



HAL
open science

Atténuer l'érosion des sols après un incendie

Marion Toutchkov, Benoît Reymond, Etienne Ebrard, Stéphane Nougulier

► **To cite this version:**

Marion Toutchkov, Benoît Reymond, Etienne Ebrard, Stéphane Nougulier. Atténuer l'érosion des sols après un incendie. Rendez-vous Techniques de l'ONF, 2024, 79, pp.34-43. hal-04643116

HAL Id: hal-04643116

<https://hal.science/hal-04643116v1>

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.

Atténuer l'érosion des sols après un incendie

Lorsque les flammes consomment un massif forestier, on ne pense pas directement à l'érosion des sols. Pourtant, après un incendie, l'absence de végétation et la déstructuration du sol le rendent extrêmement sensible à l'érosion, surtout en contexte de forte pente. Les services ONF de défense des forêts contre les incendies et de restauration des terrains de montagne travaillent ensemble pour limiter cette érosion et ses conséquences.

Les incendies détruisent la végétation et déstructurent les sols qui risquent de s'éroder tant que la végétation n'a pas repris ses droits. Cela peut entraîner une perte de fertilité de la zone, une surcharge sédimentaire des milieux aquatiques en aval, mais aussi des risques torrentiels dangereux pour les populations humaines et les infrastructures.

Nous présentons dans cet article les processus favorisant l'érosion après les incendies, les éléments qui guident le choix d'intervenir ou non après l'incendie, ainsi que les techniques pouvant être utilisées lors de cette intervention.

L'impact des incendies sur l'érosion des sols : les processus à l'œuvre

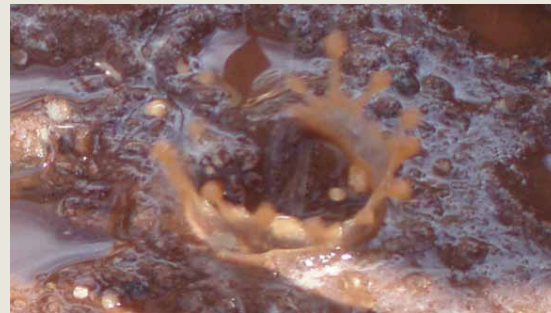
La couverture végétale permet d'intercepter une partie du volume des eaux de pluie, et diminue ainsi la fraction qui atteint le sol et qui participe aux ruissellements. Le volume intercepté est variable et dépend de plusieurs paramètres : durée et intensité de la pluie, présence ou non de vent pendant la pluie, type de végétation, présence d'un horizon humifère, etc. De même, la végétation basse, la litière et l'horizon humifère retiennent une partie de la pluie. Par ailleurs, les systèmes racinaires favorisent l'infiltration des eaux dans le sol en créant des cheminements préférentiels. Cette réduction des ruissellements atténue les crues et réduit l'érosion des sols.

Grâce à la végétation, les gouttes de pluie viennent également impacter moins violemment le sol, d'autant que l'horizon humifère au sol constitue aussi une strate qui atténue considérablement les impacts des gouttes de pluie. L'effet « splash » est alors beaucoup moins important qu'en l'absence de végétation et l'érosion des sols est encore réduite.

Enfin, le réseau racinaire forme une véritable armature du sol qui résiste alors beaucoup mieux aux processus d'érosion diffuse (entraînement diffus de matériaux sur les versants, aux endroits où les écoulements ne sont pas encore

L'effet « splash »

L'effet « splash » produit un arrachement de matière du sol, qui est d'autant plus important que les pluies sont orageuses car les gouttes ont un plus gros diamètre. L'effet « splash » est un processus prépondérant dans l'érosion hydrique des sols.



Effet « splash » d'une goutte de quelques millimètres de large qui arrache de la matière lors de son impact sur le sol - © M. van Hees

Ordre de grandeur : pendant la première année après l'incendie, l'effet « splash » produit une érosion qui peut être jusqu'à 100 fois supérieure par rapport à un sol non incendié.

concentrés) et de ravinements (érosion lorsque les écoulements se concentrent et génèrent des rigoles et des ravines).

La protection des sols est donc apportée par la couverture végétale dans son ensemble et c'est souvent la strate végétale au sol qui est la plus efficace pour limiter l'érosion des sols.

La disparition du couvert végétal après un incendie engendre une augmentation des volumes d'eau ruisselée lors des pluies, ainsi qu'une augmentation des volumes de matériaux arrachés au sol. La chaleur du feu a pu également déstructurer le sol sur les premiers décimètres, aggravant encore les processus d'érosion diffuse et de ravinement. Ceux-ci sont susceptibles de se produire lors des premières années après l'incendie, tant que la végétation au sol n'est pas revenue pour consolider les terrains incendiés.

Les incendies ont des effets plus ou moins marqués sur la destruction de la végétation, qui se quantifie grâce à un indice que l'on appelle la sévérité du feu. Celle-ci dépend de l'intensité de la combustion, mais aussi du temps d'exposition aux flammes, ou encore du type de végétation concerné et de l'état hydrique des végétaux avant l'incendie.

La sévérité du feu peut être très variable. On l'évalue comme :

- **Faible** → Au passage rapide d'un feu en sous-bois avec quelques houppiers brûlés,
- **Moyenne** → Au passage d'un feu assez intense pour éliminer toute la végétation du sous-bois et roussir les houppiers,
- **Forte** → Au passage d'un feu intense pour lequel tout est brûlé, jusqu'aux rameaux de diamètre centimétrique.



Erosion diffuse du sol (décapage) générée par un écoulement diffus de surface sur des terrains incendiés - © M. Curran



Ravinement en rigoles sur les pentes incendiées de la Buffalo Creek, Colorado - © USGS / photo : John A. Moody

↑ **Figure 1.** Erosion diffuse du sol et ravinement en rigoles



Sols en forêt non brûlée



Sols en forêt brûlée avec un indice de sévérité faible



Sols en forêt brûlée avec un indice de sévérité fort

↑ **Figure 2.** Trois exemples de sévérité du feu

Selon la sévérité du feu, la protection du sol apportée par la végétation contre les intempéries sera alors plus ou moins altérée. Les zones de reproduction cellulaire des plantes (les méristèmes tels que le cambium ou les bourgeons), ainsi que les graines présentes dans les houppiers ou dans le sol, peuvent également être plus ou moins atteintes selon la sévérité du feu, ce qui a des conséquences sur la cinétique de reverdissement des terrains incendiés, et donc de rétablissement de la protection du sol.

Mais les incendies ont aussi un impact direct sur le sol. Le feu est susceptible de modifier ses propriétés de plusieurs manières en fonction de l'intensité du feu :

1. **L'altération de la structure du sol en surface.** Les sols brûlés deviennent friables et nettement moins cohésifs, ce qui génère une quantité importante de matériaux fins qui peuvent être entraînés par les pluies de moyennes et fortes intensités. A noter que le feu contribue également à la fracturation des roches : 10 à 100 fois plus intensément que le gel.

2. **La constitution d'un tapis de cendres.** Les cendres peuvent être soit noires sur une épaisseur souvent inférieure à 1 cm (charbons issus d'une combustion incomplète), soit blanches-grises sur une épaisseur pouvant atteindre jusqu'à 20 cm (cendres fines et légères issues d'une forte intensité de feu). Ces cendres peuvent être entraînées vers l'aval. Elles sont également susceptibles de colmater la porosité du sol (surtout les cendres grises du fait de leur finesse), faisant alors significativement baisser la capacité d'infiltration du sol et favorisant l'apparition du ruissellement.

3. **La formation d'une couche hydrophobe** (sur une profondeur généralement inférieure à 6 cm), par transformation de la matière organique en cire qui colmate les interstices du sol. Cela contribue à l'augmentation du ruissellement et à l'érosion des matériaux situés au-dessus. Cela se produit lorsque certains seuils de température sont dépassés. Pour des feux moins intenses, l'effet peut être moindre ou nul.



↑ **Figure 3.** Feu de forte sévérité, avec destruction en profondeur de l'horizon humifère du sol sur terrain sableux

Le caractère hydrophobe du sol après un feu



↑ **Figure 4.** Comportement de l'eau sur un sol hydrophobe
Certains sols repoussent l'eau. Ces sols sont appelés « non mouillables », « hydrofuges » ou « hydrophobes ».

L'hydrophobie des sols incendiés est souvent responsable de l'aggravation des ruissellements sur des sols profonds, plutôt à matrice sableuse avec une végétation de type forêts de conifères très denses (cas des feux de Californie et du Colorado, ou encore en Australie).

Sur les sols méditerranéens plutôt peu épais et caillouteux, avec une végétation de type garrigues ou maquis, le caractère hydrophobe des sols post incendie n'est souvent observé que sur des surfaces limitées et ne concernent pas l'ensemble des bassins versants incendiés.

Concernant les forêts de montagne qui ont été jusqu'ici assez épargnées par les incendies mais qui deviennent de plus en plus vulnérables à cause des effets du changement climatique, la question de l'hydrophobicité va certainement devenir primordiale comme facteur aggravant de l'augmentation des ruissellements et de l'érosion.

Ainsi, l'incendie rend le sol plus vulnérable à l'érosion. Cette vulnérabilité est accrue par les dommages à la végétation et à la litière, qui n'interceptent plus aussi bien la pluie. L'érosion des sols et la dynamique de végétalisation seront alors très dépendantes du régime des pluies après l'incendie. Une pluie de faible intensité mais durable dans le temps sera beaucoup moins érosive qu'une pluie orageuse très intense. La première sera favorable à une reprise rapide de la végétation au sol tandis que la seconde aura pour effet d'éroder le sol en retardant une reprise de la végétation. Plus les pluies intenses arrivent rapidement après l'incendie, plus les pluies ruissellent sur un sol incendié déstructuré où la végétation n'a pas encore eu le temps de créer une « armature ».

Le risque d'érosion s'estompe dès lors qu'est reconstitué un couvert d'au moins 30 %. Mais un couvert d'au moins 60 à 70 % est bien plus efficace. Le taux de couverture compte plus que le type de couvert, qui peut aussi bien être constitué de litière, d'herbacées, de rejets ou de semis d'essences arbustives ou arborées.

En contexte de garrigues, maquis, ou sur des peuplements ouverts, on observe souvent un bon ratio de couverture végétale au sol au bout d'un an après un incendie. Par exemple, à Cerbère (66), sur un site qui est régulièrement parcouru par le feu (un incendie tous les 10 ans en moyenne), la reprise de la végétation a été rapide après l'incendie du 31 juillet 2021. En moins d'un an, plus de 80 % de la surface est couverte par des herbacées et cystes offrant une protection efficace contre les phénomènes érosifs des pluies intenses.

A Monze (11), l'incendie du 14 août 2019 a impacté une végétation de type garrigue, ainsi que des peuplements fermés de pins. A peine 3 mois après l'incendie, grâce à un automne humide sans épisode pluvieux intense, la végétation rase a rapidement tapissé les sols incendiés. Au bout d'un an la couverture végétale est bonne et au bout de 3 ans elle est totale.



↑ Figure 5. 27 août 2021 (1 mois après le feu)



↑ Figure 6. 20 mai 2022 (11 mois après le feu)



↑ **Figure 7.** Évolution de la végétation après l'incendie du 14 août 2019 à Monze



↑ **Figure 8.** Synthèse d'un retour à une érosion "normale"

Pourquoi limiter l'érosion des sols après un incendie ?

Tant que la végétation n'a pas repris ses droits, l'érosion post-incendie peut entraîner des conséquences sur les écosystèmes, sur place, par appauvrissement des sols, et en aval, par surplus sédimentaire. Elle peut également aggraver temporairement les risques naturels tels que les chutes de pierres (par déchaussement de ces dernières) et surtout les risques hydrauliques (par surplus de sédiments dans les cours d'eau).

On cherche d'abord à limiter l'érosion pour réduire l'impact de l'incendie sur les fonctionnalités écologiques des milieux. Les sols sont à la fois un réservoir important d'eau, de biodiversité et de carbone, et le substrat du développement de toute la biosphère locale. Lors d'un incendie, ils sont fortement endommagés par les flammes. Mais l'impact le plus important sur les sols est leur érosion à la suite de l'incendie, car dans ce cas, le sol est définitivement perdu pour l'écosystème. Par ailleurs, les sédiments emportés peuvent avoir des impacts sur les écosystèmes humides ou aquatiques où ils se transfèrent et se déposent en aval.

Il est également essentiel de limiter les risques hydrauliques (inondations, ruissellements, crues torrentielles, laves torrentielles). La disparition du couvert forestier augmente le ruissellement et donc le débit des cours d'eau. Les matériaux transportés en lien avec l'érosion des sols sont un facteur aggravant les risques naturels. En effet, les coulées boueuses et le transport par charriage de matériaux de grosse taille qui roulent au fond de la rivière réduisent les capacités des cours d'eau à transporter de grande quantité d'eau.

Les processus d'érosion peuvent donc générer des suraléas, lesquels en présence d'enjeux peuvent conduire à la majoration des risques hydrauliques.

On peut donc intervenir pour limiter la perte du sol, la surcharge sédimentaire en aval ou une majoration des risques hydrauliques. Pour décider d'intervenir, il est nécessaire d'évaluer le potentiel d'érosion des terrains incendiés mais aussi la majoration des risques naturels qui pourrait être engendrée par cette érosion.

L'évaluation du potentiel d'érosion sur les terrains incendiés

Plusieurs dispositifs de mesures ont permis de montrer que le ruissellement et la production sédimentaire après incendie augmentent de façon spectaculaire et soudaine.

Néanmoins, étant donné la multiplicité et la complexité des facteurs qui régissent cette production sédimentaire, il est très difficile de l'estimer au cas par cas, et il n'existe pas de méthode clé en main. Les principaux facteurs sont tout de même connus : il s'agit de la sévérité du feu, de la fréquence des incendies, de la pente, de la longueur de la pente, de l'érodabilité du sol, du régime de précipitations, mais aussi de la protection apportée par dynamique de la reprise naturelle de la végétation au sol, puis des boisements résiduels.

De fait, les arbres et arbustes, même calcinés, contribuent à protéger le sol grâce au système racinaire. De même, lorsque le feu n'a pas été suffisamment intense pour consumer les aiguilles des pins, celles-ci chutent rapidement et assurent alors une protection très efficace immédiatement après le feu. Tout cela dépend des peuplements initialement présents (composition et densité), ainsi que de la sévérité du feu. Cette dernière peut être évaluée sur le terrain, ou par le biais d'images satellites.

Une cartographie par images satellites est produite par l'ONF pour tous les incendies en France de plus de 20 ha. Cette cartographie donne la sévérité du feu sur la végétation via l'indice Differenced Normalized Burned Ratio (DNBR). Il n'y a pas un lien clairement établi entre cette sévérité et l'impact de la chaleur des flammes sur la déstructuration thermique du sol, mais cette cartographie offre une vision spatiale intéressante des zones où le feu a pu être le plus intense.

Il est également possible d'évaluer les altérations des propriétés du sol après le passage du feu (et donc sa susceptibilité d'érosion) par des observations visuelles de perturbation de la couverture organique et minérale. C'est ce qu'ont montré des travaux réalisés ces dernières années en Galice, au centre de recherche forestier de Lourizán. Mais cette méthode est complexe à mettre en place et ne peut pas être utilisée en routine après chaque feu.

Deux dispositifs expérimentaux de quantification de l'érosion post-incendie : le Réal-Collobrier et Cerbère

Le Réal-Collobrier

En août 1990 a eu lieu un incendie sur le bassin versant du Réal-Collobrier, situé dans le massif des Maures (Var), sur substratum essentiellement constitué de roches métamorphiques (gneiss, micaschistes, phyllades). Un suivi quantitatif de l'érosion a été réalisé sur des parcelles d'érosion dédiées et par la mesure des remplissages sédimentaires des retenues collinaires.

L'incendie a provoqué une augmentation spectaculaire de l'érosion des sols, avec des pertes mesurées de l'ordre de 10 à 15 t/ha la première année après le feu. En comparaison, sur terrain boisé non incendiée, on ne mesure quasiment pas de perte de sol. Les années suivantes, ce taux a décru très fortement à la faveur de la reprise de la végétation, passant à environ 5 t/ha la deuxième année puis moins de 1 t/ha dès la troisième année.

Cerbère

Le principe du dispositif expérimental de Cerbère a consisté à instrumenter un versant récemment impacté par un fort incendie de végétation. Le feu de 51 ha qui s'est produit le 31 juillet 2021 sur la crête frontalière dominant la ville de Cerbère a été l'occasion de mettre en place 3 parcelles expérimentales de 100 m² permettant de mesurer les processus hydrologiques et érosifs. L'installation d'un pluviomètre a permis de mettre en relation l'intensité des pluies et les volumes ruisselés et érodés. Les effets de l'incendie sur l'érosion ont été quantifiés par comparaison entre deux parcelles incendiées et une parcelle témoin non parcourue par le feu.

Après une saison de mesures, d'octobre 2021 à septembre 2022, et malgré une pluviométrie globalement déficitaire sur le secteur d'étude, le dispositif expérimental a montré les résultats suivants :

- L'eau ruisselle sur les sols incendiés à partir d'une intensité pluvieuse de l'ordre de 20 mm/h alors que sur les sols non incendiés, le ruissellement ne débute qu'à partir d'une intensité supérieure à 40 mm/h ;
- les taux de ruissellements sont jusqu'à 6 fois supérieurs sur les parcelles d'érosion incendiées par rapport à la parcelle témoin végétalisée ;
- les taux d'érosion sont jusqu'à 14 fois supérieurs sur les parcelles d'érosion incendiées par rapport à la parcelle témoin végétalisée ;
- les taux de ruissellement et d'érosion diminuent avec le temps et en fonction du taux de couverture de la végétation au sol ;
- la dynamique naturelle de recolonisation de la végétation est forte, et au bout de dix mois la végétation au sol atteint un taux de couverture de 70 à 90 %.

Lien vidéo du projet Montclima sur l'évaluation des processus hydrosédimentaires après un incendie en région méditerranéenne

[Impact des incendies sur l'érosion et l'augmentation du risque d'inondation \(onf.fr\)](#)

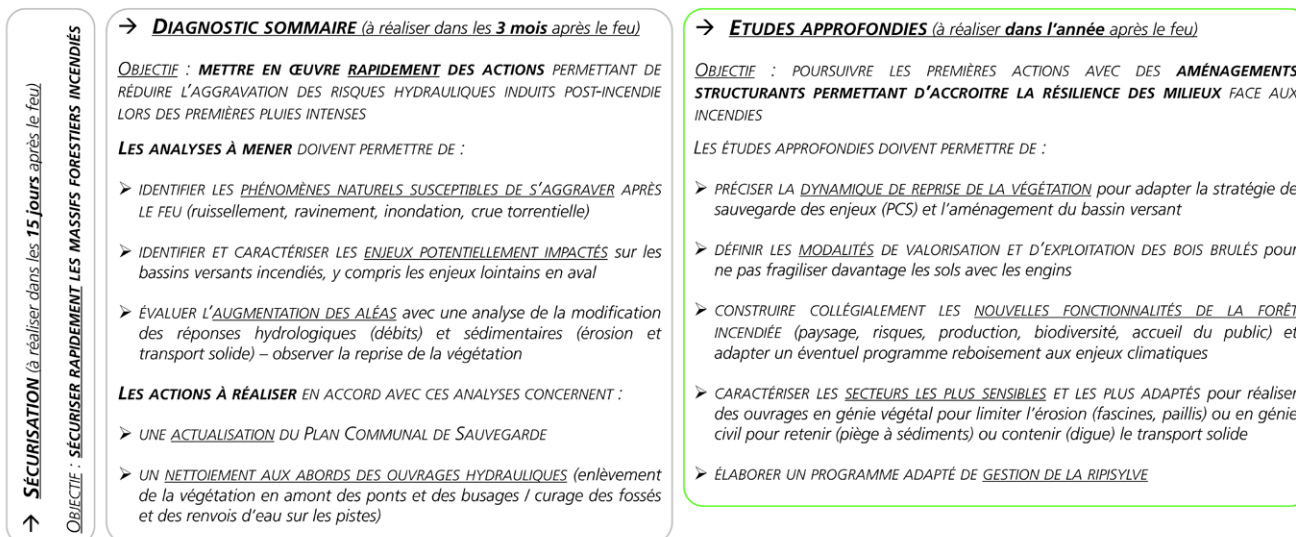
L'évaluation de la majoration des risques naturels

Du point de vue de la sécurité civile, l'étude de l'érosion peut être combinée avec celle d'autres facteurs pour évaluer l'aggravation des phénomènes torrentiels ou de chutes de pierres. Les matériaux étant susceptibles d'être entraînés loin vers l'aval, la zone d'étude est alors étendue hors de la zone brûlée, notamment pour l'appréciation des enjeux menacés.

Pour évaluer le risque torrentiel post-incendie, il faut qualifier les aléas préexistants, les enjeux et les conséquences de la disparition du couvert végétal. Ensuite, la mesure la plus efficace et **nécessaire** pour protéger la population est l'**actualisation du Plan Communal de Sauvegarde (PCS)**. Il s'agit d'un plan d'organisation de la vigilance et des secours, sous l'autorité des communes, pour faire face aux risques naturels et technologiques afin de limiter le plus possible les dommages aux populations. Ce document est « vivant » et doit être évolutif et bien connu des élus et des services techniques.

En plus de l'actualisation du plan communal de sauvegarde, il peut également être urgent de nettoyer les abords des ouvrages hydrauliques (enlèvement de la végétation en amont des ponts et des busages, curage des fossés et des renvois d'eau sur les pistes).

Des études approfondies doivent ensuite être réalisées dans l'année qui suit l'incendie. Celles-ci doivent permettre de préciser la dynamique de reprise de la végétation afin d'adapter la stratégie de sauvegarde des enjeux et l'aménagement du bassin versant. Les nouvelles fonctionnalités de la forêt incendiée doivent ensuite être construites de façon collégiale. Veut-on privilégier les fonctions de paysage, de gestion du risque, de production de bois, de sauvegarde de la biodiversité ou encore d'accueil du public ? Enfin, une étude doit caractériser les secteurs les plus sensibles et les plus adaptés pour réaliser des ouvrages en génie végétal pour limiter l'érosion, ou en génie civil (pièges à sédiments, digues) pour retenir ou contenir le transport solide.



↑ Figure 9. Actions à mettre en place à la suite d'un incendie pour lutter contre la majoration des risques hydrauliques

En novembre 2023, le Département Risques naturels de l'ONF a organisé une rencontre technique avec ses homologues forestiers autrichiens, bulgares et catalans sur la commune de Cerbère (66). Les échanges ont permis de confronter les différentes approches sur l'appréciation de l'aggravation des risques, avec comme support d'étude l'incendie qui avait brûlé toute la forêt domaniale de Cerbère en avril 2023, et sur lequel le service RTM des Pyrénées-Orientales et l'agence DFCI avaient réalisé des diagnostics post-incendie, en particulier sur l'érosion et l'aggravation des risques naturels.

Les échanges ont mis en évidence que la résilience naturelle des milieux forestiers est souvent la meilleure réponse pour lutter efficacement contre l'aggravation de l'érosion. A moyen terme, il est préférable d'orienter les mesures structurantes vers une organisation de l'occupation des sols permettant de ralentir la progression des feux plutôt que de réinstaller un boisement identique à celui qui a été détruit.



↑ Figure 10. Rencontre technique sur la majoration des risques naturels après incendies

Les techniques pour limiter l'érosion des sols incendiés

Nous l'avons vu, pour ce qui est de la gestion des risques naturels, les études réalisées dans le cadre du diagnostic post-incendie peuvent dans certains cas préconiser la réalisation d'ouvrages en génie végétal pour limiter l'érosion si des enjeux sont menacés et que la reprise naturelle de la végétation est trop lente.

La mise en place de techniques pour limiter l'érosion peut également être nécessaire pour limiter la perte de sol d'une parcelle ou pour éviter une surcharge sédimentaire des milieux aquatiques en aval. Dans ces cas-là, les techniques doivent être mises en place rapidement, avant les périodes d'intenses précipitations. En effet, c'est lors des premières pluies après le feu que les transports solides sont les plus importants (départ des cendres et du sol désagrégé par le feu). La stratégie peut alors consister à retenir les sédiments sur les versants (c'est la plus courante en France), ou, encore mieux, à retenir les sols en place.

Retenir une partie des sédiments sur les versants

La mise en fascines des bois brûlés sur les versants consiste à disposer les bois brûlés parallèlement aux courbes de niveau en les adossant à des souches hautes. La disposition des bois et des branchages dans les fascines, de même que la disposition des fascines dans le versant, sont généralement étudiées pour retenir autant de sédiments que possible. C'est la mesure la plus utilisée en France car elle peut être mise en œuvre avec les matériaux présents sur place, en synergie avec le recépage et le gommage paysager qui consiste à abattre les arbres brûlés afin qu'ils soient moins visibles.



↑ **Figure 11.** Pluies intenses affectant un versant traité en fascinage

Mais la faisabilité du fascinage n'est pas toujours évidente. Les bois brûlés peuvent être trop gros et donc trop lourds à manipuler, ou en densité insuffisante pour un réel effet. Les pentes trop fortes rendent les travaux trop coûteux et plus dangereux. Les fascines peuvent être installées en haut des talwegs, mais pas trop en aval sans quoi elles risquent de créer des embâcles. Enfin, les travaux de fascinage auraient l'effet inverse à celui recherché s'ils étaient réalisés avec des moyens mécanisés lourds et impactant pour les sols. A noter que les fascines n'ont pas forcément un effet positif sur la reprise de la végétation ; si elles sont installées trop tardivement par exemple, les semis peuvent être étouffés par les branchages puis par l'amoncellement des sédiments en amont.

Les fascines doivent donc être réalisées selon les règles de l'art. Les écoulements ne doivent pas pouvoir ronger d'éventuelles zones de faiblesses sous ou entre les fascines. *A contrario*, dans les zones de moindre pente, un simple abattage parallèle aux courbes de niveau peut suffire.

Si les bois manquent, les fascines peuvent être réalisées uniquement en branchages, mais le contact parfait avec le sol est plus compliqué à obtenir, et les ouvrages sont moins résistants.

Enfin, des barrières peuvent être constituées de pieux derrière lesquels sont tressées des tiges végétales : on parle alors de clayonnage.

Si les conditions stationnelles ne sont pas trop arides et que la sédimentation attendue derrière ces dispositifs est importante (terrains marneux par exemple), des techniques de génie végétal de type bouturage peuvent être envisagées pour leur effet de peigne et d'ancrage. L'investissement peut alors être concentré dans les talwegs, mais toujours dans **les parties amont des bassins versants, où la surface drainée n'excède pas 1 ha**, pour éviter une détérioration par les crues torrentielles.

Il peut préexister localement des terrasses soutenues par des murets en pierres sèches. Selon leur état, ceux-ci peuvent contribuer de la même manière à retenir les matériaux sur place. Une restauration de ces murets est alors

envisageable. Des installations susceptibles de retenir les sédiments sur les versants peuvent être créées *ex nihilo*, mais il est rare que le risque justifie de tels travaux. La réalisation d'ouvrages lourds (digues, plages de dépôt) est une solution rarement envisagée compte tenu de son coût et des contraintes de mise en œuvre, sauf en cas de fort alluvionnement. En revanche, les ouvrages préexistants doivent être entretenus. Or, les diagnostics post-incendie montrent que ce n'est pas toujours le cas.

■ Maintenir les sols en place

Les types d'installations décrits ci-dessus ont pour but de retenir les sédiments sur les versants mais ne permettent pas de garder les sols en place. Une autre logique, plus courante dans d'autres pays, consiste à protéger le sol afin d'éviter l'érosion dès la source.

Tout d'abord, avant toute décision d'abattage d'arbres (quels qu'en soient les objectifs, fascines ou autres), il convient d'évaluer s'il n'est pas préférable de les maintenir en place afin que leur feuillage (s'il est encore présent, même roussi) protège le sol et s'il n'est pas préférable également de ne pas perturber le sol davantage en faisant circuler des engins. Si le choix est fait d'intervenir, surtout en cas d'exploitation mécanisée, un soin particulier doit être porté aux prescriptions de limitation des impacts sur le sol. Des cloisonnements doivent impérativement être mis en place. L'étalement des rémanents peut protéger le sol.

Ensuite, des techniques misant sur le couvert végétal, telles que le recépage ou encore la végétalisation artificielle peuvent être mises en place pour lutter contre l'érosion. La revégétalisation artificielle peut alors être réalisée par des espèces arbustives, parfois plus adaptées que les essences forestières au contexte local (bonne couverture à court terme, résistance à des conditions édaphiques extrêmes, résilience aux incendies...). Comme la reprise de la végétation est en général très faible avant les premières pluies, c'est sur le moyen, voire le long terme, que ces mesures ont un effet.



↑ **Figure 12.** Aiguilles roussies ayant chuté au sol, assurant un bon couvert temporaire



↑ **Figure 13.** Mise en place de mulch par hélicoptère (2015, Navia de Suarna, Lugo, Espagne) Photo issue de Girona, 2021

En mesure d'urgence, une technique courante à l'étranger est le mulching. Il s'agit d'épandre un matériau à la surface du sol pour le protéger. Le mulch évite la formation de croûtes de battance, améliore l'infiltration et limite l'érosion diffuse et le transfert de sédiments vers l'aval. En outre, il crée un microclimat moins aride qui favorise la germination et la reprise de la végétation.

La paille est le matériau le plus utilisé et son efficacité est reconnue. Aux Etats-Unis et dans certaines régions d'Espagne, l'épandage de paille par hélicoptère a supplanté les fascines car il est très rapide à mettre en place et relativement peu coûteux. Les seules restrictions sont liées à la tenue en place du mulch, difficile dans les secteurs les plus ventés et, dans une moindre mesure, les plus pentus.

D'autres matériaux ont été testés avec succès, comme des coproduits d'usine de pâte à papier, très riches en fibres longues qui s'adaptent au sol et forment un réseau efficace et biodégradable. La mise en place de mulch par projection hydraulique, plus onéreuse, moins efficace et nécessitant l'emploi de camions de grande capacité, est réservée à des opérations localisées de part et d'autre des routes.

L'épandage de broyat de végétation brûlée trouvée sur place peut également sembler une solution intéressante, mais elle se heurte au risque d'endommagement du sol en cas de broyage par des engins. Cependant, une méthode mobilisant une déchiqueteuse a été expérimentée au Portugal et donne des résultats intéressants.

Le garnissage par des branchages retenus par des fils de fer, ou par des bâtons reposant eux-mêmes sur des piquets, est également une technique très couvrante, mais trop onéreuse pour être généralisable. Il en va de même de la mise en place de filets-cocos.

En bord de route, la protection des talus peut être obtenue par la pose de filets ou épandage de graines en mélange dans une matrice argileuse.

Enfin, pour limiter le phénomène d'érosion, il peut être opportun de restreindre l'accès aux piétons ou au bétail.

Conclusion

Après l'incendie, les phénomènes érosifs sont généralement accrus. Leur prise en compte doit être systématique, ne serait-ce que pour évaluer l'opportunité et les modalités d'éventuels travaux post-incendie ainsi que pour évaluer l'aggravation des risques hydrauliques en présence d'enjeux en aval.

La plus grande partie de l'érosion se produit lors des premières fortes pluies après l'incendie (pendant la première année). Il est donc nécessaire de réagir rapidement et de manière appropriée. Après un diagnostic d'opportunité comprenant notamment une qualification de la majoration des risques hydrauliques (ruissellements, inondations, crues torrentielles), une intervention rapide et coordonnée peut alors être nécessaire. Débloquer rapidement des crédits de travaux est un atout majeur dans la course contre la montre. C'est possible, par exemple dans le cadre de la mission d'intérêt général DFCI confiée à l'ONF par les ministères chargé des risques naturels et de la protection des forêts contre l'incendie.

La France manque toutefois de recul sur les mesures de protection des sols. Certaines techniques éprouvées à l'étranger mériteraient pourtant d'être testées, comme outil supplémentaire contre le risque de crues torrentielles, mais aussi et surtout pour limiter les pertes de fertilité dans les régions où la production de bois est un objectif important.

Nous l'avons vu, après un incendie, les sujets de préoccupation sont nombreux. Afin d'optimiser l'appréhension du contexte post-incendie, l'ONF a réalisé un recueil d'évènements (en particulier les risques naturels) ayant eu lieu à la suite d'incendies ([Lien ici](#)), une synthèse d'expérience sur les travaux post-incendie en région Sud-PACA ([Lien ici](#)), et une synthèse des études post-incendie avec bilan des méthodologies d'expertise ([Lien ici](#)). Ces documents sont à disposition de l'ensemble de la communauté de travail. Un guide détaillé sur l'aléa torrentiel est en cours de finalisation. D'autres outils sont en projet, notamment la réalisation automatique post-incendie de cartes de pré-alerte par thématique (risques potentiels d'érosion, de crues torrentielles, de chutes de pierres, de chutes d'arbres, etc.).

Marion Toutchkov et Benoît Reymond
ONF – Agence DFCI

Etienne Ebrard et Stéphane Nouguier
ONF – Service RTM des Pyrénées-Orientales

