



HAL
open science

Lutter contre l'érosion pour protéger les biens et les personnes contre les risques naturels

Timote Pesenti, Stéphane Nouguier, Marie-Pierre Michaud, Caroline Brobecker

► To cite this version:

Timote Pesenti, Stéphane Nouguier, Marie-Pierre Michaud, Caroline Brobecker. Lutter contre l'érosion pour protéger les biens et les personnes contre les risques naturels. *Rendez-vous Techniques de l'ONF*, 2024, 79, pp.44-51. hal-04643140

HAL Id: hal-04643140

<https://hal.science/hal-04643140>

Submitted on 10 Jul 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Lutter contre l'érosion pour protéger les biens et les personnes contre les risques naturels

L'érosion des sols peut mettre en danger des biens ou des personnes, directement, ou en favorisant les phénomènes de crues torrentielles. Les forêts sont gérées et les actions priorisées afin d'éviter l'érosion des zones le plus problématiques du point de vue de la sécurité civile.

La politique de restauration des terrains en montagne (RTM) apparaît à la fin du XIX^e siècle, alors que des catastrophes naturelles sont attribuées à la mise à nu des sols de montagne, devenus vulnérables à l'érosion. Cette politique se traduit par une succession de lois, la première étant la loi de reboisement des montagnes adoptée en 1860 qui crée des périmètres de reboisement obligatoire. Cette dernière ayant suscité de vives oppositions dans le monde agricole, elle est suivie quatre ans plus tard d'une loi dite de « ré-engazonnement » visant à ménager les intérêts pastoraux en donnant la possibilité de substituer au reboisement l'engazonnement, celui-ci étant jugé aussi efficace pour lutter contre l'érosion des sols. Malgré cette inflexion, les deux lois sont remises en cause et, outre les résistances des populations locales, se heurtent à une mise en œuvre trop lente. En 1882, une nouvelle loi de Restauration et de Conservation des Terrains en Montagne vient assouplir les possibilités d'intervention en laissant toute latitude à l'administration des Eaux et Forêts d'engager les mesures les plus efficaces (qui peuvent être autres que le reboisement ou l'engazonnement) ; elle restreint par ailleurs les actions de l'État aux zones où le danger est dit « né et actuel » ce qui, d'après les différents auteurs s'étant intéressés à l'histoire de la RTM, marque une volonté de l'État d'assurer la sécurité des populations montagnardes en apportant des garanties sur la propriété privée, là où les lois précédentes s'inscrivaient plutôt dans une idéologie selon laquelle le reboisement des montagnes pouvait améliorer la sécurité des populations de plaine lors des crues majeures des grandes rivières françaises. À travers cet historique, on comprend que l'érosion des sols en montagne et les moyens de lutte contre ce phénomène sont, depuis leur création, une préoccupation majeure de l'État et des services à qui il a successivement confié cette mission (Eaux et

Forêts puis ONF/RTM). À travers leur histoire, ils sont intervenus pour reboiser ou réengazonner près de 380 000 ha de zones de montagne pour maîtriser les phénomènes naturels et assurer la protection des personnes et des biens. À ces surfaces revégétalisées s'ajoutent d'innombrables ouvrages de génie végétal (fascines...) et civil (barrages, seuils, digues, etc.) auxquels les forestiers ont aussi recouru mais qui ne seront plus évoqués dans la suite de cet article.

À l'heure actuelle, la lutte contre l'érosion se poursuit, mais il n'est plus question de réaliser des campagnes de végétalisation massive comme ce fut le cas aux siècles derniers. De plus, de nombreuses zones autrefois concernées par l'érosion se sont revégétalisées depuis longtemps, avec ou sans intervention humaine. L'enjeu actuel est désormais de maintenir le couvert végétal dans les zones où son rôle contre l'érosion est le plus marqué, tout en prenant en compte les effets des changements climatiques sur les écosystèmes et leur fonction de protection. Le ciblage des zones où l'intervention est justifiée devient donc une préoccupation de l'ONF qui agit pour le compte du ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA).

Le but de cet article est de décrire comment les forestiers peuvent utiliser la végétation dans le cadre de la lutte contre les phénomènes d'érosion. Nous présenterons dans un premier temps la méthodologie de localisation des zones à traiter, puis les principes et modalités d'action à mettre en œuvre. Enfin, nous traiterons des menaces que les changements climatiques font peser sur l'efficacité des couverts végétaux installés depuis la fin du XIX^e siècle et comment ces menaces sont gérées.



↑ **Figure 1.** Paysage marqué par le ravinement au bord du lac de Serre-Ponçon (source : Géoportail)

Une approche basée sur les guides des sylvicultures de montagne

L'approche de l'ONF concernant la fonction de protection de la végétation et des boisements est basée sur les guides des sylvicultures de montagne (GSM). Il en existe trois : un pour les Alpes du nord, un pour les Alpes du sud et un pour les Pyrénées. Ces guides traitent de la fonction de protection de la végétation et des boisements vis-à-vis des phénomènes naturels les plus fréquents en montagne : l'érosion, les crues torrentielles, les glissements de terrain, les avalanches et les chutes de blocs.

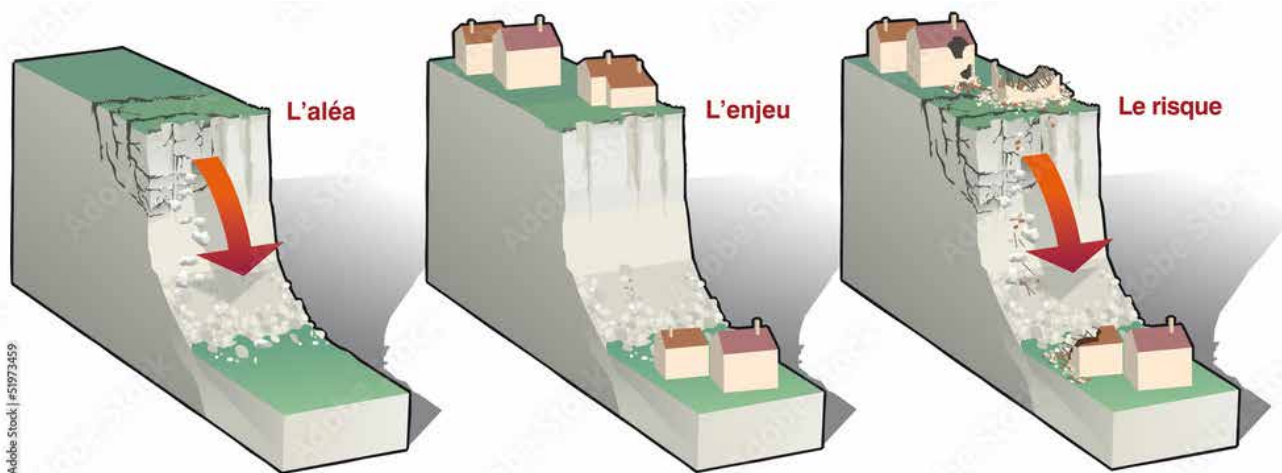
Parmi ces cinq phénomènes, l'érosion est définie par le guide de gestion des forêts pyrénéennes à fonction de protection comme : « un phénomène qui consiste à entraîner en aval les particules du sol sous l'action d'agents climatiques (le vent mais surtout l'eau des précipitations lorsqu'elle tombe puis ruisselle) ». Le phénomène « érosion » des GSM englobe à la fois l'érosion diffuse des versants ainsi que le ravinement. Ce dernier est un type d'érosion particulier qui provient de l'entraînement rapide de particules de matériaux sur les versants ou dans les thalwegs par l'action de l'eau. Le ravinement entraîne un creusement de la surface des terrains meubles ou peu durs.

L'érosion et les phénomènes de crues torrentielles peuvent être fortement liés lorsque, lors d'un épisode pluvieux, les matériaux érodés par la pluie sur les versants sont ensuite charriés par les torrents qu'ils seront venus alimenter.

L'affouillement (creusement des berges d'un cours d'eau sous l'effet de l'écoulement) est aussi une forme d'érosion, mais qui reste rattachée au phénomène de crue torrentielle.

Les intensités et fréquences qui caractérisent les phénomènes naturels leur confèrent la qualification d'aléas naturels. Lors de leur manifestation, ces aléas sont susceptibles d'avoir des impacts sur des enjeux socio-économiques, engendrant dès lors un risque naturel. Par exemple, la crue d'un torrent peut impacter une maison située à proximité.

Sur la figure 2, l'aléa est représenté par la chute des blocs (image de gauche) et l'enjeu par la présence du village (image du centre), cependant seule l'image de droite, où la chute de blocs (aléa) et le village (enjeu) sont présents simultanément correspond à une situation de risque. Il en va de même pour l'érosion, qui peut impacter les enjeux de manière directe (lorsque les matériaux érodés sont susceptibles de se déposer dans une zone avec enjeux) ou de manière indirecte (par exemple lorsque l'érosion apporte des matériaux à un torrent et qu'elle contribue ainsi à augmenter sa charge solide et aggrave les dégâts provoqués lors d'une crue). Ces conséquences indirectes de l'érosion rendent difficile l'identification des zones où une action de lutte contre l'érosion apporte une réelle plus-value dans la protection d'un enjeu. Or, c'est en réalité cette contribution indirecte qui est visée par l'immense majorité des surfaces reboisées par la RTM pour lutter contre l'érosion.



↑ **Figure 2.** Aléas, enjeux et risques naturels (source Adobe Stock)

La cartographie aléa-enjeux : un outil pour l'aménagement des forêts à fonction de protection

Les cadrages relatifs à la production des aménagements forestiers prévoient dans les départements disposant d'un service RTM que celui-ci fournisse aux aménagistes un ensemble de données géographiques décrivant les aléas naturels présents sur la forêt concernée. Dans certains départements, ces données sont couramment formalisées en « cartographie aléa-enjeux », associées à une base de données géoréférencées permettant d'identifier pour un phénomène donné les peuplements ayant un rôle de protection au sein de la forêt à aménager, d'apporter à l'aménagiste des informations sur les aléas et d'identifier les enjeux protégés par la forêt.

La première étape de réalisation de la cartographie aléa-enjeux consiste à délimiter l'emprise des aléas qui sont situés dans la forêt à aménager. Une note d'aléa et une note d'enjeu leurs sont ensuite attribuées.

Concernant l'érosion, la note d'aléa dépend d'un seuil minimal de pente et de la nature du substrat géologique. Une note de 0 est attribuée aux zones considérées comme trop peu pentues pour être affectées significativement par l'érosion ainsi qu'aux versants sur roches dures non érodables. Dans ces deux cas, l'aléa est considéré comme nul et on considère que les couverts végétaux n'ont aucun rôle de protection contre l'érosion.

La deuxième étape de la cartographie aléa-enjeux est de classer les enjeux socio-économiques selon leur importance. L'identification des enjeux socio-économiques va

COTATION DE L'ALÉA ÉROSION SUPERFICIELLE	
Caractéristiques	Note
Versant sur roches dures non érodables ou pente faible < 20 %	0
Éboulis et formations détritiques libérés par des roches dures	1
Roches tendres ravinées ou non	2

↑ **Tableau 1.** Note d'aléa pour les phénomènes d'érosion superficielle (source : GSM Pyrénées).

permettre de préciser le niveau d'enjeu forestier d'aménagement au titre des risques naturels (surfaces et gradation – faible, moyen, fort).

La grille présentée en tableau 2 oriente le classement des enjeux. On notera que les dispositifs de protection contre les risques naturels ne sont pas considérés comme des enjeux. En effet, même si le maintien de leur fonctionnalité est important, leur rôle étant de défendre d'autres enjeux ; ils ne sont alors pas considérés eux-mêmes comme des objets à protéger.

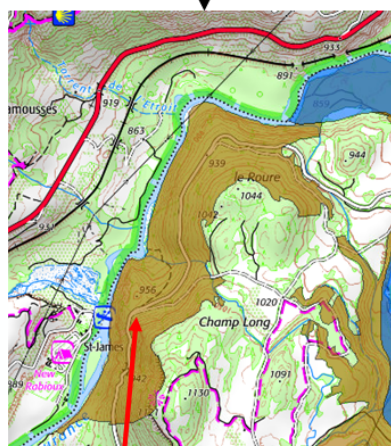
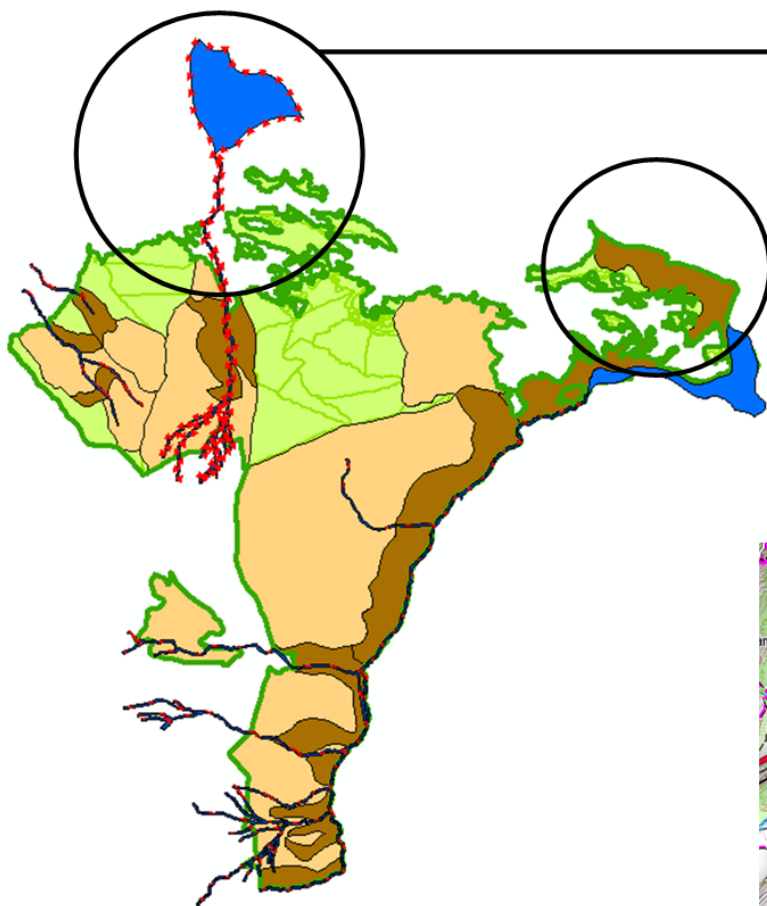
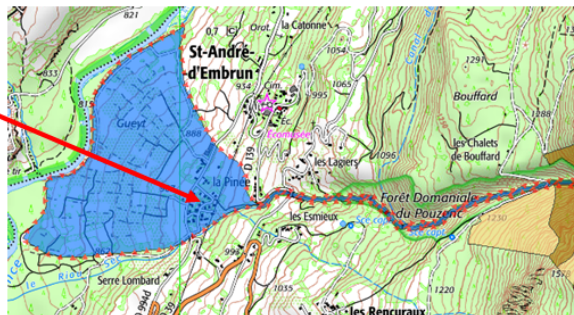
Pour l'érosion, les enjeux à prendre en compte sont ceux qui peuvent être directement impactés par la zone en érosion, mais aussi ceux qui peuvent être impactés par l'intermédiaire de l'aggravation d'un phénomène torrentiel existant.

Pour les forêts domaniales RTM, la base de données aléa/enjeu résultant est similaire à celle qui est présentée en figure 3. Les parcelles qui ne sont recouvertes par aucun polygone sont des emprises sur lesquelles il n'y a aucun aléa naturel.

Type d'enjeu	Niveau d'enjeu (cotation)			
	3 (Élevé)	2 (Moyen)	1 (Faible)	0 (Nul)
Habitat	Dense, plus de 10 logements	Dispersé, 2 à 10 logements	Habitation isolée	Sans
Voie de communication (route, rail)	Voies structurantes, y compris axes intercommunaux	Voies d'intérêt infra communal, accès unique d'un pôle important d'activités	Voie de desserte publique ou privée locale, parking public	Chemin et piste non carrossable (y compris pistes forestières).
Réseaux	Ligne très haute tension (THT), gazoduc	Lignes haute tension (HT) et moyenne tension (MT) ($\geq 20\text{kv}$)	Conduite forcée, ligne de distribution locale d'électricité, d'eau ou de gaz	Réseau des particuliers
Tourisme	Équipements avec hébergement (ex. : camping, centre de vacances, colonie de vacances, hôtel)	Équipements sans hébergement (piscines publiques, domaines skiables des stations, y compris pistes et remontées mécaniques...)	Sites touristiques aménagés (chemins et sentiers de randonnée, parcours de pêche et itinéraire de canoë, aire de pique-nique aménagée).	
Industries et commerces	Centre industriel, centre commercial	Commerces isolés, artisanats	Entrepôts et garages sans personnel permanent.	
Agriculture		Coopérative agricole, siège d'exploitation	Bâtiment agricole sans hébergement, terres agricoles cultivées	Équipements agricoles démontables, terres agricoles non cultivées, parcours pastoraux.
Forêt			Routes forestières (intercommunale, locale), peuplement forestier de production	Espaces naturels (classés ou non), peuplements forestiers sans enjeu de production
Patrimoine culturel		Monument/Bâtiment historique (classé) visité ou non		
Autres enjeux publics	Hôpital, centre d'incendie et de secours, école, maison de retraite	Point de captage d'eau, réservoir d'eau communal, station d'épuration	Antenne de télécommunication	Ouvrages de protection actif ou passif

↑ **Tableau 2.** Cotations des enjeux socio-économiques en cartographie aléa-enjeu (source : GSM Pyrénées)

Le hameaux de la pinée est atteint par le torrent, ce qui confère à ce dernier et à l'ensemble des zones en érosion de son bassin versant une note d'enjeu de 3 (fort).



Légende

Phénomènes torrentiels

- Secteur non affouillable
- Zone de régulation
- Secteur pentu affouillable / zone : transit
- Secteur non affouillable / trace de lave
- Zone de régulation / trace de lave
- Secteurs pentus affouillables / zone : transit / trace de lave

Phénomènes d'érosion

- Eboulis de roches dures / pente > 20%
- Roche tendre, éboulis roche tendre, matériaux fins / pente > 20%

- Limites de la forêt
- Parcelles forestières

L'enjeu « route » est situé dans la zone en érosion. L'enjeu est donc menacé par l'aléa érosion. Comme l'enjeu est une route locale, la note d'enjeu est de 1 (faible).

↑ Figure 3. Exemple de cartographie aléa-enjeu produite par le service RTM

		LIT DE RAVINE ENTièrement VÉGÉTALISÉ arbres + arbustes + herbacées	LIT DE RAVINE PARTIELLEMENT VÉGÉTALISÉ : COUVERT VÉGÉTAL TOTAL EN ÉTÉ (%) SUR L'ENSEMBLE DE LA RAVINE		
			< 30 %	30 – 70 %	70 – 95 %
TAILLE DES RAVINES	ravines < 1 ha	6	1	4	5
	ravines > 1 ha* ou versant peu incisé	→	1	3	5

* Le cas des ravines > 1 ha est réservé aux Pyrénées espagnoles.

← **Tableau 3.**
Mode de calcul de l'indice de maîtrise de l'aléa érosion

POUR LES CHUTES DE BLOCS DE VOLUME UNITAIRE < 1 M ³			PEUPEMENT MAJORITAIREMENT NON PRÉCOMPTABLE		PEUPEMENT MAJORITAIREMENT PRÉCOMPTABLE	
			Densité de tiges (N/ha) de diamètre 7,5 à 17,5		Densité de tiges (N/ha) de diamètre 17,5 et +	
			N < 2000	N > 2000	N < 350	N > 350
ZONE DE TRANSIT ET D'ARRÊT	Bande boisée > 200 m (planimétrique)	G < 25 m ² /ha	1	3	1	3
		G > 25 m ² /ha	→		4	5
	Bande boisée < 200 m (planimétrique)	G < 25 m ² /ha	0	2	0	1
		G > 25 m ² /ha	→		2	3
ZONE DE DÉPART			La forêt n'a pas de rôle de protection. Au contraire, les arbres instables peuvent déchausser des blocs.			

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

← **Tableau 4.**
Mode de calcul de l'indice de maîtrise de l'aléa chutes de blocs

Comment évaluer la maîtrise de l'aléa « érosion » par le couvert végétal ?

Une fois ces informations transmises à l'aménagiste, celui-ci peut qualifier l'efficacité d'un peuplement dans la maîtrise d'un aléa donné en déterminant l'indice de maîtrise de l'aléa (IMA) du peuplement. L'IMA dépend des caractéristiques dendrométriques du peuplement et du phénomène considéré. Un peuplement efficace contre les chutes de blocs peut, par exemple, être inapte à empêcher le départ d'une avalanche. Les tableaux 3 et 4 sont extraits du manuel d'aménagement forestier. Ils décrivent comment déterminer l'IMA d'un peuplement pour les chutes de blocs ou pour l'érosion. Leur comparaison permet de mettre en lumière quelques spécificités propres aux phénomènes d'érosion.

L'IMA « érosion », au même titre que les IMA « glissement de terrain » et « crue torrentielle », ne fait appel qu'au couvert végétal total alors que les IMA « chutes de blocs » et « avalanches », font appel à la surface terrière des arbres précomptables. Cette caractérisation découle du fait que la protection vis-à-vis de l'érosion est apportée par l'ensemble des strates du couvert végétal et pas seulement par la strate arborée, à la différence de la fonction de protection contre les chutes de blocs par exemple.

On attend du couvert végétal qu'il améliore la stabilité superficielle des sols par l'effet d'interception du système aérien vis-à-vis de la pluie (limitation de l'effet « splash ») et par celui du système racinaire. Ce dernier est particulièrement important sur les versants en situation de ravinement.

La couverture végétale des système aériens qu'elle soit arborée, arbustive ou même herbacée, contribue à la maîtrise des phénomènes d'érosion. Le facteur déterminant est alors le pourcentage de zone en érosion couverte par la végétation en période de précipitations intenses. Le plus souvent, il s'agira de l'été. Mais en zone méditerranéenne, les pluies intenses peuvent aussi avoir lieu hors période de feuillaison. La contribution du couvert végétal à la maîtrise de l'érosion des sols est généralement considérée comme performante au-delà de 70% de couvert à l'échelle de l'unité aléa enjeu.

Quand et comment contribuer à la maîtrise de l'érosion des sols par la végétation ?

Dans les zones où l'érosion est susceptible d'impacter un enjeu, l'aménagiste doit établir des priorités d'intervention. La décision d'une intervention repose sur l'estimation d'un IMA futur après évolution de la zone **en absence d'intervention**. L'évaluation des dynamiques végétales est donc fondamentale. La priorité d'intervention est donnée aux zones qui affectent un enjeu socio-économique fort et où l'IMA est amené à diminuer significativement dans le futur (Tableau 5).

		Indice actuel de Maîtrise de l'Aléa (IMA)		
		5-6 Efficace	3-4 Moyen	0-1-2 Faible ou nul
Indice futur de Maîtrise de l'aléa (40 ans)	5-6 : Efficace	Priorité 3	Priorité 3	Priorité 3
	3-4 : Moyen	Priorité 2	Priorité 2	Priorité 3
	0-1-2 : Faible ou nul	Priorité 1	Priorité 1	Priorité 2

← **Tableau 5.** Grille de définition des priorités d'après le guide des forêts pyrénéennes à fonction de protection (Villiers, 2016).

On trouvera dans les guides de sylviculture une présentation détaillée des bonnes pratiques dont il faudra retenir un principe général d'optimisation de la totalité des strates de la végétation en considérant les dynamiques des écosystèmes dans leur ensemble : forêt, landes et pelouses. Dans les écosystèmes forestiers, en l'absence de sous-étage ou encore lorsque la dynamique de régénération naturelle est lente, il ne faudra pas hésiter à intervenir pour accompagner le retour de la végétation arbustive et herbacée. Lorsque les couverts forestiers sont denses, on cherchera à éviter les peuplements à une seule strate en diminuant si possible les surfaces terrières pour permettre un développement des couverts arbustifs et herbacés.

Dans les zones définies comme prioritaires en lien avec des phénomènes torrentiels intenses et des enjeux proches, on pourra aussi intervenir en utilisant le génie biologique : plantations, bouturages (en cordon, clayonnage, en fascines, etc.) et autres méthodes de végétalisation. Ces solutions s'appliquent aux cas où une régression rapide du couvert végétal est constatée ou encore lorsqu'un couvert végétal peine à s'installer sur sol nu.

Il peut également être nécessaire de mettre certaines zones en défens lorsque la pression due au pâturage ou à l'abrutissement par la faune sauvage dégrade la végétation.

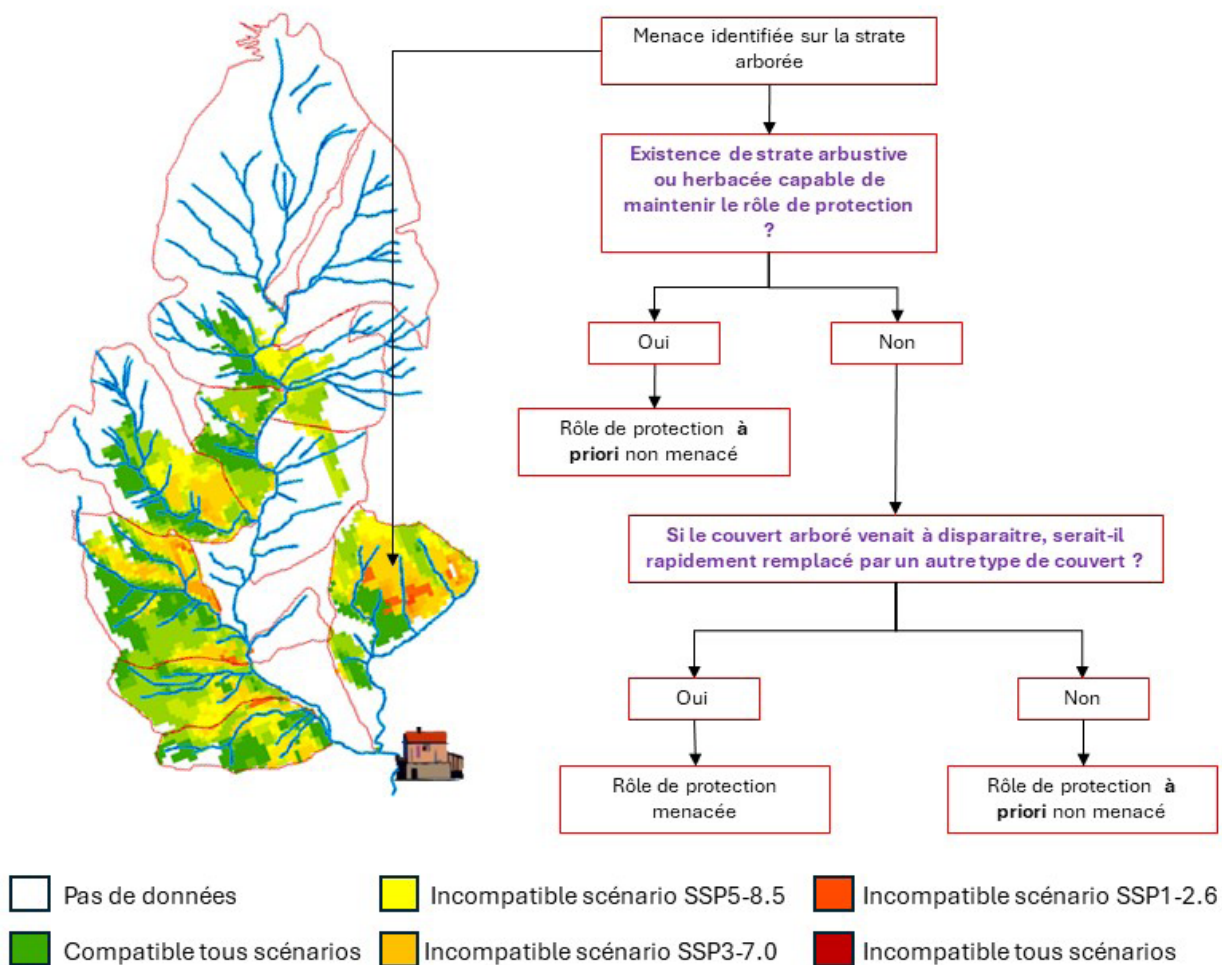
Dans tous les cas, l'important est de compenser la dynamique naturelle lorsque cette dernière éloigne le couvert de l'état recherché. Aussi, les opérations sylvicoles en contexte d'érosion doivent toujours prendre en compte la résilience du couvert végétal et chercher à maximiser l'implantation des systèmes racinaires. On cherchera donc à préserver la diversité des strates du couvert végétal et le mélange d'espèces, qui permettent d'améliorer la résilience des écosystèmes. Ces deux facteurs favorisent également une meilleure implantation des systèmes racinaires du fait de la complémentarité entre des végétaux à système racinaire superficiel et ceux qui ont un système racinaire profond.

La complexité d'évaluer l'évolution de l'IMA en contexte de changement climatique

Aujourd'hui, le changement climatique rend difficile l'évaluation des dynamiques végétales d'un couvert à fonction de protection contre l'érosion. Ils modifient les dynamiques des écosystèmes et peuvent modifier l'IMA des couverts à fonction de protection contre l'érosion.

Les services RTM mènent actuellement une démarche d'évaluation des impacts des changements climatiques sur les peuplements RTM de protection. Dans ce cadre, une première carte de compatibilité climatique des peuplements RTM est en cours de production sur l'ensemble du territoire. La compatibilité climatique représentée sur la figure 4 est définie en fonction de la compatibilité aux climats futurs de l'essence principale du peuplement actuel. Le modèle zoom50 développé par le Département Recherche, Développement et Innovation de l'ONF est utilisé pour évaluer l'adaptation des essences aux climats futurs. Les essences qui deviennent incompatibles avec un scénario de faible réchauffement sont des essences très vulnérables au réchauffement climatique. Par exemple, une parcelle constituée de sapins pectinés sur laquelle ces derniers deviennent incompatibles à l'horizon 2070 en scénario SSP5 – RCP8.5 (réchauffement moyen global +4,4°C) est moins vulnérable qu'une parcelle où la même essence devient incompatible en scénario SSP1 – RCP 2.6 qui ne correspond qu'à un réchauffement moyen global de + 1,8°C. La marge de tolérance au réchauffement climatique du sapin est plus grande dans le premier cas que dans le second.

Cette démarche atteint cependant une limite majeure dans le cas de l'érosion car elle ne traite que du comportement d'essence constitutive de la strate arborée. Or, lorsque le peuplement d'une zone est identifié comme vulnérable, cela ne signifie pas nécessairement que le rôle de protection de la zone est menacé, dans la mesure où cela



↑ **Figure 4.** Exemple de carte de compatibilité climatique des peuplements à fonction de protection. Les outils actuellement disponibles ne permettent pas de répondre aux questions violettes ni de traiter le cas des zones sans couvert forestier.

dépendra de l'évolution des autres strates. L'analyse des conséquences du changement climatique sur l'IMA érosion nécessite donc une expertise sur l'ensemble des strates de végétation, ce qui n'est à ce jour pas possible à large échelle. En effet, si l'on a commencé à développer des outils modélisant l'évolution de la strate arborée avec le réchauffement climatique, il n'existe aujourd'hui pas d'équivalent sur les compartiments arbustifs et herbacés.

Conclusions

La cartographie « aléa-enjeu » est un outil majeur pour l'aménagement des forêts à fonction de protection. Elle est le moyen par lequel les services RTM communiquent les informations concernant les aléas naturels présents sur les emprises de forêts domaniales RTM aux aménagistes. C'est aussi lors de son élaboration que sont définies les zones où la forêt joue un rôle de protection. Ce rôle de

protection dépend de la présence d'un aléa, d'un enjeu menacé par cet aléa et d'un couvert végétal capable de contribuer à la maîtrise de cet aléa. À la différence d'autres aléas naturels gravitaires (chutes de pierres et avalanches), pour lesquels le niveau de protection dépend de la strate arborée du couvert végétal, pour l'érosion, l'ensemble des composantes du couvert végétal, y compris les strates arbustives et herbacées, participe à la protection des sols et à la lutte contre l'érosion et doivent être prises en compte dans l'évaluation du rôle de protection et par conséquent dans la gestion forestière.

Timoté Pesenti, Stéphane Nougier
 ONF Service RTM des Pyrénées Orientales
Marie-Pierre Michaud
 ONF Agence RTM Alpes du sud
Caroline Brobecker
 ONF Service RTM Haute-Savoie

