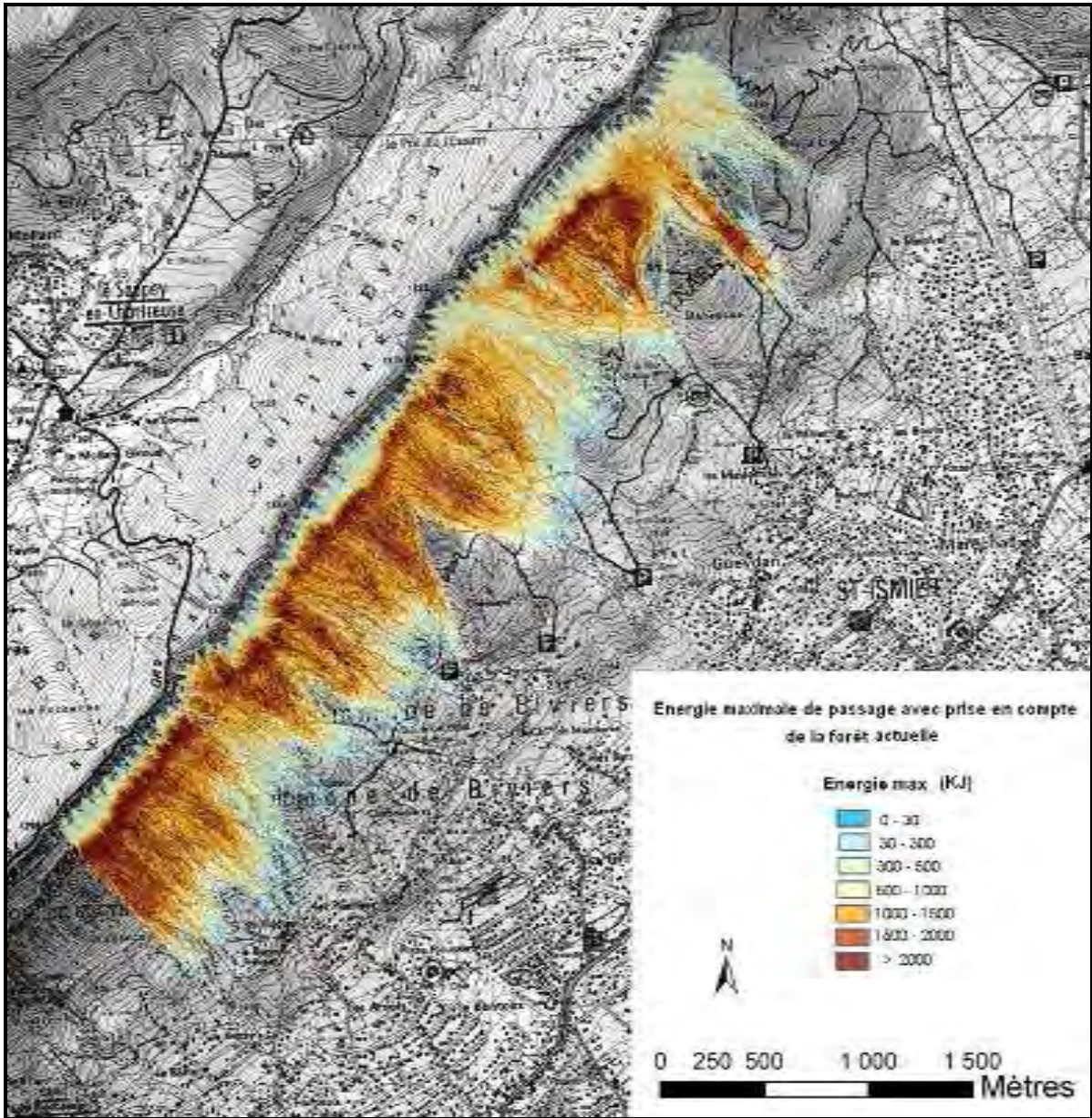
On constate que les résultats obtenus confirment les conclusions attendues. En effet, les résultats selon les trois scénarios apparaissent identiques. Aucune différence notable n'en ressort par comparaison entre les trois cartes obtenues.

Ainsi, au regard des résultats des différents travaux de simulations que nous avons réalisés (Rokfor<sup>NET</sup> et Rockyfor3D), il ressort que les peuplements forestiers situés dans la zone d'étude du Saint Eynard, ont un rôle de protection efficace uniquement pour les projectiles rocheux d'un volume inférieur ou égal à  $0,25\text{m}^3$ . Par conséquent la gestion forestière à mettre en œuvre sur ce versant doit répondre à la satisfaction des critères seuils du GSM relatifs à ce volume unitaire de propagation.



**Carte 24 : Energie cinétique maximale des blocs pour le scénario avec prise en compte de la forêt avant les trouées existantes (scénario 1)**  
 (Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)

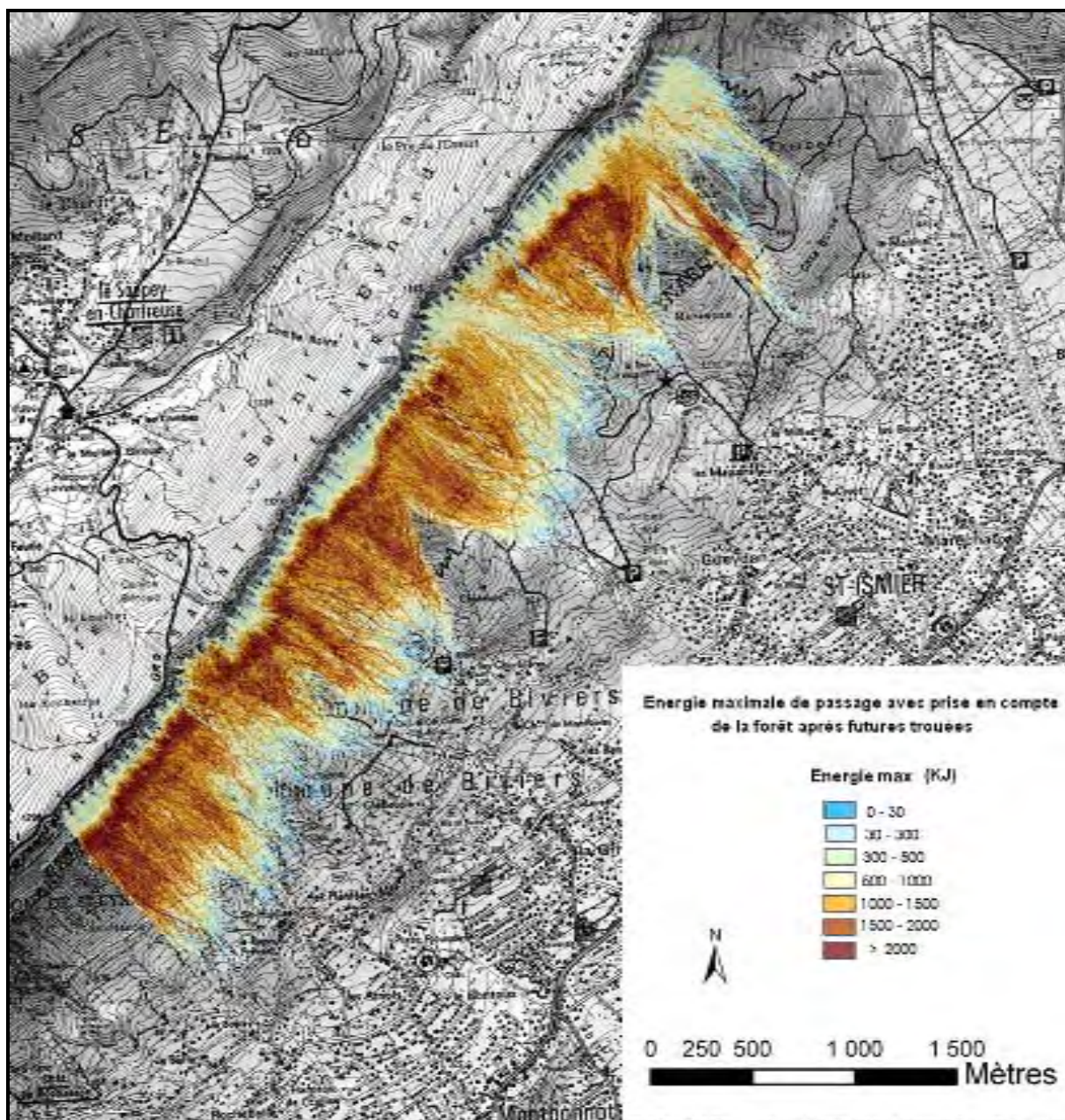




**Carte 25 : Energie cinétique maximale des blocs pour le scénario avec prise en compte de la forêt dans son état actuel (scénario 2)**

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)





**Carte 26 : Energie cinétique maximale des blocs pour le scénario avec prise en compte de la forêt après les futures trouées proposées (scénario 3)**

(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



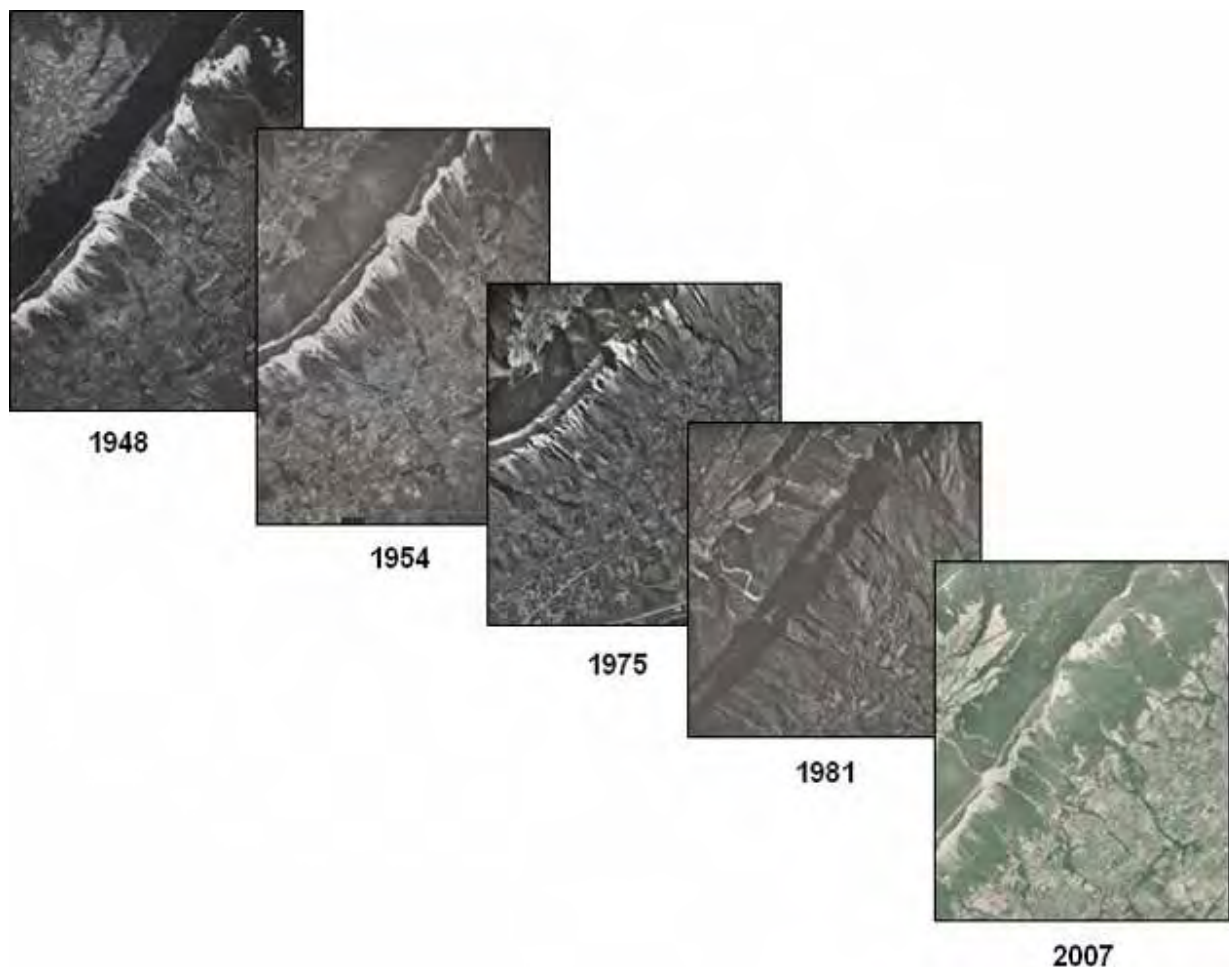
## Phase 4 : Etude de la dynamique de végétation après coupe (prémices de l'étude)

Cette étude comprend deux étapes :

- Analyse diachronique par photographie aérienne de la végétation sur le versant du Saint Eynard
- Suivi dans le temps de la végétation à l'intérieur des trouées.

La première étape a consisté à récupérer des photographies aériennes prises à différentes dates. Ces photographies ont été mises à disposition par le service départemental RTM de l'Isère.

L'objectif de cette analyse est de nous renseigner sur les terrains aujourd'hui boisés qui ne l'étaient pas à une date antérieure. Il est alors possible par un inventaire de terrain de connaître le type de végétation qui a colonisé ces terrains en un temps connu et les caractéristiques du peuplement installé dans ces zones.

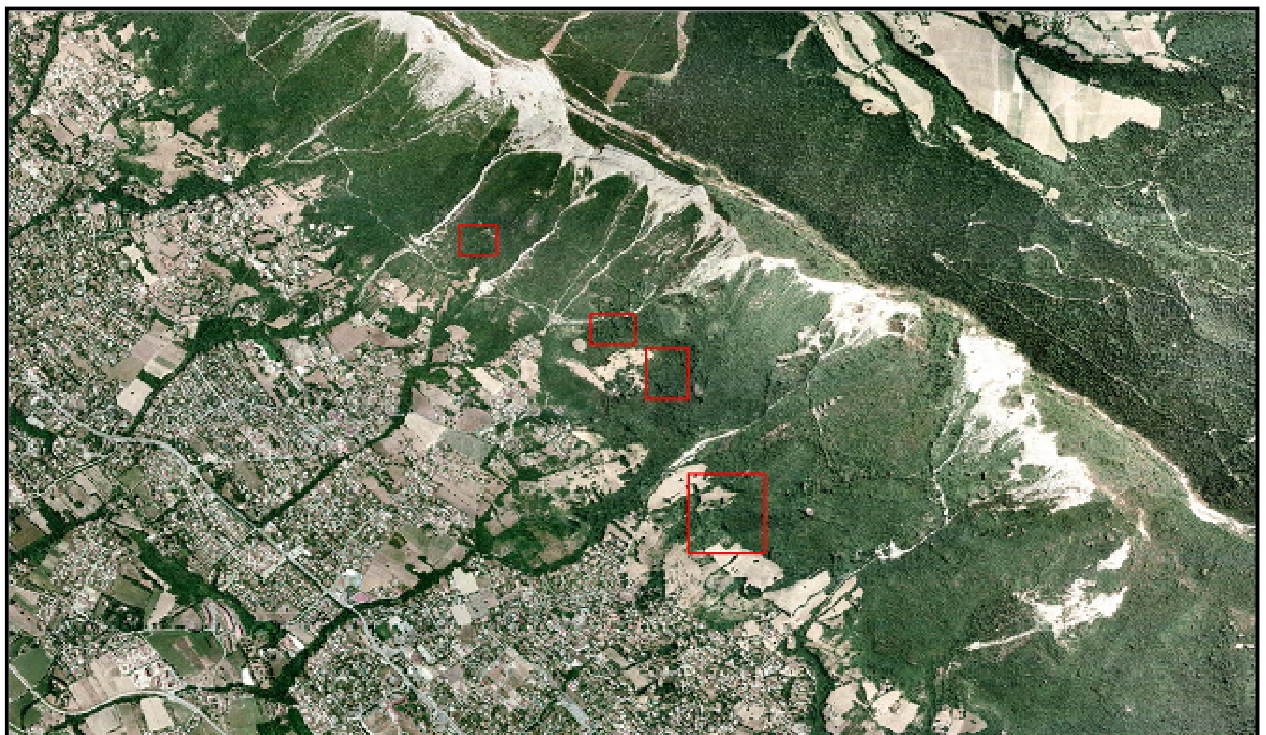


*Figure 17 : Chronologie de photographies aériennes du site d'étude*

Plusieurs zones ont ainsi été identifiées :



1948



2007

**Figure 18** : Identification des zones colonisées par la forêt entre 1948 et 2007

Les résultats de la phase de terrain qui consistait en un inventaire de la végétation présente dans ces zones ont montré qu'elles ont en fait été reboisées (en pins noirs et pins sylvestres principalement). Ces résultats ne nous ont donc pas permis de tirer des conclusions quant à la capacité de colonisation des terrains nus par la végétation pour ces secteurs.

La deuxième étape que constitue le suivi dans le temps de la végétation à l'intérieur des trouées doit permettre de comprendre la dynamique de végétation après une coupe dans ce type de peuplement et dans ces conditions stationnelles. Cette étape fait suite aux premiers travaux menés par Florian Carollo lors de son stage de BTSA Gestion Forestière au Cemagref de Grenoble en 2006

Il s'agit en fait d'évaluer le comportement de la régénération dans les trouées en la comparant au peuplement en amont et en aval. L'hypothèse forte de ce principe d'analyse est que ces peuplements amont et aval sont considérés comme représentatifs du peuplement exploité.

Plusieurs questions se posent alors :

- La taille des trouées est-elle suffisante pour permettre la régénération ?
- Les semis sont-ils capables de s'installer dans les trouées ?
- La régénération se fait-elle principalement par semis ou par rejets ?
- Le peuplement qui découlera de la coupe sera-t-il le même que celui existant auparavant ?
- En combien de temps après coupe obtient-on un peuplement efficace contre les chutes de blocs ?

Pour répondre à ces questions, différentes mesures ont été initiées en 2006. Il s'agit d'une part de mesurer la régénération présente sur des placettes circulaires de 2 mètres de rayon, disposées selon un quadrillage de 8m x 8m. Ainsi, 23% de la surface de la trouée est couverte. D'autre part, il s'agit de compter les souches (>10cm de diamètre) sur la totalité de la surface de la trouée en distinguant celles donnant des rejets et celles qui sont mortes.

L'inventaire de la régénération dans les placettes de relevés se fait à l'aide de deux fiches de comptage ; une pour les rejets et une pour les semis. Pour les mesures des rejets sur chaque souche présente dans les placettes, il est relevé l'essence, l'état sanitaire, le nombre de brins et la hauteur du brin dominant. De même, pour chaque semis, il est relevé l'essence, la hauteur et l'état sanitaire.

Le comptage des souches se fait quant à lui en plein avec relevé de l'essence, du diamètre, de l'état sanitaire, du nombre de brins et de la hauteur du brin dominant. La localisation des souches dans la trouée est également reportée sur une carte afin de les localiser plus facilement lors des inventaires ultérieurs.

Pour assurer le suivi dans le temps, les rejets, semis et souches ont été numérotés et les placettes matérialisées par des piquets. Le suivi doit donc être fait selon le même protocole de façon régulière dans le temps pour permettre d'apprécier une tendance

évolutive de la dynamique de végétation dans les trouées.

Quelques mesures avaient donc été faites selon ce protocole en 2006 dans 6 trouées mais les résultats n'étaient pas suffisants et assez nombreux pour en tirer des conclusions.

Nous avons donc essayé de reproduire ce protocole en 2009 sur d'avantage de trouées afin de voir l'évolution depuis 2006 d'une part et d'obtenir des résultats sur un échantillon plus important de trouées d'autre part.

Plusieurs problèmes se sont posés qui nous amène à réfléchir à un nouveau protocole. Les trouées ayant fait l'objet de mesures en 2006 avaient été choisies pour leur « propreté », c'est-à-dire leur faible encombrement au sol (par les ronces et autres plantes herbacées). Cela permettait d'évoluer facilement à l'intérieur de la trouée pour prendre les mesures. Aujourd'hui, 3 ans après, les trouées sont envahies de plantes pionnières comme les ronces ou le buis qui se sont développées extrêmement rapidement et créent des tâches arbustives difficilement pénétrables. Ceci est valable pour la plupart des trouées du site. Cependant, quelques belles cépées de chênes mais surtout de frênes et d'érables se sont développées. Le stade de la végétation, qui reste toutefois différent selon l'âge de la trouée, montre une structure « anarchique » ou la concurrence entre les espèces, les rejets et les semis semble très forte. Bien qu'ayant été marqués pour être suivis dans le temps, les rejets, semis et souches mesurés sont aujourd'hui difficilement retrouvables. De plus, les rechercher ou effectuer de nouvelles mesures n'apparaît pas raisonnable car les dégâts causés par le passage de l'opérateur sont trop importants et peuvent modifier les conditions de croissance et de concurrence au sein de la trouée. Les résultats en seraient ainsi faussés.

Le protocole mis en place en 2006 ne nous semble donc plus adapté à la situation actuelle car jugé trop perturbateur pour le milieu.

Plusieurs solutions s'offrent alors à nous :

- Mettre en place un suivi qui préconise l'appréciation visuelle de l'état de la trouée : hauteur dominante, hauteur moyenne, espèces présentes, espèce dominante, présence de semis, présence de cépée, recouvrement etc. L'opérateur se place alors de manière à avoir un point de vue global sur la totalité de la trouée. Ce type de protocole a pour avantage d'être rapide à mettre en œuvre et moins contraignant pour l'opérateur et la végétation. Il peut donc être fait régulièrement et pour de nombreuses trouées ce qui nous donnerait des résultats sur un échantillon conséquent. Toutefois, il pose le problème de l'appréciation des mesures qui peut varier selon l'opérateur et le champ de vision qu'il arrive à obtenir.



- Mettre en place un protocole de mesures similaires à celles de 2006 mais sur une surface plus réduite. Le système de placettes circulaires de 2 mètres de rayon disposées selon un quadrillage de 8mx8m oblige à trop piétiner et détériorer la végétation. Il est donc proposé de limiter l'emprise des mesures et les déplacements de l'opérateur dans la trouée. Il est par exemple possible de traverser la trouée d'un bout à l'autre (de bas en haut de préférence) en ligne droite en mesurant tout ce qui est à 1 mètre de part et d'autre de la ligne de déplacement. Les paramètres relevés sont les mêmes qu'en 2006 et la perturbation est donc moindre et l'on peut obtenir des mesures précises qui ne varient pas selon l'opérateur. En revanche, cela ne permet pas de prendre en compte l'hétérogénéité du recouvrement de la végétation sur la surface de la trouée. En effet, la végétation peut être très dense à certains endroits et quasi-inexistantes à d'autres, au sein de la même trouée, et ce paramètre de répartition semble justement être important à prendre en compte pour comprendre la dynamique de végétation.

Quelque soit le protocole qui sera adopté, les résultats devront être comparés entre eux (selon l'âge des trouées), pour obtenir une tendance évolutive, et avec le peuplement originel (avant coupe) pour savoir si le peuplement renouvelé offrira une protection contre les chutes de blocs similaire à l'ancien.

Il est également important de savoir que les conditions stationnelles (sol, orientation, climat) sont relativement homogènes à l'échelle du versant. Elles ne jouent donc pas vraiment de rôle dans les différences éventuelles des résultats des relevés entre les trouées. Ils dépendent alors essentiellement de l'âge de la trouée et du peuplement originel qui est caractérisé par les peuplements environnant la trouée (en amont et en aval). Les relevés effectués lors de la phase 1 de l'étude pour caractériser le peuplement forestier dans les simulations trajectographiques de chute de blocs permettent donc de connaître ce peuplement qui était à l'origine dans la trouée. Les placettes de relevés qui ont permis de les caractériser ont toujours été implantées aux abords des trouées pour servir à cette phase d'étude de la dynamique de végétation (les peuplements en amont et en aval d'une trouée sont considérés identique à celui coupé).

## VI. Conclusion

Cette étude a permis de déterminer, sur les 120 propositions de l'ONF de trouées futures, celles qui sont réalisables dans le respect des recommandations du GSM et sans remettre en cause le niveau de protection offert par la forêt, soit au final 74 trouées sur les 120 initialement programmées. Il est à noter qu'en appliquant seulement ces recommandations de gestion sylvicoles, le nombre de coupes réalisables est fortement réduit. La méthodologie employée a été développée en traduisant les recommandations du GSM en requêtes spatiales au sein d'un Système d'Information Géographique. Avec l'algorithme développé et si le gestionnaire dispose du schéma d'implantation cartographique des projets de trouées de régénération, alors celui-ci est en mesure de réaliser en quelques secondes une première cartographie des zones où : la réalisation des trouées est possibles et celles où toute implantation est à proscrire dans le contexte de la pérennisation de la protection offerte par les peuplements forestiers. Mais la localisation des zones de trouées réalisables en fonction des critères d'implantation du GSM, n'est une démarche suffisante. En effet, il est nécessaire de la compléter avec une analyse, à l'échelle du versant, de l'influence probable de ces trouées sur le niveau de protection offert par les peuplements forestiers présents après les coupes. Pour ce faire, nous avons testé avec succès l'utilisation de l'utilitaire Rockfor<sup>NET</sup>. Cet utilitaire simple et rapide d'utilisation s'est avéré en parfaite adéquation avec la démarche d'analyse des gestionnaires forestiers.

Lorsque l'on analyse, avec l'utilitaire Rockfor<sup>NET</sup>, l'effet de ces futures coupes sur la capacité de protection de la végétation forestière en place, le facteur d'influence principal apparaît être le nombre de trouées implantées dans une même ligne de pente car les caractéristiques des peuplements présents sont assez homogènes sur l'ensemble du versant. Cependant, cette capacité de protection diffère selon la taille des blocs présents. De nos travaux il ressort qu'elle sera d'autant plus affaiblie que le nombre de trouées est important et que le volume des blocs présents est petit. En effet pour des blocs de fort volume (plus de  $0.5m^3$  et jusqu'à  $2,5m^3$ ) les résultats des simulations (réalisées avec Rockfor<sup>NET</sup>, et confirmées par les résultats obtenus avec Rockyfor3D) montrent que l'écran forestier est transparent à la propagation de ces projectiles, preuve en est l'évènement de 2009 qui a endommagé le captage d'eau.

Au regard des résultats des différents travaux de simulations que nous avons réalisés (Rokfor<sup>NET</sup> et Rockyfor3D), il ressort que les peuplements forestiers situés dans la zone d'étude du Saint Eynard, ont un rôle de protection efficace uniquement pour les projectiles rocheux d'un volume inférieur ou égal à  $0,25m^3$ . Par conséquent la gestion forestière à mettre en œuvre sur ce versant doit répondre à la satisfaction des critères seuils du GSM relatifs à ce volume unitaire de propagation.

De plus, étant donné que les blocs de faible volume (de l'ordre de  $0.25 \text{ m}^3$ ) sont les plus présents sur le secteur, l'ouverture de trouées, en fonction de leur nombre et dimensions, est en mesure d'entraîner des conséquences non négligeables sur l'influence qu'a le peuplement sur la distance de propagation de ces blocs. Il est donc important de limiter le nombre de trouées dans une même ligne de plus grande pente et de limiter leur longueur. On pourra ainsi élargir une trouée suivant une courbe de niveau plutôt que dans la ligne de plus grande pente. De préférence, les trouées peuvent avoir des dimensions maximales de 15 m de longueur (dans la pente) pour 30 m de large selon la courbe de niveau. L'ouverture des 74 trouées retenues selon les dimensions maximales proposées représentent alors une surface de renouvellement totale de 3,5 ha sans pour autant accroître sensiblement l'aléa résiduel probable (nombre de projectile pouvant traverser et sortir de l'écran forestier) à l'aval de ces zones forestières). On préférera également des trouées en forme de « banane » afin de limiter l'impact paysager de ces ouvertures. Lors de l'exploitation, les rémanents des coupes doivent toujours être disposés en andains en aval de la trouée, comme ce qui a été fait jusqu'à maintenant sur ce secteur. Ceux-ci constituent un obstacle non négligeable dans la course d'un bloc qui dévale le versant.

Les secteurs les plus sensibles à l'ouverture des futures trouées sont situés au niveau des transects 2, 6, 7 et 13. On veillera donc à limiter l'implantation de trouées supplémentaires dans ces secteurs, même s'ils présentent des surfaces disponibles (respectant les recommandations du GSM).

Par ailleurs, dans le cadre de cette étude nous n'avons pu qu'initialiser l'analyse de la dynamique de végétation dans les trouées. Les résultats des travaux de simulations que nous avons réalisés ne sont donc que le reflet d'une situation à un instant donné. Aucune dimension temporelle n'a été prise en compte. Il est donc maintenant nécessaire de mettre en place le suivi de la dynamique de la végétation après coupe (régénération). Pour ce faire il faut construire un protocole de relevé de terrain et assurer sa mise en œuvre sur une période couvrant 2 à 3 aménagements forestiers. Ce protocole doit être construit en tenant compte des enseignements de l'échec du suivi de la dynamique des cicatrises des trouées réalisées en 2006. En termes de perspectives, l'analyse de la dynamique des taillis à fonction de protection vis-à-vis des chutes de pierres ne peut s'envisager sans la réalisation d'un travail de thèse et l'utilisation, entre autre, des principes de l'analyse dendrochronologique couplée à une étude diachronique en utilisant l'ensemble des fonds photographiques (archives, photographies aériennes, données satellitales) ainsi que les sommiers forestiers. La dendrochronologie permettrait de reconstituer la croissance des brins d'une cépée en fonction de l'âge de celle-ci et de la concurrence avec les autres.

Les résultats de cette étude ont été utilisés pour rédiger une demande de financement dans le cadre de la mesure nationale 226B d'aide à la gestion et au renouvellement des forêts à fonction de protection. Cette demande a été acceptée et les premières trouées de régénération ont été réalisées à l'été 2010.

# **Annexes**

## **Annexe 1 : Cartes**

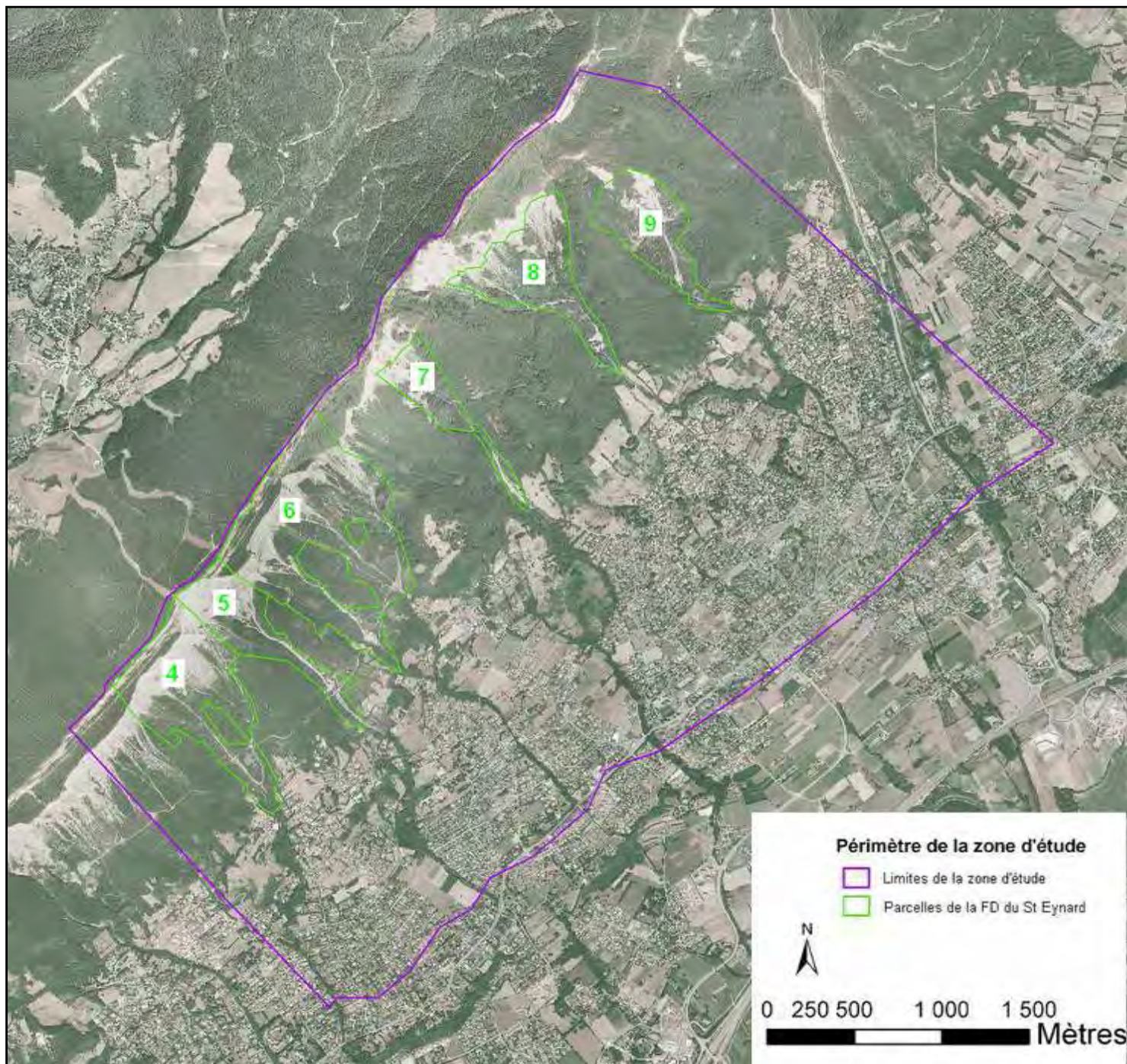
- Localisation de la zone étudiée
- Localisation des trouées effectuées depuis 1994
- Zones de propagation selon le principe de la ligne d'énergie
- Enveloppe de propagation maximale obtenue pour le scénario sans prise en compte de la forêt
- Enveloppe de propagation maximale obtenue pour le scénario avec prise en compte de la forêt
- Différence des enveloppes de propagation des blocs rocheux entre les simulations avec et sans prise en compte de la forêt
- Localisation des futures trouées proposées par l'ONF
- Localisation des futures trouées possibles selon les recommandations du GSM
- Emprise de la forêt sans prendre en compte les trouées effectuées depuis 1994
- Emprise de la forêt dans son état actuel
- Emprise de la forêt en prenant en compte les futures trouées proposées
- Energie cinétique maximale des blocs pour le scénario avec prise en compte de la forêt avant les trouées existantes (scénario 1)
- Energie cinétique maximale des blocs pour le scénario avec prise en compte de la forêt dans son état actuel (scénario 2)
- Energie cinétique maximale des blocs pour le scénario avec prise en compte de la forêt après les futures trouées proposées (scénario 3)

## **Annexe 2 : Extraits du Guide des Sylvicultures de Montagne**

- Fiche diagnostic « Chutes de blocs »
- Fiche Thématique « Chutes de blocs »



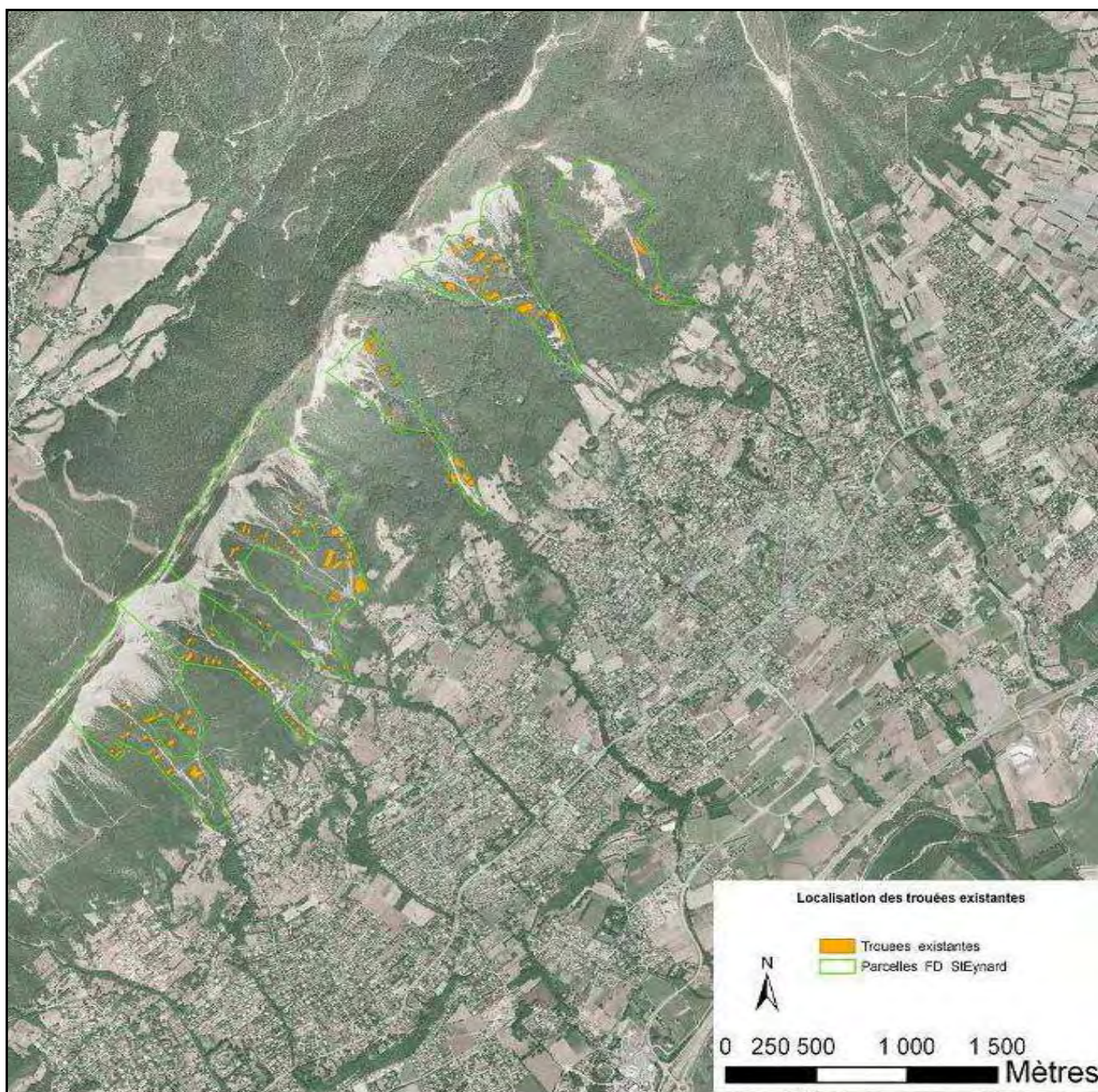
# Localisation de la zone étudiée



(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



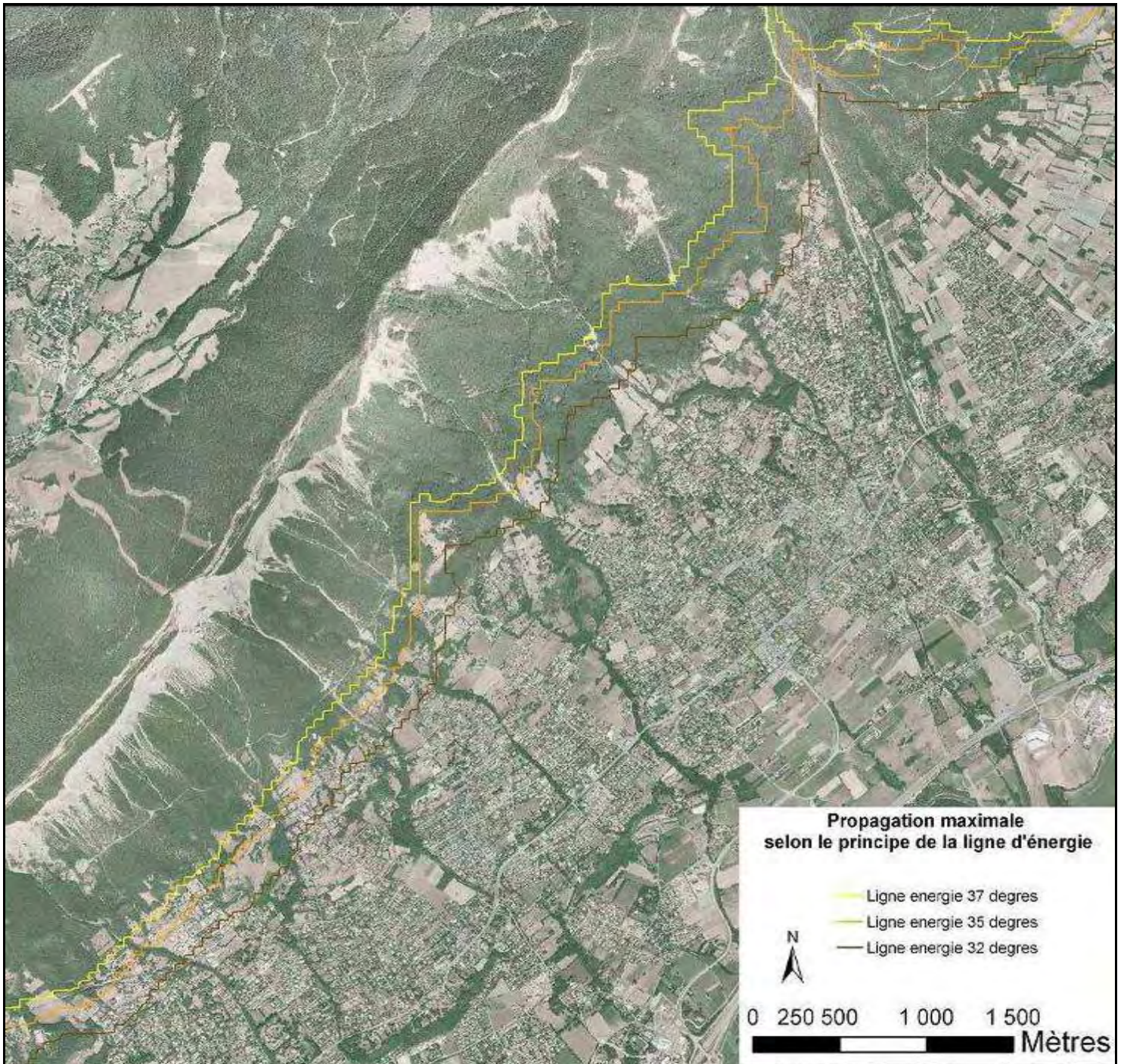
# Localisation des trouées effectuées depuis 1994



(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



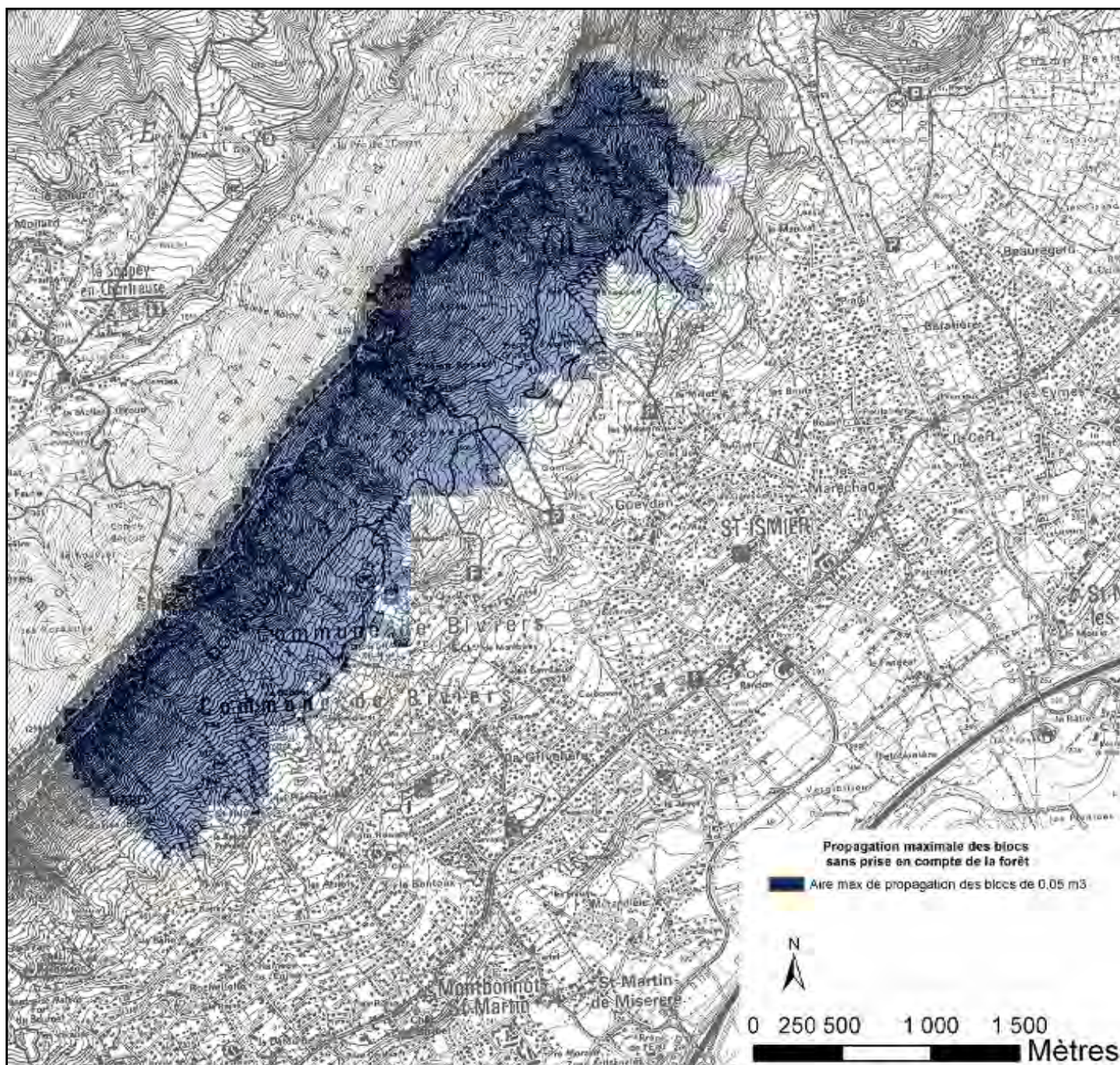
# Zones de propagation selon le principe de la ligne d'énergie



(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



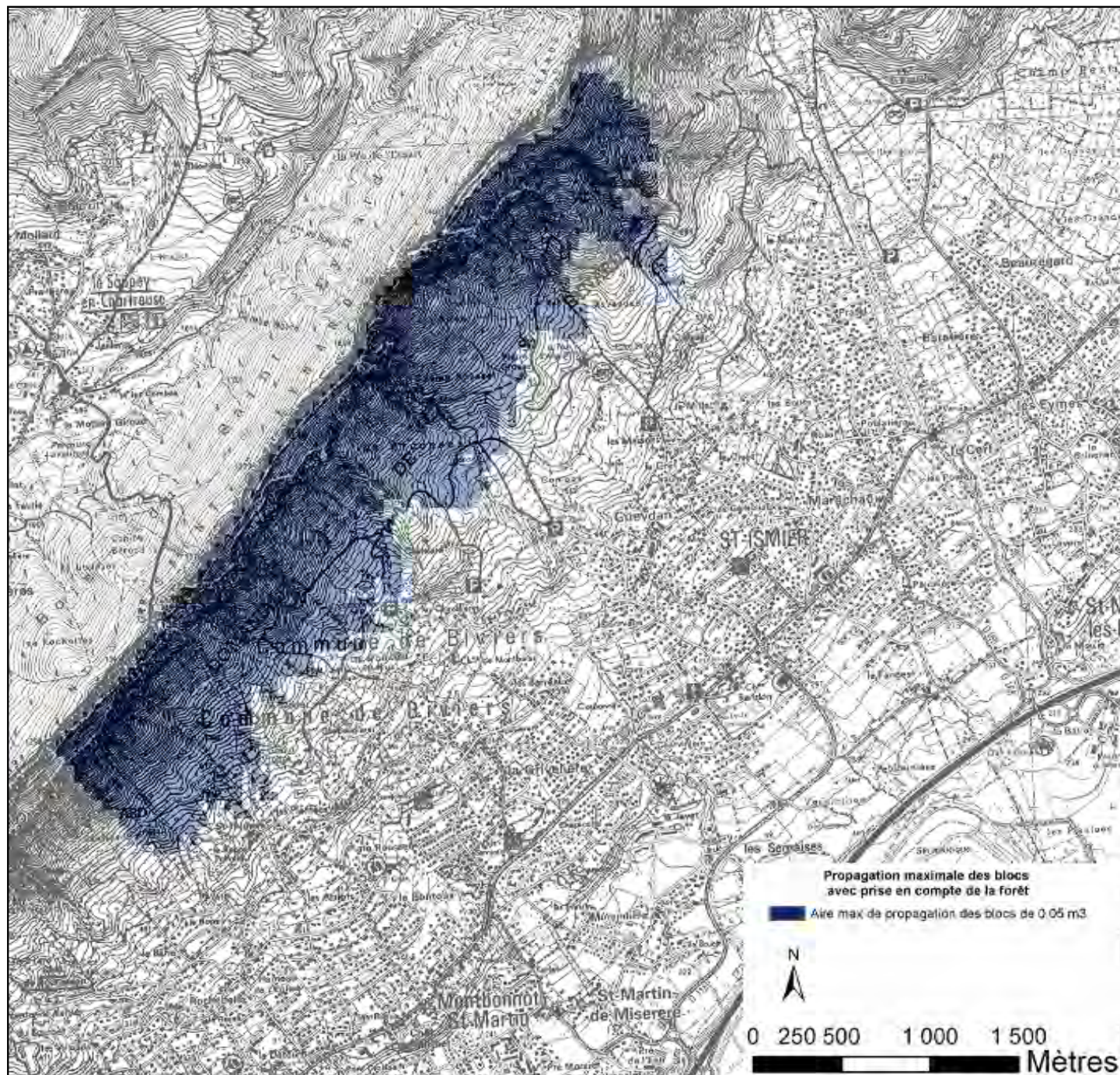
# Enveloppe de propagation maximale obtenue pour le scénario sans prise en compte de la forêt



(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



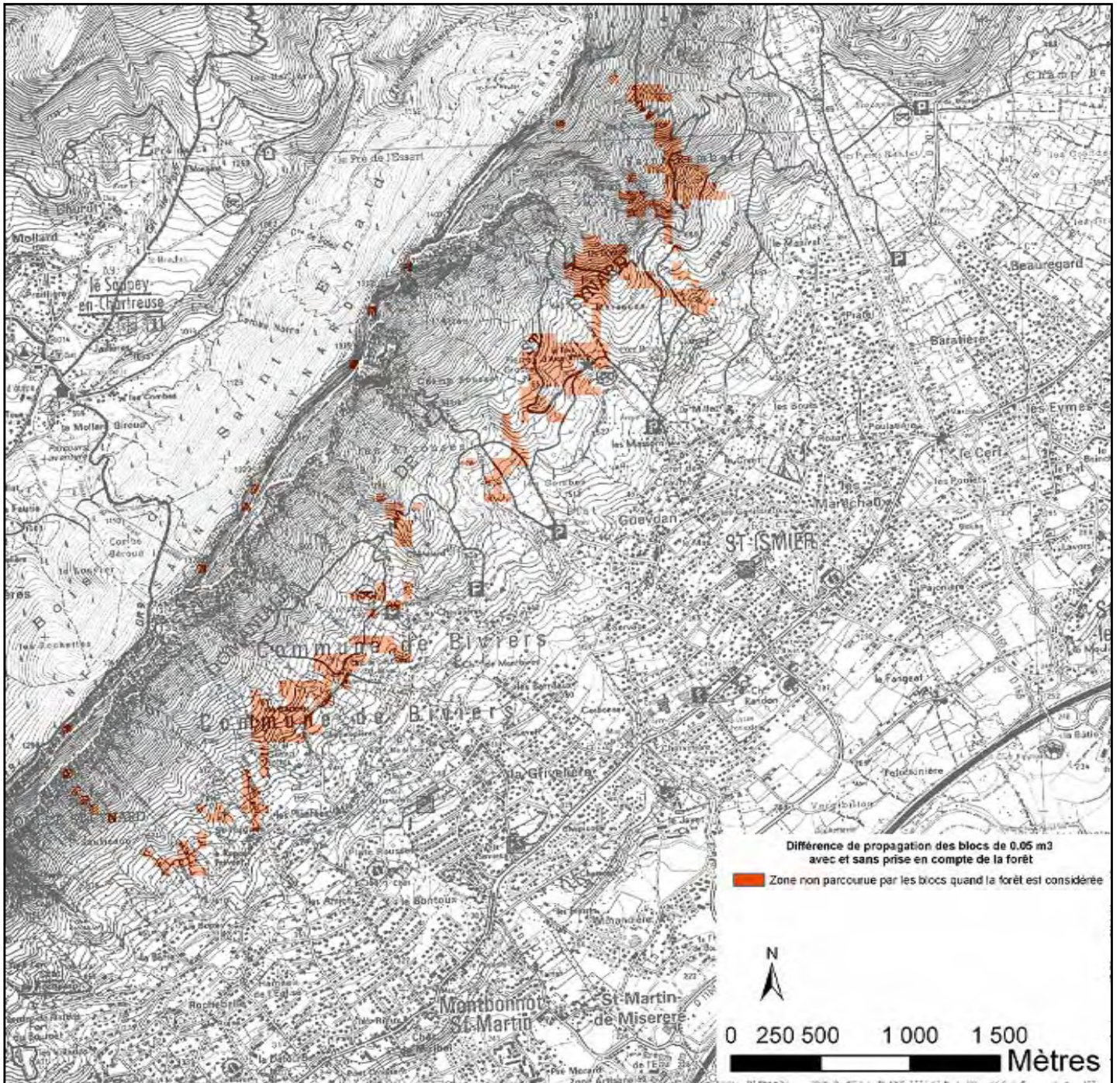
# Enveloppe de propagation maximale obtenue pour le scénario avec prise en compte de la forêt



(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



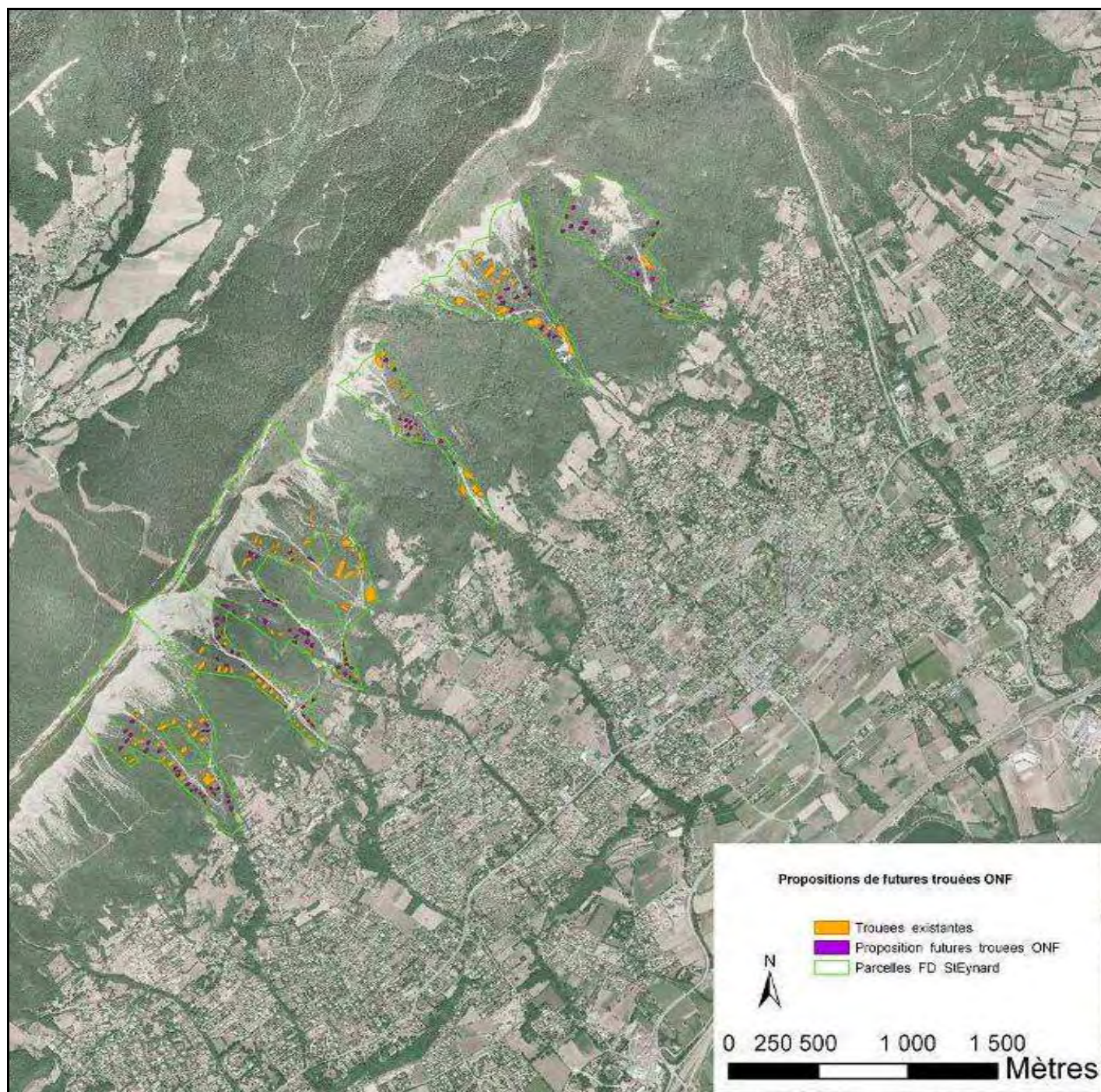
# Différence des enveloppes de propagation des blocs rocheux entre les simulations avec et sans prise en compte de la forêt



(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



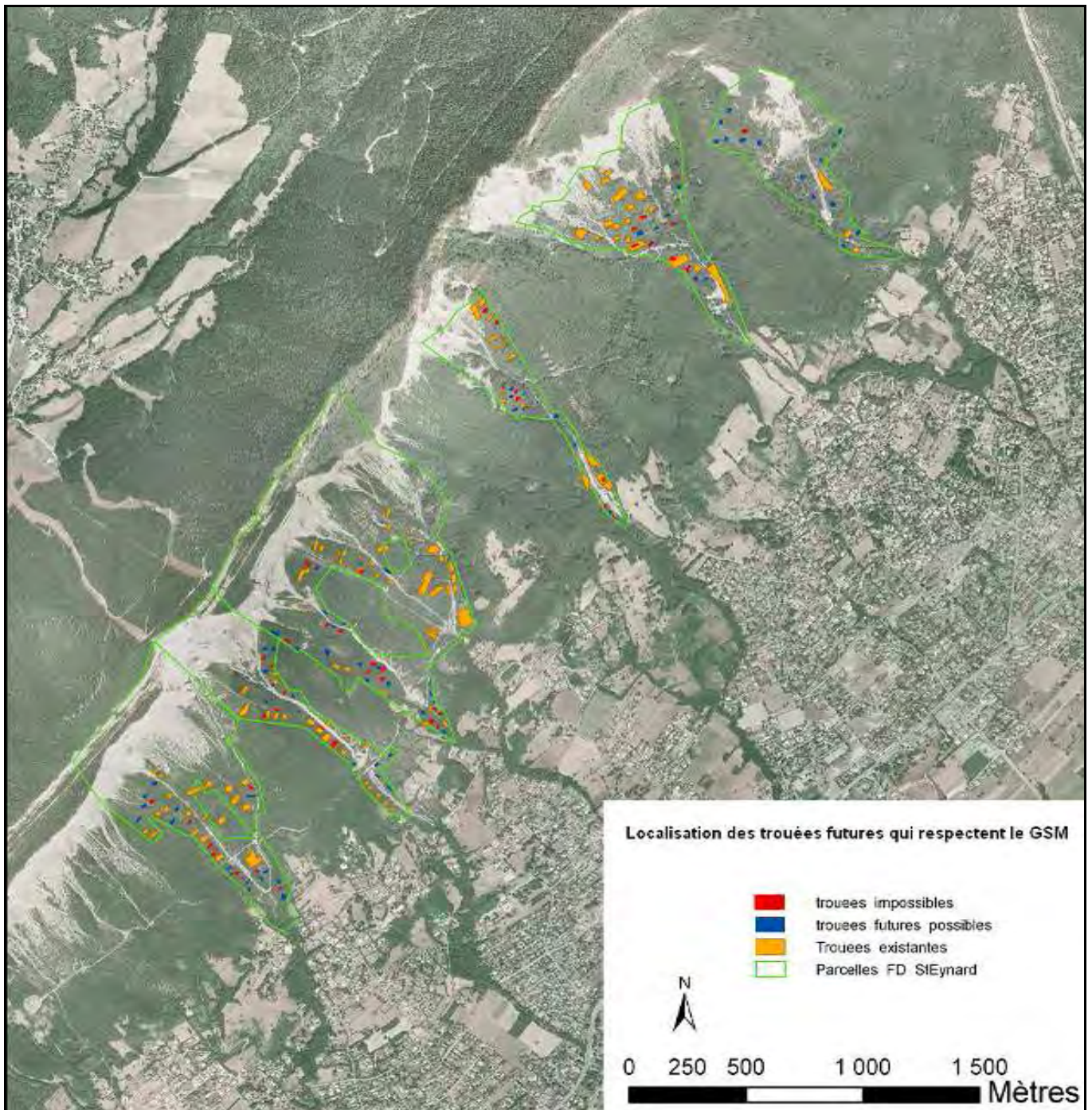
# Localisation des futures trouées proposées par l'ONF



(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



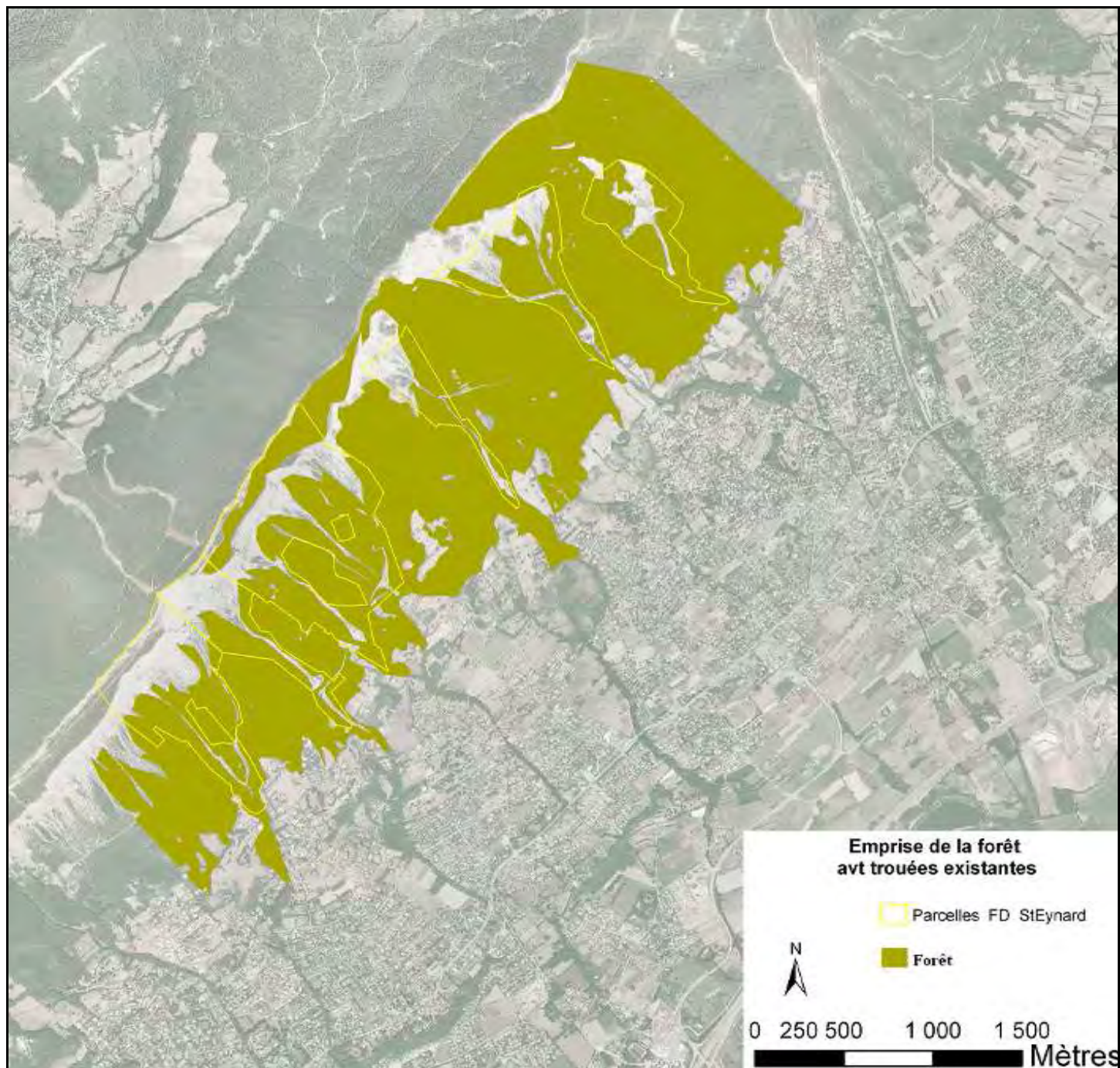
# Localisation des futures trouées possibles selon les recommandations du GSM



(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



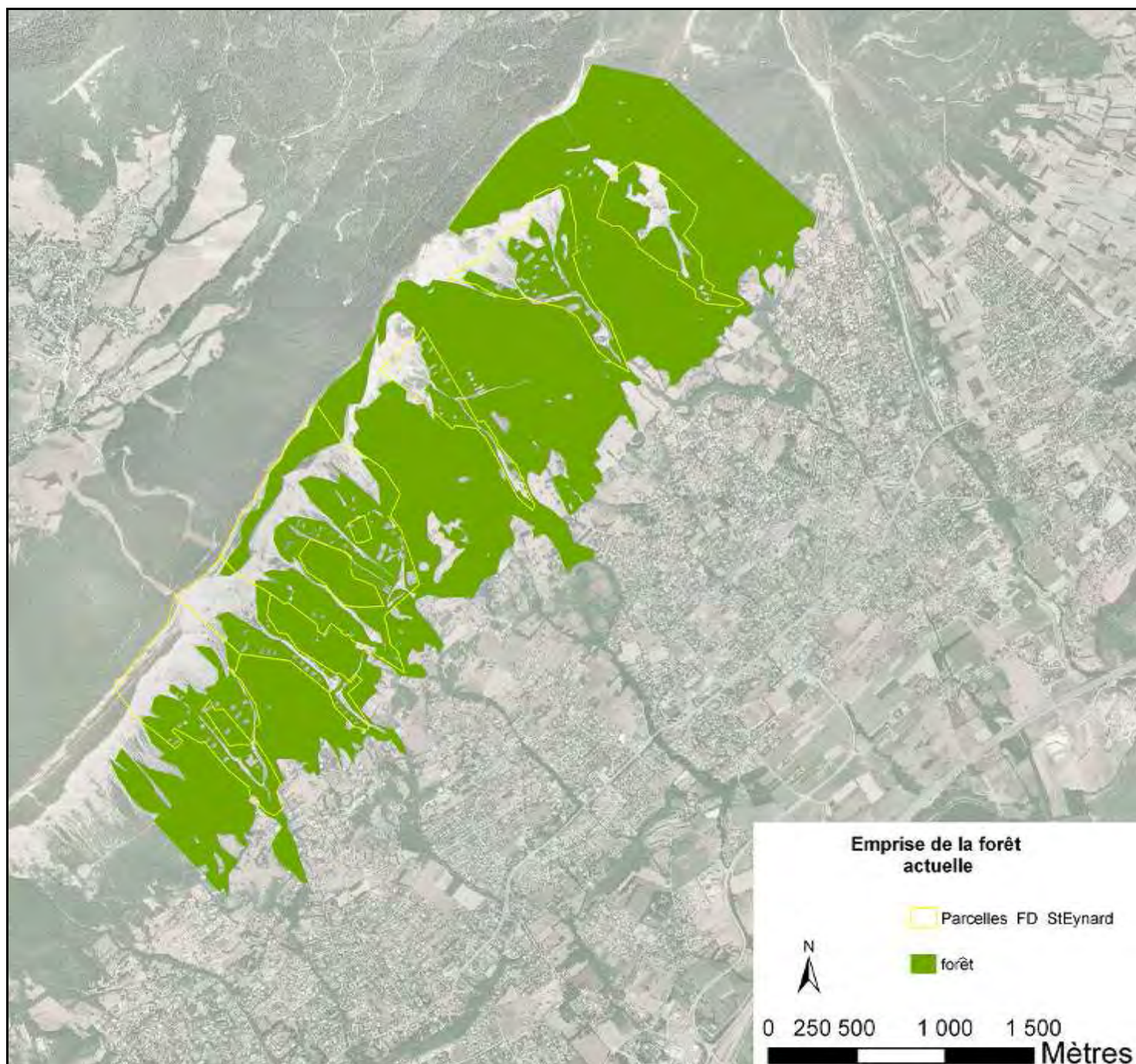
# Emprise de la forêt sans prendre en compte les trouées effectuées depuis 1994



(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



# Emprise de la forêt dans son état actuel



(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



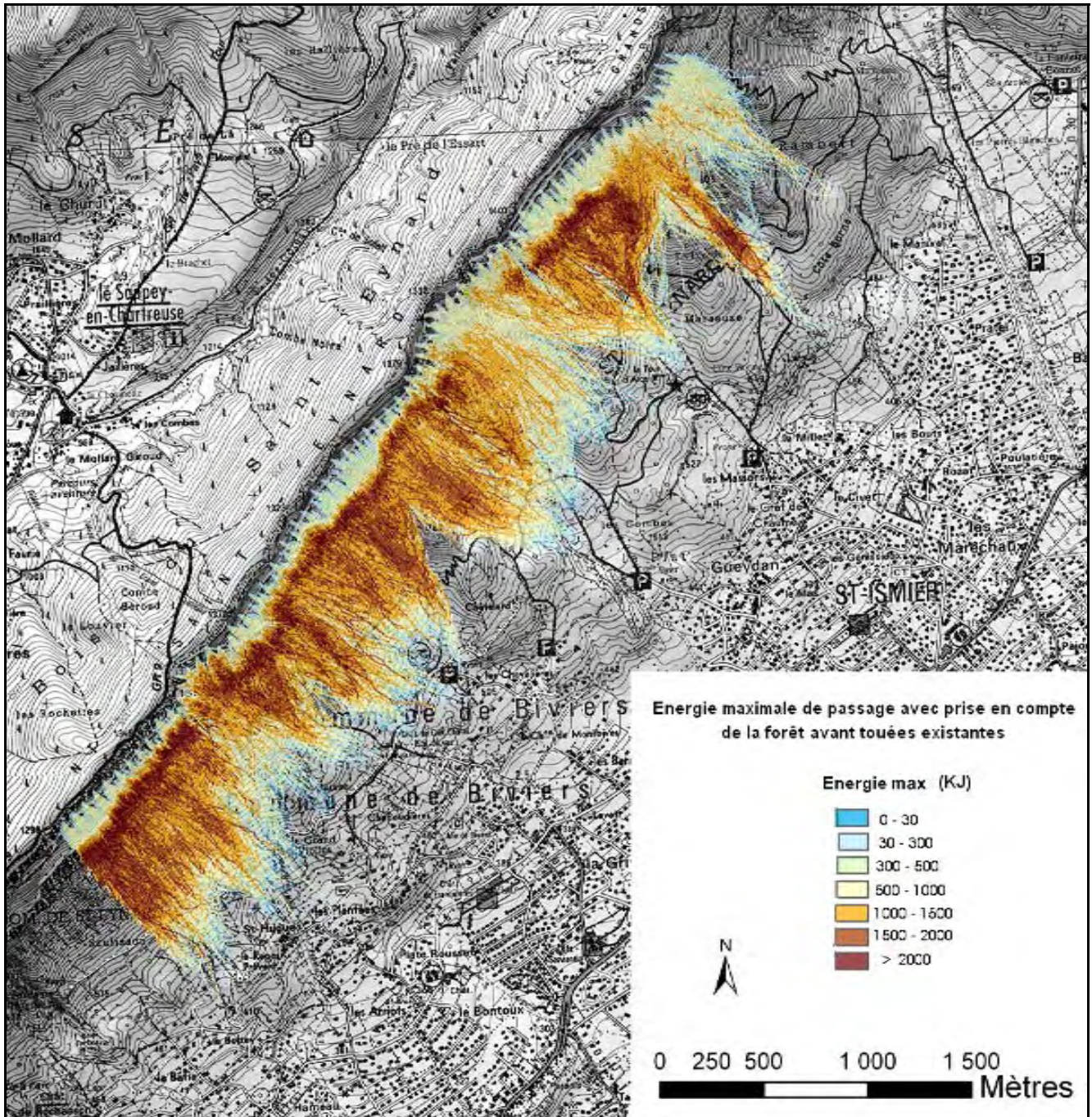
# Emprise de la forêt en prenant en compte les futures trouées proposées



(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



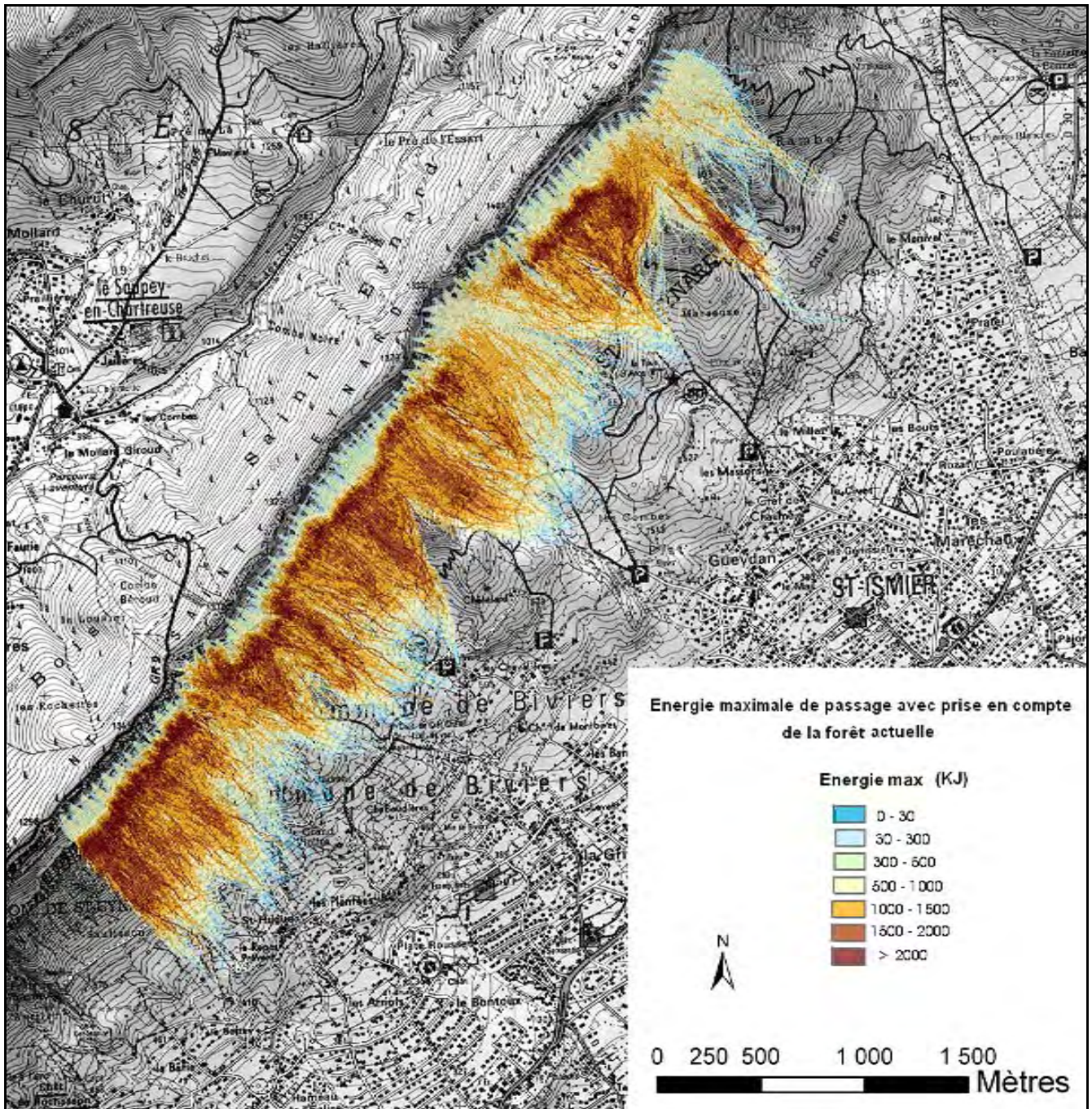
# Energie cinétique maximale des blocs pour le scénario avec prise en compte de la forêt avant les trouées existantes (scénario 1)



(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



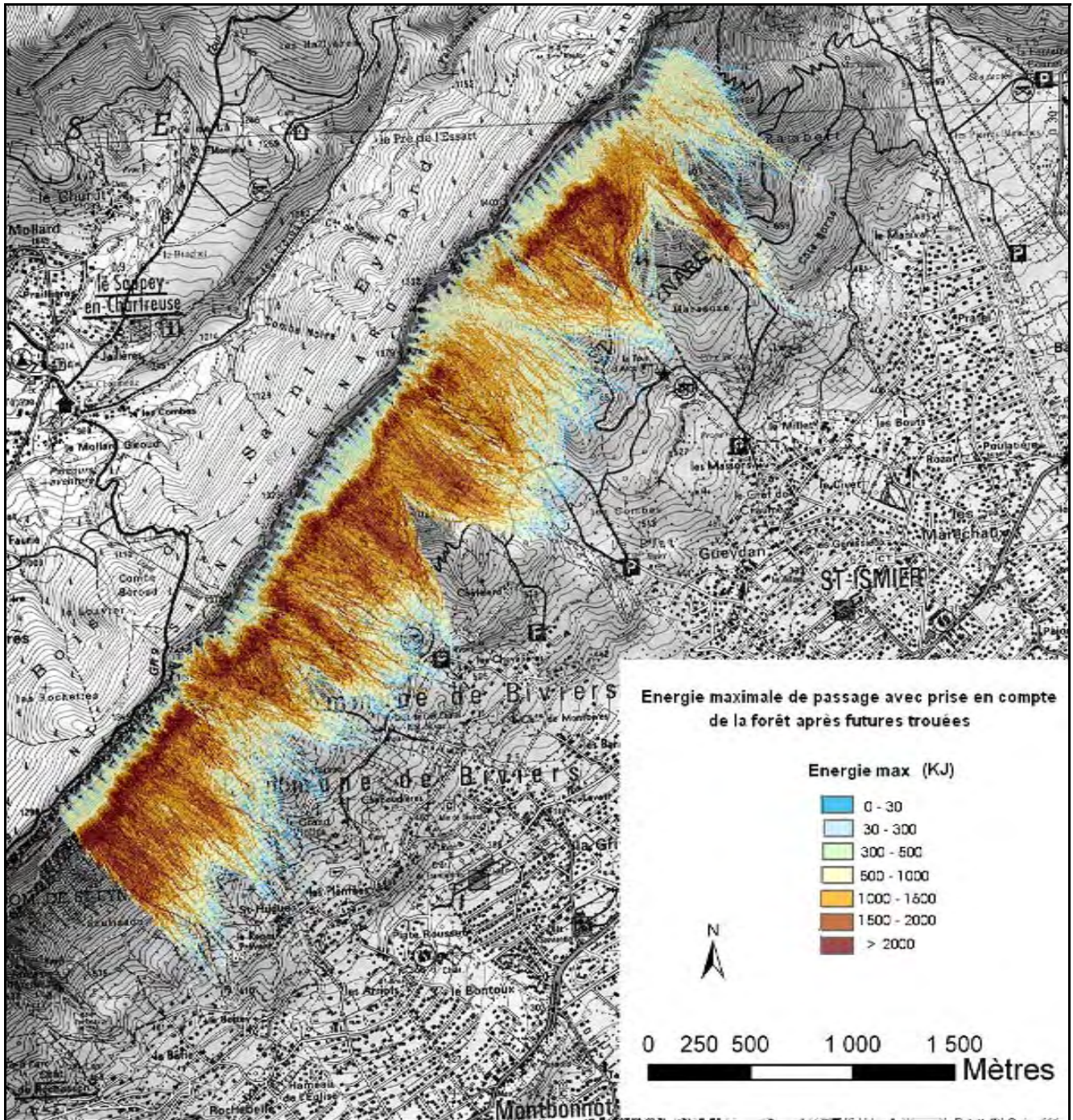
# Energie cinétique maximale des blocs pour le scénario avec prise en compte de la forêt dans son état actuel (scénario 2)



(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



# Energie cinétique maximale des blocs pour le scénario avec prise en compte de la forêt après les futures trouées proposées (scénario 3)



(Carte réalisée par Niels Durand, Cemagref, Juillet 2009. Fond de carte : Bd ortho)



# Fiche diagnostic « Chutes de blocs »

## Risques naturels : chutes de blocs

Objectif : répondre à la question "La forêt a-t-elle un rôle de protection ?"

Pour vous aider lors du diagnostic :  
les principaux témoins silencieux à rechercher sur le terrain

- Présence en falaise de zones de couleurs différentes et très contrastées (points de départ)
- Chablis avec blessure en pied et volis orientés dans la ligne de plus grande pente
- Arbres blessés côté amont
- Bris de cimes avec présence côté amont de blessures au pied
- Traces d'impacts au sol ("cratères")
- Blocs posés au sol, arrêtés sur des arbres, des souches ou des troncs
- "Cortèges" de blocs orientés dans la ligne de plus grande pente
- Zones avec des blocs, orientées dans la ligne de plus grande pente, correspondant à des :
  - trouées avec des bois cassés ;
  - "coulées" de feuillus et de végétation arbustive ;
  - zones occupées par un peuplement plus jeune.
- Présence d'ouvrages de protection !
- Dégâts sur des infrastructures



Nouvelles zones de départ identifiées par une coloration différente

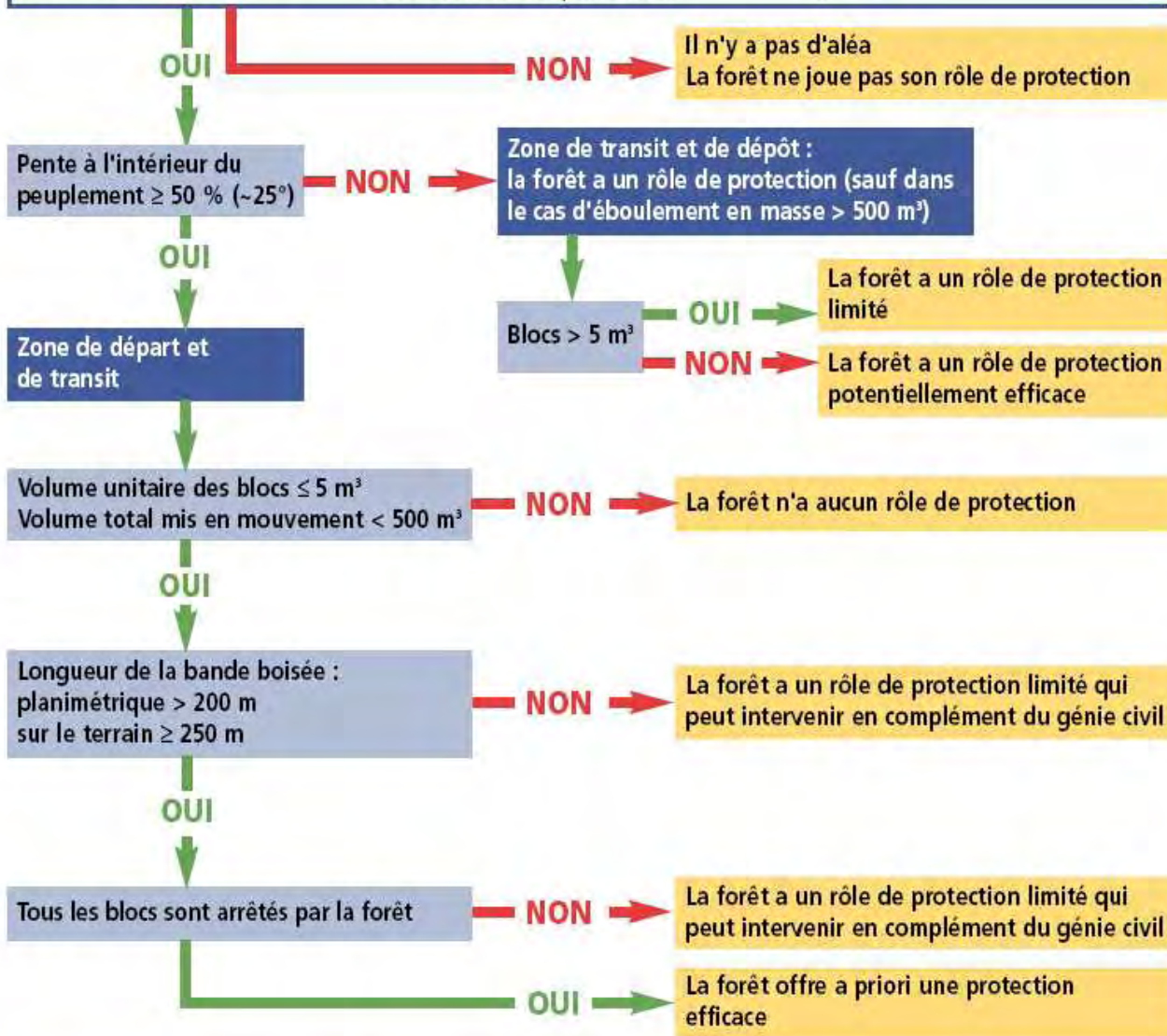


Bloc récent (1) et bloc ancien (2)

(Source : Guide des Sylvicultures de Montagne, CEMAGREF, ONF, CRPF Rhône-Alpes, Juin 2006)



Chutes blocs



**Si la forêt a un rôle de protection, même faible, utiliser la fiche terrain protection**

(Source : Guide des Sylvicultures de Montagne, CEMAGREF, ONF, CRPF Rhône-Alpes, Juin 2006)



# Fiche Thématique « Chutes de blocs »


## Chutes de blocs en forêt

Les peuplements forestiers peuvent jouer un rôle important en matière de risques liés aux chutes de blocs :

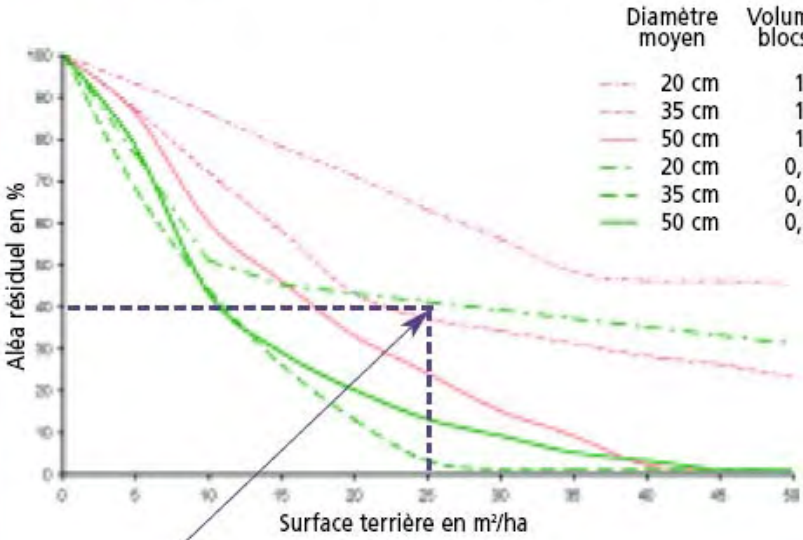
- rôle positif, permettant de diminuer le risque au niveau de l'enjeu,
- mais parfois rôle négatif, qu'une intervention peut corriger.

Cette fiche explicite l'ensemble des interactions entre chutes de blocs et peuplements forestiers. Ces recommandations sont fournies par zone (départ de blocs, transit, dépôt) : voir fiche RISQUE page 194.




Type de zone	Action positive de la forêt	Action négative de la forêt	Interventions préconisées	Valeur seuil préconisée
Zone de départ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ancrage des pierres/blocs/éboulis par le système racinaire</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Éliminer les arbres instables (effet de levier sous l'action du vent) au sommet ou dans la zone de départ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Résineux : HVD ≤ 65</li> <li>• Feuillus : HVD ≤ 80</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piégeage des blocs au pied de la zone de départ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risque de mise en mouvement de blocs : - par effet de levier - lors de chablis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maintenir en pied de zone de départ une surface terrière élevée et compatible avec la pérennisation du peuplement</li> <li>• Dans la mesure du possible, limiter la distance d'entrée dans le peuplement</li> </ul>	Voir RECOMMANDATIONS SYLVICOLES par station forestière  <ul style="list-style-type: none"> <li>• ≤ 20 m</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmentation de la rugosité du sol (le sol forestier est plus amortissant qu'un sol de terrain nu)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effet tremplin des souches</li> <li>• Effet bélier possible par mise en mouvement d'arbres cassés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exploiter les arbres en laissant des souches de 1,30 m de hauteur ou en les arasant complètement</li> <li>• Abattre en oblique dans la pente et laisser au sol des arbres ne pouvant être mis en mouvement</li> </ul>	

(Source : Guide des Sylvicultures de Montagne, CEMAGREF, ONF, CRPF Rhône-Alpes, Juin 2006)


	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitation de la vitesse maximale des blocs</li> <li>• Favorise le dépôt des blocs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limiter la taille des trouées</li> <li>• Longueur de trouée (mesurée sur la pente) (H = hauteur moyenne des arbres)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si Taillis &lt; 20 m,</li> <li>• Si Futaie &lt; 40 m,</li> <li>• Dans tous les cas, valeur préconisée : <math>L \leq 1,3 H</math></li> </ul>														
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si possible, augmenter la longueur planimétrique de la bande boisée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Longueur horizontale de la bande boisée &gt; 200 m</li> </ul>														
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Favoriser les feuillus qui, à diamètre égal, sont plus résistants que les résineux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus de 30 % de feuillus parmi les plus gros arbres</li> </ul>														
<p><b>Zone de transit</b></p> <p><b>&amp;</b></p> <p><b>Zone de dépôt</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminution de l'aléa résiduel (pourcentage de projectiles sortant de l'écran forestier)</li> </ul>	<p><b>Objectif :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En zone de transit avoir une surface terrière des arbres de diamètre de 20 cm et plus, d'au minimum 25 m<sup>2</sup>/ha</li> <li>• En zone d'arrêt et de dépôt avoir une surface terrière des arbres de diamètre de 20 cm et plus, d'au minimum 20 m<sup>2</sup>/ha</li> <li>• Dans tous les cas, avoir une densité, pour les arbres de 20 cm et plus, d'au minimum 350 tiges par hectare</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>Cas de la pessière : influence du diamètre (mesuré à 1,30 m) et du volume du bloc sur l'aléa résiduel</b></p> <p style="text-align: center;">(hauteur de chute 10 m, longueur de bande boisée 500 m, pente 38° = 78 %)</p>  <table border="1" data-bbox="1157 1227 1436 1467"> <thead> <tr> <th>Diamètre moyen</th> <th>Volume des blocs (m<sup>3</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20 cm</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>35 cm</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>50 cm</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>20 cm</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>35 cm</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>50 cm</td> <td>0,5</td> </tr> </tbody> </table> <p>Exemple : 60 % des blocs de 1 m<sup>3</sup> sont arrêtés par un peuplement de :  - surface terrière 25 m<sup>2</sup>/ha  - diamètre moyen 35 cm</p>		Diamètre moyen	Volume des blocs (m <sup>3</sup> )	20 cm	1	35 cm	1	50 cm	1	20 cm	0,5	35 cm	0,5	50 cm	0,5
Diamètre moyen	Volume des blocs (m <sup>3</sup> )																
20 cm	1																
35 cm	1																
50 cm	1																
20 cm	0,5																
35 cm	0,5																
50 cm	0,5																

(Source : Guide des Sylvicultures de Montagne, CEMAGREF, ONF, CRPF Rhône-Alpes, Juin 2006)



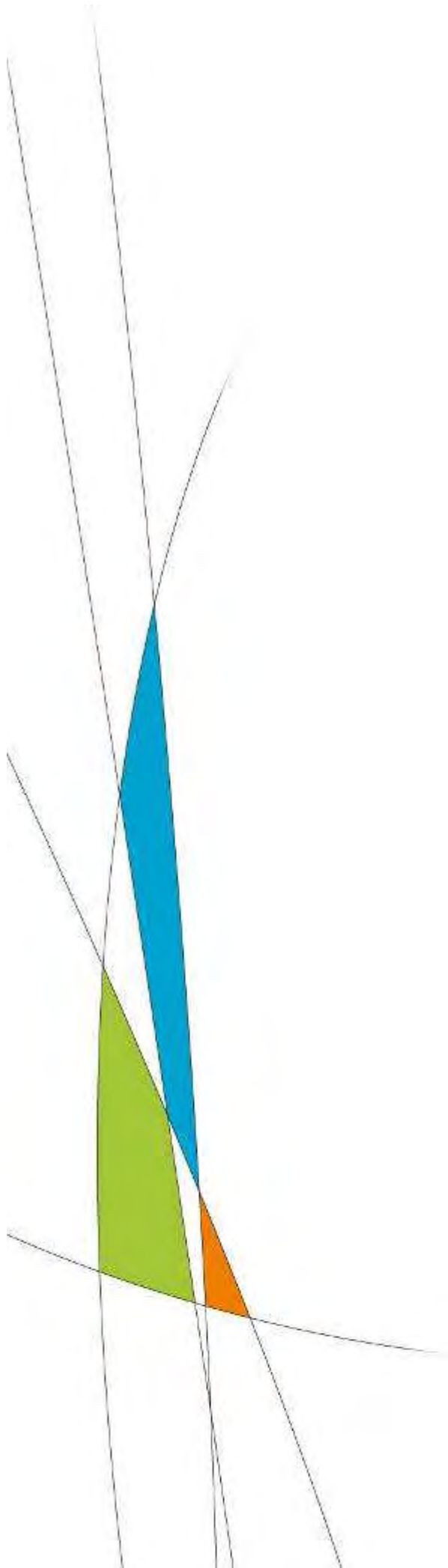
Type de zone	Action positive de la forêt	Action négative de la forêt	Interventions préconisées	Valeur seuil préconisée
Zone de transit & Zone de dépôt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Augmentation de la rugosité du sol (le sol forestier est plus amortissant qu'un sol de terrain nu)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Effet tremplin des souches</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Exploiter les arbres en laissant des souches de 1,30 m de hauteur ou en les arasant complètement</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Effet bélier possible par mise en mouvement d'arbres cassés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abattre en oblique de la pente et laisser au sol des arbres ne pouvant être mis en mouvement</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Canalisation de l'écoulement si présence d'un couloir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Effet "d'embâcle" par accumulation derrière des troncs au sol en travers de la pente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maintenir une densité élevée dans une bande de 25 m de part et d'autre d'un couloir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Résineux : <math>H/D \leq 65</math></li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Éliminer les arbres instables en bordure de couloir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Feuillus : <math>H/D \leq 80</math></li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Arbres tombant sur des enjeux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Éliminer les arbres pouvant, lors de leur chute, atteindre des enjeux</li> <li>Mêmes conditions d'abattage que ci-dessus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cf figure ci-dessus</li> </ul>

Cemagref - Nicole Sarrat

Essence	Résistance mécanique par rapport au Hêtre	Gradient de résistance mécanique
Robinier	1,65	
Chêne	1,31	
Hêtre	1,00	
Merisier	0,92	
Charme	0,92	
Frêne	0,89	
Pin sylvestre	0,68	
Douglas	0,68	
Érable	0,68	
Pin noir	0,67	
Sapin	0,60	
Mélèze	0,54	
Épicéa	0,54	
Cèdre	0,40	
Pin à crochets	0,40	

(Source : Guide des Sylvicultures de Montagne, CEMAGREF, ONF, CRPF Rhône-Alpes, Juin 2006)





Direction générale  
Parc de Tourvoie  
BP 44 - 92163 Antony cedex  
Tél. 01 40 96 61 21  
Fax 01 40 96 62 25  
[www.cemagref.fr](http://www.cemagref.fr)