



HAL
open science

Le contrôle de l'érosion des sols forestiers par la végétation face aux changements globaux

M. Vennetier, J. Ladier, F. Rey

► **To cite this version:**

M. Vennetier, J. Ladier, F. Rey. Le contrôle de l'érosion des sols forestiers par la végétation face aux changements globaux. *Revue forestière française*, 2014, LXVI (4), 15 p. hal-01180744

HAL Id: hal-01180744

<https://hal.science/hal-01180744>

Submitted on 28 Jul 2015

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.

Le contrôle de l'érosion des sols forestiers par la végétation face aux changements globaux

Michel Vennetier^{a*}, Jean Ladier^b, Freddy Rey^c

*Auteur correspondant:

a - Irstea Aix en Provence, UR Ecosystèmes Méditerranéens et Risques,
3275 route Cézanne, CS 40061, Aix-en-Provence Cedex 5. michel.vennetier@irstea.fr; tél 04
42 66 99 22

b - Jean Ladier, Office national des forêts, Pôle recherche et développement,
1175, chemin du Lavarin, 84000 AVIGNON

c - Irstea, UR Ecosystèmes Montagnards,
2 rue de la Papeterie, BP 76, 38402 St-Martin-d'Hères Cedex

RESUME

L'érosion constitue un risque pour la fertilité du sol, mais les forestiers sont habituellement attentifs à la prévenir par des pratiques de gestion adaptées. La politique de restauration des terrains en montagne (RTM) a fait ses preuves durant les deux derniers siècles. Grâce à l'expérience acquise ainsi par les anciens et à la poursuite des recherches jusqu'à nos jours, les forestiers disposent d'une panoplie relativement complète de méthodes et d'espèces adaptées à la lutte contre l'érosion des sols sous toutes ses formes. Des guides techniques mettent ces connaissances à disposition de tous. Mais de nouveaux éléments liés aux changements globaux, notamment le changement climatique, le changement de pratiques et la demande énergétique, accroissent ou modifient le risque érosif et nécessitent de nouvelles approches qui sont détaillées dans cet article. Nous concluons qu'il est nécessaire d'adapter les savoirs traditionnels dans les régions où le risque érosif est ancien, et d'anticiper son accroissement dans les régions où il était habituellement faible.

ABSTRACT

Erosion is a risk for soil fertility but foresters usually prevent it with adapted management practices. Ecological restoration in mountain lands was a great success in the last two centuries. Thanks to the past experience and continuous research until now, a complete outfit of methods and species are available to control erosion whatever its forms. Technical guidelines put them at every one's disposal. But new inputs due to global change, particularly climate change, changes in practices and demand for energy, increase or modify soil erosion risk and call for new approaches developed in this paper. We conclude that it is necessary to adapt the traditional knowledge in regions where the risk has always been significant, and to anticipate its increase in regions where it was usually low.

1 – Introduction

L'érosion des sols est un phénomène complexe qui combine la dégradation de leurs couches superficielles et le déplacement des matériaux les constituant. C'est une préoccupation constante des forestiers, notamment dans la gestion de forêts créées ou reconstituées pour la limiter. En France métropolitaine, on pense spontanément à la restauration des terrains de montagne (RTM), mise en œuvre à partir de 1860 pour stabiliser les sols de montagne, suite à une décennie particulièrement pluvieuse à l'origine de crues dévastatrices. Ces catastrophes ont été imputées au déboisement et au surpâturage qui avaient dénudé les sols. La situation était alors particulièrement critique en région méditerranéenne, en lien avec une moindre vigueur de la végétation, la récurrence des feux et un élevage omniprésent depuis des millénaires.

La politique RTM s'est concrétisée par des travaux de reconstitution essentiellement réalisés jusqu'à la première guerre mondiale. Un siècle plus tard, les résultats sont probants (figure 1). En définitive, il est acquis qu'une couverture végétale, notamment la forêt, protège les sols de l'érosion superficielle. Grâce à l'expérience séculaire de la foresterie et aux travaux plus récents de la recherche, le forestier dispose aujourd'hui d'outils efficaces pour concilier sylviculture et protection des sols.

Pour autant, la protection des sols reste une préoccupation actuelle du forestier et de l'écologue. D'une part, il subsiste en montagne et en région méditerranéenne des surfaces dénudées soumises à une érosion active. D'autre part, il n'est pas exclu que la protection assurée par la forêt soit remise en cause, directement ou indirectement, par les changements globaux en cours. En effet, les scénarios d'évolution du climat font craindre, pour les peuplements forestiers en place, des dépérissements massifs impossibles à contenir par la sylviculture. En même temps, le risque d'incendie, qui s'intensifie et s'étend à de nouvelles régions, constitue une menace majeure et directe pour la forêt et pour les sols.



Figure 1 : Une érosion globalement maîtrisée dans les principaux massifs montagneux français, même s'il reste de petites zones actives sur les sols les plus ingrats, comme ici sur marnes noires dans les Alpes du Sud (Photo J. Ladier)

Par ailleurs, le renchérissement des sources d'énergie tend à augmenter la demande en bois-énergie sous toutes ses formes, bouleversant ainsi la palette des débouchés de la production forestière. Enfin, les modes

d'exploitation changent, avec une mécanisation de plus en plus poussée nécessitant des taux de prélèvement plus importants. Ces deux facteurs conjoncturels conditionnent souvent les caractéristiques des coupes de bois. Ils ont déjà, dans le sud de la France du moins, des conséquences sur la sylviculture avec des interventions moins fréquentes mais plus conséquentes (Landmann et al., 2011).

2 - Rappels des savoirs séculaires

2.1 - Le phénomène érosif

L'érosion des sols est un phénomène naturel provoqué majoritairement, en France du moins, par les eaux de pluie. Cet article s'intéresse surtout à l'érosion par pertes de matière particulaire : on peut distinguer l'impact des gouttes de pluies à l'origine de l'arrachement des particules fines en surface, le ruissellement superficiel qui les mobilise, et la concentration locale des eaux, pouvant provoquer une incision des terrains par ravinement et entraîner une couche de matériaux plus grossiers. L'érosion éolienne constitue un risque significatif dans les zones récemment brûlées, tandis que l'érosion par piétinement est confinée dans des zones intensément pâturées ou dans certains secteurs touristiques. Il faut ajouter l'érosion chimique par entraînement ou lessivage d'éléments minéraux ou de molécules organiques, ou la dégradation accélérée de ces dernières. Elle est souvent un corolaire de l'érosion mécanique lorsque celle-ci est exacerbée par la dégradation du couvert végétal. Mais elle se produit naturellement en permanence, à des degrés variables en fonction du climat, du type de sol et du type de végétation.

Comme tout aléa naturel, l'aléa d'érosion des sols doit être diagnostiqué en faisant abstraction de la couverture végétale et d'éventuels ouvrages de protection (Ladier et al., 2011). Il est donc présent sur toute pente suffisante pour permettre l'entraînement latéral de particules du sol, c'est-à-dire à partir d'un seuil approximatif de 20 % en milieu forestier, de moins de 10% en milieu agricole ou dénudé, sur des sols travaillés ou déstructurés. L'érosion ne concerne donc pas que les zones de montagne, mais tous les reliefs à toutes les échelles, jusqu'au microrelief d'ordre métrique. Au niveau opérationnel, l'échelle considérée est l'unité fonctionnelle d'aléa, l'unité de gestion ou la parcelle forestière. Le gestionnaire doit garder en mémoire que l'aléa naturel reste latent et peut se manifester à tout moment après une perturbation, même s'il est maîtrisé actuellement grâce au rôle de protection assuré par la forêt.

Les sols ont une vulnérabilité variable à l'érosion. Elle est fonction de leur texture (teneurs en argile, limon, sable), de leur structure et notamment de la présence d'agrégats plus ou moins stables, de leur teneur en matière organique, de leurs plus ou moins grandes perméabilité et hydrophobicité régulant le ruissellement et l'infiltration des pluies, de leur teneur en éléments grossiers pouvant freiner les flux d'eau, etc. Par ailleurs, l'érosion peut exister même en milieu boisé ou herbacé, dès lors que la pente est significative.

2.2 - La maîtrise de l'érosion superficielle par la végétation

La végétation limite nombre d'effets néfastes de l'eau :

- le feuillage intercepte une partie de la pluie. Il réduit ainsi l'énergie cinétique des gouttes qui atteignent le sol indirectement, et donc leur impact érosif direct;
- les herbes, la litière et les racines superficielles ralentissent la mobilisation des particules de sol par ruissellement ;
- les racines charpentières plus profondes des arbres limitent indirectement l'érosion en s'opposant aux glissements superficiels et en partie au tassement du sol ;
- la structure des couches humifères du sol limite leur sensibilité à l'impact des gouttes de pluie et à l'entraînement des particules de sol. De même, une forte porosité favorise l'infiltration de l'eau.

Ainsi, une couverture végétale protège le sol de l'érosion superficielle, d'autant plus qu'elle est complète, dense et pluristratifiée. La forêt n'est cependant pas indispensable et une couverture dense de plantes arbustives ou herbacées est tout aussi efficace. Une couverture incomplète peut suffire à la contrôler. Ainsi, les résultats expérimentaux montrent qu'un recouvrement de 70 % limite la mobilisation des particules de sols et les piège à proximité immédiate, presque aussi bien qu'un couvert complet. Un recouvrement de 30 % réduit déjà significativement l'agressivité du ruissellement et parfois très fortement l'entraînement de particules. Toute végétation est donc utile pour protéger les sols.

Par ailleurs (cf. 3.3), les débris de végétaux morts gisant au sol jouent aussi un rôle de protection, et la répartition spatiale de la végétation ou de ces débris compte autant que le pourcentage de surface qu'ils couvrent. Enfin, une meilleure protection contre le risque érosif est souvent assurée grâce à une grande diversité fonctionnelle des végétaux. Sur les milieux marneux de montagne érodés et restaurés depuis plus d'un siècle, au-delà de leur fertilité (stock et disponibilité en éléments nutritifs), c'est surtout la disponibilité en eau des sols qui explique cette diversité.

Malgré d'indéniables succès, il subsiste en montagne et en région méditerranéenne française des sols nus soumis à une érosion active (*figure 1*), principalement sous forme de ravines. Par exemple, dans le bassin versant de la Durance (Sud-Est de la France), l'érosion concerne une surface de l'ordre de 40 000 ha. Cette surface, bien que relativement faible au niveau régional, fournit la majorité des matériaux aujourd'hui déplacés, confirmant au passage l'efficacité des boisements artificiels et naturels sur le reste des surfaces traitées. L'existence actuelle de ces terrains dénudés illustre les limites des techniques anciennes de reboisement et d'engazonnement, ainsi que de la dynamique végétale naturelle: elles se heurtent aux pentes très fortes et à l'absence d'horizon pédologique qui caractérisent ces milieux. C'est le domaine du génie biologique, qui a beaucoup évolué grâce à des travaux expérimentaux récents.

2.3 – Le génie biologique pour revégétaliser les sols érodés

Le génie biologique, ou génie végétal, s'entend comme l'ensemble des techniques et stratégies utilisant les végétaux pour contrôler, stabiliser et gérer des sols érodés, et plus largement pour restaurer, réhabiliter ou « renaturer » des milieux dégradés.

Des ouvrages tels que des fascines, des clayonnages, des palissades ou encore des cordons de boutures ou de plants peuvent avantageusement être utilisés (*figure 2*). Les recherches actuelles visent à mieux comprendre le fonctionnement et l'influence de ces structures sur le risque érosif. Elles débouchent sur des méthodes de diagnostic précis des conditions du milieu, ainsi que sur des méthodologies pour choisir les ouvrages de génie biologique les mieux adaptés au contrôle de l'érosion et de la sédimentation, en particulier dans les bassins versants torrentiels (Rey, 2011).



Figure 2 : Des techniques éprouvées de génie végétal (ici des fascines) fascines en l'occurrence), mais un choix d'essences pouvant être remis en question par le changement climatique (Photo F. Rey.)

Si ces techniques de génie biologique s'appliquent à de petites entités spatiales, la stabilisation de bassins versants de plusieurs hectares fait appel au génie civil, autre moyen d'action de la RTM (non traité dans cet article). Mais il s'agit alors de maîtriser l'affouillement linéaire dans le lit des torrents et des ravines et de limiter les dégâts engendrés par les crues, plus que de protéger la surface des sols.

2.4 – La gestion forestière appliquée

Les premières campagnes de travaux RTM ont porté sur des reboisements massifs, utilisant une large gamme d'essences locales et exotiques, résineuses et feuillues. Des arbustes comme le cytise aubour (*Laburnum anagyroides*) et des arbrisseaux comme la bugrane (*Ononis fruticosa*) ont également été plantés. Il s'agissait de recréer des écosystèmes pérennes bien qu'initialement artificiels. Les reboisements RTM ont ensuite été complétés par des réengazonnements.

Les surfaces reboisées dans le cadre de la RTM totalisent 260 000 ha, ce qui est loin du million d'hectares envisagé, mais montre l'ampleur sans précédent de l'entreprise. A ces surfaces s'ajoutent les terres en déprise colonisées par la lande puis par la forêt, suite à un exode humain qui s'est amplifié après la première guerre mondiale. Le résultat est flagrant sur le terrain lorsque l'on constate qu'une grande partie des versants autrefois dénudés sont actuellement boisés, et que des sols ont amorcé leur reconstitution sous ces boisements. Le constat est plus nuancé sous climat méditerranéen de basse altitude, car la dynamique végétale et la pédogénèse sont plus lentes, parfois bloquées, et certains sols continuent d'être rajeunis par l'érosion superficielle malgré leur fixation par une garrigue trop clairsemée.

Actuellement, l'érosion superficielle est globalement maîtrisée à l'échelle des grands massifs français. Désormais, l'enjeu pour les gestionnaires est donc moins la réduction de l'érosion que le maintien du niveau actuel de protection des sols.

En termes de gestion forestière, les principes de maîtrise de l'érosion exposés précédemment tiennent en trois grands types de préconisations :

- préserver autant que possible à chaque intervention la végétation accompagnatrice,
- éviter les dégâts d'exploitation sur le sol La qualité du chantier est très liée à la période d'exploitation (éviter les périodes d'engorgement du sol), au matériel utilisé et à la compétence de l'exploitant,
- limiter la surface des coupes rases, pour que la réactivation potentielle de l'érosion soit maîtrisable par la végétation conservée. Des surfaces inférieures à 1 ha d'un seul tenant ou, mieux, inférieures à 0,5 ha sont préconisées.

En définitive, le forestier dispose aujourd'hui de tous les éléments nécessaires pour garantir une bonne protection des sols contre l'érosion dans le cadre de la gestion courante des peuplements. Le guide des sylvicultures de montagne pour les Alpes du Sud françaises en est un exemple récent (Ladier et al., 2011). Il intègre, d'une part, des critères diagnostics du risque et du niveau de protection (Rey et al., 2009), d'autre part, une typologie de situations et les règles de gestion correspondantes pour maintenir ou améliorer le niveau de protection.

En pratique, deux types de situations doivent être distingués. D'un côté, les peuplements gérés avec un objectif, principal ou secondaire, de production de bois ; de l'autre, les peuplements dont la gestion n'est pas rentable, à cause de la valeur médiocre des bois ou des difficultés d'accès. Ces situations appellent des réponses différentes découlant de logiques presque opposées.

Dans les peuplements "de production", la seule phase de vulnérabilité du sol est le renouvellement du peuplement qui, hors futaie jardinée, passe par des coupes rases. On en reste donc aux préconisations de base édictées ci-dessus et à leurs éventuelles adaptations locales, qui influent peu sur la sylviculture.

Grâce aux anciennes mesures mises en place dans les peuplements "de protection", aucune intervention ou coupe n'est à programmer, sauf si les arbres plantés il y a plus d'un siècle sur de mauvais terrains, maintenus trop serrés pour développer un houppier, donnent des signes de faiblesse. Dans un premier temps, le guide des sylvicultures de montagne pour les Alpes du Sud françaises propose un diagnostic structuré pour décider de la nécessité d'une intervention en fonction de la durée de survie du peuplement, de sa stabilité, de la dynamique végétale et du niveau de risque. En simplifiant, une intervention est jugée prioritaire si le niveau de protection assuré par le peuplement se dégrade ou se dégraderait à court terme en l'absence d'intervention. Par exemple, la perspective de mortalité dans un peuplement de pins ne justifie pas une intervention si le sous-bois est développé. Dans un second temps, si une intervention est décidée, le guide en propose les modalités, déclinées par type de peuplement. Dans le cas d'une futaie de pin dense sans relais végétal identifié, on procédera à une ouverture du couvert pour enclencher une dynamique naturelle, en abandonnant les bois sauf s'ils peuvent être opportunément valorisés. Puis, en cas d'échec seulement, on aura recours au génie biologique.

2.5 - Erosion et incendie

La situation se complique singulièrement après le passage d'un incendie, car le feu élimine la couverture végétale. Il détériore la structure des horizons supérieurs des sols, réduisant ainsi leur capacité d'absorption des précipitations, tout en les rendant plus sensibles à l'érosion. L'incendie laisse un lit de cendres très facilement mobilisables par l'eau et le vent. Le sol se trouve donc menacé de décapage par toute précipitation importante avec de surcroît une perte directe de fertilité. Sur divers bassins-versants expérimentaux du monde, on a ainsi mesuré un accroissement de 30 à 100 fois de la perte de sol dans l'année suivant un feu. La sensibilité du sol à l'érosion superficielle reste forte pendant un à deux ans, et diminue rapidement avec la reconquête du terrain par la végétation. Les techniques destinées à minimiser l'érosion après un incendie, et autant que possible à réhabiliter les zones brûlées sont très proches de celles utilisées en génie biologique et RTM : fascines mortes ou vivantes, paillage par étalement au sol des végétaux brûlés après coupe ou broyage et des rémanents d'exploitation, etc.

2.6 – Des techniques maîtrisées, mais des efforts à ne pas relâcher

Finalement, le contrôle de l'érosion par la végétation repose sur une expertise très ancrée dans la culture forestière française, ainsi que sur des techniques globalement maîtrisées. Une liste d'ouvrages de référence est donnée en annexe. Cependant, le changement climatique et de nouvelles pratiques de gestion obligent à rester vigilant. En particulier, il ne faut surtout pas abandonner le suivi des bassins expérimentaux, afin d'étudier les changements en cours et leurs conséquences, et tester des adaptations nécessaires. On aura ainsi les moyens de réagir rapidement pour que les gestionnaires ne se retrouvent pas dans des impasses qui auraient des conséquences graves, avec la reprise d'une érosion massive.

Le changement climatique risque de mettre à mal les zones jadis érodées et maintenant végétalisées (*figure 3*). Mais il menace aussi, par dépérissement ou incendie, de grandes surfaces de forêts plus anciennes dans des régions où le risque d'érosion était jusqu'alors considéré comme faible. Par ailleurs, l'intensification de certaines pratiques de gestion, comme une récolte accrue de biomasse, incite à prendre certaines précautions vis-à-vis de l'érosion, et pas seulement de la fertilité du sol. Ces nouveaux risques, avec les précautions et recherches qu'ils imposent, sont présentés dans la suite de cet article.



Figure 3 : Bien que maîtrisée par le succès de plantations RTM, l'érosion reste une menace dans de nombreux massifs. Un dépérissement ou un incendie peuvent instantanément la réactiver (Photo F. Rey).

3 - Les nouveaux risques induits par le changement climatique

3.1- Remise en cause des choix techniques en RTM et génie végétal

Le changement climatique impose de revisiter les choix d'espèces et de techniques que l'expérience et la recherche avaient établis depuis plus d'un siècle en RTM et en génie végétal pour gérer les forêts, particulièrement en zone de montagne et en région méditerranéenne. Comme suggéré précédemment, l'adaptation des espèces au bilan hydrique local est un des points clef du succès de ces travaux et de la régénération naturelle qui s'ensuit. Dans les conditions drastiques imposées par ces milieux érodés, la marge de tolérance des espèces est plus étroite que dans la gestion forestière classique. Certaines de ces espèces pourraient ne plus être adaptées. D'autre part, les gammes d'altitude et d'exposition où elles peuvent être utilisées seront aussi modifiées, avec des limites altitudinales qui pourraient remonter de quelques centaines de mètre sur les versants. Les techniques elles-mêmes devront être adaptées : modification des périodes de travaux, part relative du végétal et du génie civil dans les sites très contraignants, types de plants ou de boutures, etc. De nouvelles expérimentations et un suivi attentif de l'évolution des sites sensibles sont donc nécessaires, plus encore que dans le reste des forêts françaises où ce souci est déjà bien présent.

3.2 - Risque lié au changement du régime des pluies et des températures

Dans l'avenir, les modèles prévoient une fréquence supérieure des épisodes de pluies extrêmes, qui sont de très loin les plus néfastes en termes d'érosion. Ces pluies sont d'autant plus dangereuses qu'elles se produisent sur un sol sec, moins perméable, et rencontrent une végétation desséchée couvrant moins le sol. La fréquence annoncée des épisodes de canicule et de sécheresses prolongées en été va multiplier le risque de conjonction entre pluie diluvienne et sol sec en automne. Ce risque est particulièrement marqué en région méditerranéenne où les orages d'automne sont habituellement les plus violents. Elle multipliera aussi la conjonction de ces pluies extrêmes avec des épisodes de dépérissements forestiers et d'incendies (voir ci-dessous).

3.3 - Risque lié aux tempêtes

Les scénarios d'évolution du climat soulignent un risque d'augmentation de la puissance des tempêtes, et de façon plus controversée de leur nombre, en particulier sur l'océan atlantique et sur les pays qui le bordent. La destruction massive de peuplements par le vent s'accompagne d'une perte de couvert et d'une mise à nu partielle des sols, en particulier par déracinement des gros arbres, provoquant une augmentation temporaire de l'érosion.

3.4 - Risques liés au dépérissement des forêts

Le risque de dépérissement de vastes massifs forestiers ou de certaines espèces sur de grands territoires n'est pas limité aux régions du sud et aux forêts méditerranéennes. Une augmentation rapide et généralisée de ces dépérissements touche tous les écosystèmes de la planète depuis les années 90, des forêts tropicales à la taïga, du niveau de la mer jusqu'en montagne (Vennetier, 2012).

Pour quantifier le risque érosif avec ces dépérissements, on peut s'appuyer sur des exemples étrangers. En effet, en France, les dépérissements forestiers ont jusqu'alors été compensés par une dynamique végétale naturelle assurant une protection continue du sol. Au sud-ouest des USA, dans les zones en limite des forêts semi-arides initialement dominées par le pin ponderosa, avec un sous étage dense de pin piñon (*Pinus edulis*) et de genévriers, les différents étages ont progressivement disparu sur plusieurs millions d'hectares à la suite de sécheresses et de fortes canicules, ne laissant actuellement qu'une garrigue éparse de genévriers avec une strate herbacée très discontinue.

Avec ces mortalités successives, on a observé à chaque étape une augmentation significative de l'érosion (20-50%), mais pas de façon linéaire ni spatialement régulière. Elle reste contenue tant que la végétation couvre une part importante du sol, mais surtout tant que les zones de sol nu sont déconnectées, séparées par de la végétation vivante ou par des débris végétaux. Plus que la surface de sol nu, c'est donc sa connectivité qui est cruciale (figure 4).

Par ailleurs, la connectivité des ravines elles-mêmes, à toutes les échelles, est aussi un point clef. Pour exemple, dans les zones les plus touchées, où il reste moins de 10% de couvert arboré ou arbustif et où le sol nu représente plus de 50% de la surface, la coupe et le démembrement des arbres et arbustes morts et la répartition aléatoire au sol de ces débris ont divisé par trois la quantité de sol érodé et exporté. Tout ce qui peut ralentir et dévier les flux d'eau est donc bénéfique. De façon naturelle lors des dépérissements, la mort de nombreux arbres provoque leur chute entière ou par morceaux, et donc de nombreux obstacles au ruissellement.



Figure 4 : Un sol dénudé par le dépérissement généralisé de la forêt et des herbacées après une canicule intense. Le bois mort gisant et les herbacées sèches le protègent encore partiellement, et provisoirement, de l'érosion (Photo M. Vennetier)

Cependant en climat méditerranéen ou semi-aride, cette chute peut prendre de nombreuses années et même des décennies, c'est-à-dire beaucoup trop pour compenser les effets directs du dépérissement. La mort des arbres se traduit aussi, en général, par le développement d'un tapis herbacé suffisant pour contrôler l'érosion. Mais dans certaines zones arides, ce tapis peut être très discontinu car les herbacées n'ont pas toutes la capacité des arbres à puiser l'eau très profondément, et ont parfois été décimées en même temps que les arbres.

La biomasse morte produite par les dépérissements accroît beaucoup le risque d'incendie. Elle augmente dans les cimes : en Provence, on a mesuré 30% de branches mortes dans les houppiers après la période de sécheresse 2003-2007. Elle s'accumule aussi au sol à cause d'une litière épaisse et peu

décomposée, ainsi que du bois mort gisant de toutes dimensions, notamment des fragments de rameaux et de petites branches, les premiers à tomber. Dans les Montagnes Rocheuses aux USA et au Canada, des dizaines de milliers d'hectares de forêts de montagne, considérées jusque-là comme exemptes de risque d'incendie, ont ainsi été ravagées par le feu suite à des mortalités massives entre 2002 et 2005, après des sécheresses exceptionnelles.

3.5 - Risques liés à la recrudescence des incendies

En plus du risque accru d'incendie lié aux dépérissements des forêts, les feux pourraient gagner en intensité et en fréquence, donc en gravité, avec l'accroissement du stress hydrique. La durée pendant laquelle une zone incendiée reste sensible à l'érosion, c'est-à-dire le temps de régénération d'un couvert végétal suffisant, devrait s'allonger sous l'effet de cette gravité accrue des feux et d'une régénération plus lente, plus clairsemée et potentiellement moins diversifiée. Dans le massif des Maures (Var), une augmentation de la fréquence des feux dans des milieux forestiers pourtant naturellement adaptés au climat méditerranéen et à l'incendie se traduit par une dégradation difficilement réversible des qualités physiques, chimiques et biologiques des sols. Ces dégradations sont diverses : déstructuration du sol en surface, perméabilité et capacité de rétention en eau réduites à cause de la diminution du taux de matière organique et de la faible activité biologique (macro- et microfaune), ralentissement des cycles biogéochimiques et notamment du cycle de l'azote lié à la modification des communautés microbiennes, perte de qualité de la matière organique restante, qui devient plus récalcitrante à la décomposition et contient des substances toxiques. La structure forestière est elle-même altérée, avec une réduction du couvert arboré et une augmentation du sol nu (figure 5). Tous les ingrédients favorables à l'érosion sont donc réunis.



Figure 5 : Même les forêts réputées résilientes à l'incendie peuvent être éprouvées avec le changement climatique. Ici forêt de chêne liège dans les Maures (Var), un an après un feu en 2007 suivant 5 années de sécheresse (2003-2007) : contrairement à d'habitude, les houppiers n'ont quasiment pas rejeté et le sol est encore en partie nu (Photo C. Mas).

Même en l'absence de dépérissement, les incendies devraient aussi se produire dans des régions où ils ne sont pas habituels, comme ce fut le cas en 2003 dans les alpes internes ou le massif central. En effet, la végétation y étant moins adaptée et moins résiliente, la durée de la période de sensibilité à l'érosion augmente. Les zones de montagne sont doublement concernées en raison des pentes fortes. Outre l'érosion hydrique du sol, l'érosion éolienne des cendres, sensées réintégrer des éléments nutritifs dans le sol, est possible. En général, le vent les emporte pour les accumuler dans des ravines d'où elles sont évacuées par le ruissellement, provoquant localement une perte nette de fertilité.

Pour la lutte et la prévention contre les incendies, le débroussaillage réglementaire est de rigueur dans les zones sensibles, ainsi que la création de coupures de combustible dans certains massifs forestiers. Ce débroussaillage est intensif et régulièrement répété, tous les 3 à 7 ans suivant les conditions locales. Cette politique ne concerne actuellement que la région méditerranéenne et le sud-ouest de la France, mais l'obligation légale s'étendra sans doute bien au-delà dans le futur. Les surfaces traitées représentent jusqu'à plusieurs dizaines de milliers d'hectares par département, dont plusieurs milliers en zones forestières. Pratiqué manuellement ou avec des engins légers, il conserve un couvert végétal protecteur. Par contre, l'utilisation d'engins lourds le long des voies de communication, et sur certaines grandes coupures de combustible, met une partie du sol à nu (figure 6), en moyenne 25 % l'année des travaux, de 10 à 70 % suivant le sol, la pente et le type d'engins. Ces cicatrices se ferment progressivement, mais représentent encore 10 % en moyenne à 4 ans. Le risque d'érosion des sols est donc important sur le long terme avec les passages répétés.



Figure 6 : Pratiqué à répétition avec des engins lourds, le débroussaillage réglementaire visant à limiter les risques d'incendie peut provoquer une érosion significative à moyen terme (Photo J. Bodin).

3.6 - Changements dans le fonctionnement du sol

Le réchauffement climatique et les sécheresses altèrent le fonctionnement biologique du sol. Les vers de terre par exemple, mais généralement l'ensemble de la faune fouisseuse du sol, ne peuvent travailler efficacement que dans un milieu humide. L'activité de ces animaux est essentielle pour la structuration du sol à toutes les échelles. Les macro-agrégats et des galeries centimétriques, créés par les vers de terre, assurent l'infiltration de l'eau et limitent le ruissellement et l'érosion. Quant aux pores de quelques microns liés à l'activité de la microfaune, ils sont essentiels pour la capacité de rétention en eau du sol. Une période d'activité réduite dans le temps ou la disparition de certaines espèces peuvent donc fortement altérer la structuration du sol, et donc le rendre plus sensible à l'érosion.

4 - Les risques liés aux modes de gestion

Les changements de gestion, en cours ou attendus, résultent de trois facteurs concomitants d'évolution du contexte : la mécanisation de l'exploitation forestière, la demande accrue en bois énergie et la nécessité d'adapter les forêts au changement climatique.

L'exploitation forestière est de plus en plus mécanisée. Depuis une quinzaine d'années, les exploitants forestiers s'équipent de machines très coûteuses, notamment d'abatteuses qui doivent fonctionner au moins 10 heures par jour pour être rentables, et de gros porteurs. Ceci influe de fait sur les caractéristiques des coupes achetées par les exploitants, car elles doivent représenter un prélèvement suffisant, supérieur à 70 m³/ha, et un volume total important. Les prélèvements sont donc parfois bien supérieurs à ceux pratiqués traditionnellement, avec abattage manuel par des bûcherons. A ce jour, cela concerne surtout les forêts de conifères de faible valeur dans le sud de la France, mais la tendance s'accroît. D'autre part, la sylviculture des forêts de montagne se fait de plus en plus par trouées, en lien avec une exploitation par câble. Les interventions dans le cadre de cette sylviculture sont des coupes rases de surface unitaire réduite, mais avec un prélèvement forcément important pour rentabiliser l'utilisation du câble.

Par ailleurs, la demande en bois-énergie augmente. Bien que l'évolution soit moins rapide qu'attendue, il représente 40% de la production d'énergies renouvelables en France. Après une baisse de la demande ces dernières décennies il s'agit un retour à une situation antérieure où le bois de chauffage jouait un rôle clé. Les modes d'exploitation des taillis feuillus restent traditionnels et le prélèvement ne change pas. Simplement, le prix augmente et quelques coupes peu accessibles trouvent à nouveau preneur. Les plaquettes et granulés de bois créent par contre un nouveau débouché pour des produits de faible valeur, utilisés auparavant principalement en papeterie ou abandonnés en forêt. Les marges étant encore faibles, il faut une ressource homogène, facile d'accès ou en lots très importants. Ajoutons, dans le cas de l'exploitation par câble ou de la récolte de bois énergie, la possibilité d'exploiter directement des arbres entiers ou de récolter secondairement les branches, ce qui peut, à court terme, priver le sol de la protection physique par les rémanents. La récolte de la biomasse

envisagée lors des débroussailllements dans la région méditerranéenne pose le même problème, à cause d'une réduction de la couverture du sol par le broyat. A plus long terme, le déficit d'humus et de matière organique induit par ces prélèvements supplémentaires de biomasse induit un risque de diminution de la fertilité du sol. Mais il augmente aussi le risque d'érosion en raison d'une moins bonne structuration des horizons superficiels.

Des cultures dédiées à la biomasse, telles que les taillis à très courte rotation (TTCR de révolution inférieure à 3 ans), sont actuellement en cours de développement. Ce traitement diffère du taillis simple par la fréquence des exploitations et par leur mécanisation. On se rapproche de fait d'une production agricole pluriannuelle, avec les mêmes inconvénients pour le sol : absence de végétation accompagnatrice protectrice et tassement par les passages d'engins. Il est difficile de prévoir l'ampleur des surfaces potentiellement concernées, mais cela restera sans doute cantonné à des régions de plaine. La protection des sols doit être une priorité de ces productions.

Enfin, l'une des pistes d'adaptation des peuplements au changement climatique est la réduction de la surface foliaire, pour limiter l'évapo-transpiration induite par la hausse des températures ainsi que la concurrence entre les arbres. Ceci nécessite de réduire la densité du peuplement dominant et de maîtriser la végétation accompagnatrice. Néanmoins, les itinéraires sylvicoles correspondants ne sont pas encore au point.

Ces éléments de contexte concourent à augmenter les prélèvements dans les peuplements. On court alors le risque, lors d'éclaircies fortes, de découvrir ou tasser le sol, le rendant ainsi plus vulnérable à l'érosion. Les mesures de précaution énoncées précédemment et déjà mises en œuvre dans le cadre de la gestion actuelle auront donc d'autant plus d'importance à l'avenir. Elles devront faire l'objet d'une attention particulière pour être respectées malgré les difficultés techniques et la pression économique.

5 - Conclusion

L'érosion constitue un risque pour la fertilité du sol et les forestiers sont habituellement attentifs à l'éviter dans leur gestion. Mais de nouveaux éléments liés aux changements globaux, notamment le changement climatique et l'augmentation de la demande énergétique, accroissent la pression sur les peuplements forestiers et les risques d'érosion des sols. Dans ce contexte, il semble indispensable de recycler et d'adapter les savoirs traditionnels de la foresterie, des bureaux d'étude et des entreprises spécialisées, et d'anticiper l'accroissement de ce risque dans des régions où il était habituellement limité.

Bibliographie

- Ladier J., Rey F., Dreyfus P. 2011. Guide des sylvicultures de montagne (Alpes du Sud françaises). Paris : ONF-Irstea-INRA. 301 p.
- Landmann G., Ginisty C., Chauvin C. 2011. Les traitements sylvicoles à l'origine du bois énergie et leurs évolutions possibles en cas de demande accrue de bois. Revue forestière française, vol. 63, n° 2, pp. 193-202
- Rey F. 2011. Génie biologique contre l'érosion torrentielle. Editions Quae. 100 p.
- Rey F., Ladier J., Hurand A., Berger F., Calès G., Simon-Teissier S. 2009. Forêts de protection contre les aléas naturels - diagnostics et stratégies. Editions Quae, 111 p.
- Vennetier M. - 2012. Changement climatique et dépérissements forestiers. In Corvol A. (éd.) Changement climatique et modification forestière, Groupe d'histoire de la Forêt Française - Cahier d'Études n°22, IHMC-CNRS, Paris, p. 50-60.

Voir aussi bibliographie supplémentaire en annexe.

Annexe: Quelques références biblio pour en savoir plus (matériel supplémentaire)

Génie biologique et RTM

AGéBio (Association française pour le génie biologique ou génie végétal). 2013. www.agebio.org

De Crécy L. 1983 – La politique de prévention des risques naturels en montagne depuis 150 ans. 108e Congrès national des Sociétés savantes, Grenoble, t. I, pp. 121-128

Gestion forestières et sécheresse

Demirdjian, S. 2004 - Risques naturels et passage de l'incendie : l'expérience de la RTM. ONF / Rendez-vous techniques n°4. pp.44-48

Legay M., Ginisty C., Bréda N., 2006. Que peut faire le forestier face au risque de sécheresse ? - Rendez-vous techniques de l'ONF, n°11, pp 35-40

Gestion et reconstitution des forêts de montagne

Bonnet D. 1984. La reconstitution d'une forêt de protection : vers une nouvelle image des forêts des Alpes sèches - Revue Forestière Française, vol. 36, n° 6, pp. 459-467

Brugnot G., Cassayre Y. 2004 - De la politique française de restauration des terrains en montagne à la prévention des risques naturels. La Revue du GREF, n° 6 , pp. 25-30

Burylo M., Rey F. 2009. Connaître la réponse des plantes aux contraintes érosives : intérêt pour la restauration écologique des terrains érodés. Ingénieries EAT, n° spécial "Ecologie de la restauration et ingénierie écologique : enjeux, convergences, applications", pp. 111-120.

Erktan A., Cécillon L., Rey F. 2013. Restauration écologique de terrains érodés dans les Alpes du Sud : effets de la végétation sur la stabilité et la fertilité des sols. In E. Roose (Ed.), Restauration de la productivité de sols tropicaux et Méditerranéens. IRD-AUF, Paris. (sous presse).

ONF. 2011 – Additif au guide des sylvicultures de montagne (Alpes du Nord françaises) – Sylviculture des peuplements situés en forte pente. 8 p.

Rey F., Ballais J.L., Marre A., Rovéra G. 2004. Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. Comptes rendus géoscience, vol. 336, pp. 991-998.

Rey F., Chenost C. Simon-Teissier S. 2006. Forêt et érosion dans les bassins versants torrentiels. Revue Forestière Française, vol. 58, n°4, pp. 329-338.

Rey F. 2004. Efficacité du génie biologique par bouturage en petite correction torrentielle. Revue Forestière Française, vol. 61, n°2, pp. 155-163.

Saillet B. 1991. De l'utilité des boisements pour la restauration et la conservation des terrains en montagne. Revue Forestière Française, vol. 43, n° 2, pp. 119-130

Impact des incendies sur l'environnement et l'érosion, et leur interaction avec la sécheresse

CEMAGREF Aix-en-Provence 1991 – Incendie du massif des Maures : conséquences sur le cycle de l'eau et sur les processus d'érosion. Irstea, Informations DFCI n°23, pp.8-9.

Combes F. 1990. Après le feu... la boue - Revue forestière française , vol. 42 , n° spécial "Espaces forestiers et incendies" , pp. 303-306

Duché Y., Savazzi R., Commagnac L, Cloppet E., Regimbeau M. 2011. Essai de cartographie des massifs potentiellement sensibles aux incendies estivaux à l'horizon 2040. Forêt méditerranéenne, t. XXXII, n°2, pp. 217-224.

Venetier M., Cecillon L., Guénon R., Schaffhauser A., Vergnoux A., Boichard J.-L., Bottéro J.-Y., Brun J.-J., Carrara M., Cassagne N., *et al.* (50 co-auteurs). - 2008. Etude de l'impact d'incendies de forêt répétés sur la biodiversité et sur les sols : recherche d'indicateurs. Rapport final. Cemagref, Ministère de l'Agriculture et de la pêche, Union Européenne, Aix-en-Provence, 236 p.

Effets du débroussaillage règlementaire

Vennetier M., Bodin J., Baudel J., Piana C., Celse R., Ripert C., Estève R., Lopez J.-M., Gerra F., Martin W., Lemoine T. - 2013. Débroussaillage réglementaire et apiculture en forêt méditerranéenne. Guide technique, Irstea et Cardère édition, Aix-en-Provence, 40 p.