

Comment prouver le rôle de la forêt vis-à-vis de l'érosion hydrique sur un bassin versant ?

par Louis-Michel DUHEN

La forêt procure de nombreux services environnementaux, mais parfois de façon si discrète, qu'il est difficile de les évaluer ! Ainsi, le rôle du couvert forestier dans la lutte contre l'érosion, sur la qualité des eaux ou encore sur la gestion de la ressource en eau n'est plus à prouver, mais des éléments concrets doivent pouvoir être apportés. C'est ce que propose cette étude, réalisée sur le bassin versant de la Siagne. Le modèle construit conduit à des préconisations de gestions favorables à la lutte contre l'érosion et la turbidité qui pourront être généralisées voire intégrées, pourquoi pas, à un futur dispositif de Paiement des services environnementaux.

Prouver les interrelations « forêt et eau »

Plusieurs partenaires européens, dont les Centres régionaux de la propriété forestière (CRPF) de Provence-Alpes-Côte d'Azur et de Languedoc-Roussillon, ont décidé de travailler ensemble, sous « le regard des autres » dans le cadre du projet européen Sylva Med, « Mediterranean Forest for All » (2010-2013), (Cf. encadré page suivante).

Les partenaires du projet doivent conduire des opérations pilotes démontrant les services apportés par la forêt, pour ensuite susciter le débat afin d'obtenir des mesures de compensation et de soutien financier.

Le CRPF de Provence-Alpes Côte d'Azur, chargé plus particulièrement des relations forêt-eau, a rapidement fait le constat qu'il n'y avait pas de réelles demandes de la part des acteurs de l'eau, la forêt jouant parfaitement et (trop !) discrètement son rôle. Comment les engager alors sur la voie ouverte par la Déclaration de Varsovie « *Engagement des Etats membre de faciliter le développement et la mise en œuvre de mesures telles que le paiement pour les services environnementaux [...] afin de maintenir les fonctions protectrices des forêts* » affirmée en France par la Loi Grenelle et transcrite dans le Code forestier ?

Dans le contexte méditerranéen, il nous est apparu que, si la forêt offrait des services, ceux-ci pouvaient décliner ou même disparaître à la suite d'interventions inadéquates, de surexploitation ou de destruction

1 - Organisé à Marseille au Conseil régional, en novembre 2011, par le CRPF, en partenariat avec l'Institut de développement forestier (IDF)

2 - Syndicat interdépartemental intercommunal à vocation unique

3 - Capacité d'une pluie à éroder le sol

4 - Logiciel de SIG libre SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses)

par le feu, la sécheresse ou la maladie. Le recours à un modèle pouvant simuler ces diverses hypothèses s'est donc imposé.

Mais il fallait l'insérer à une problématique concrète. L'opportunité fut la rencontre, lors du colloque « Forêt et Eau potable »¹, de la chargée de mission du Schéma d'aménagement et de gestion de l'eau (SAGE) au SIIVU² de la Haute Siagne. En effet, et comme l'a dit Olivier Ferry, de l'Office national des forêts, dans le cadre d'un autre projet européen Life : « *Les forestiers doivent pouvoir apporter des éléments concrets pour peser dans les débats des commissions locales de l'eau (CLE) lors de l'établissement des SAGE* ».

Il a donc été convenu d'étudier la sensibilité à l'érosion des sols et le rôle joué par le couvert forestier sur le bassin versant de la Siagne, pour mettre en relief les impacts suivants :

– impact sur l'érosion (meilleure tenue des sols et réduction des effets des précipitations),

– impact sur la qualité des eaux (une forte érosion augmente la turbidité des eaux),

– impact pour une meilleure gestion de la ressource : en retenant localement l'eau, la forêt limite l'exportation rapide d'eau par ruissellement.

Deux élèves ingénieurs, Carine Poncelet (Montpellier SupAgro) et Marine Dalmasso (Bordeaux Sciences Agro) ont, au cours de leur stage, construit et appliqué le modèle, développé la méthode, rédigé un rapport avec l'appui de leurs professeurs et sous la conduite de Louis-Michel Duhén, ingénieur au CRPF.

Contexte et construction du modèle

Localisation

Le modèle est appliqué au bassin versant de la Siagne qui regroupe 30 communes pour une superficie d'environ 520 km² entre les départements du Var et des Alpes-Maritimes. 70% de cet espace sont occupés par la forêt, 10% par l'agriculture et 20% par des espaces urbains (classification Corine Land Cover), Cf. Fig. 1.

La zone est située à un carrefour climatique, entre les climats montagnard et méditerranéen, avec des altitudes allant de 0 à 1642 mètres. La pluviométrie moyenne est de 950 mm/an. Les sécheresses estivales sont fréquentes et les précipitations les plus fortes ont lieu principalement en novembre et en mars, mais ne sont pas uniformément réparties au sein du bassin versant.

Rappels sur le processus d'érosion hydrique

Pour qu'il y ait érosion, il faut d'abord un détachement des particules, puis leur transport. On distingue principalement (YACOUBA, 2004) :

– l'effet « splash » : l'impact de la goutte d'eau au sol provoque le départ autour du point d'impact de particules de sol. L'intensité de ce phénomène dépend du degré de protection du sol, de son érodibilité et de l'érosivité³ de la pluie ;

– le ruissellement : lors d'une pluie, une fraction de celle-ci pénètre dans le sol. Cette infiltration est fonction de la porosité, de la perméabilité et de la capacité de drainage du sol. Si la capacité d'infiltration du sol est insuffisante par rapport à la pluie, il y a d'abord la formation de flaques puis leur mise en mouvement : c'est le phénomène de ruissellement. Son intensité dépend de la rugosité du sol, de la pente, de la capacité du sol à infiltrer l'eau et de la quantité de pluie.

La forêt grâce au couvert arboré, mais aussi au sol forestier, joue donc un rôle déterminant (Cf. Fig. 2).

Sur le bassin versant considéré, l'arrachage et le transport de particules de sol ont plusieurs origines : une origine « naturelle » à cause des précipitations (pluies et neige) ou du vent et une origine anthropique (exploitation forestière, fréquentation des espaces

Les objectifs du projet

- Intégrer dans les politiques régionales les services environnementaux apportés par les forêts. Les écosystèmes forestiers méditerranéens fournissent des biens et services multiples et contribuent au développement socio-économique des zones rurales et au bien-être des populations urbaines, des avantages collectifs essentiels qui ne sont pas à ce jour reconnus.
- Proposer, en fin de programme, aux autorités publiques, des mesures compensatoires et/ou d'autres instruments normatifs au bénéfice des propriétaires forestiers, pour les services environnementaux collectifs que génère leur gestion. Il est prévu une publication en fin de programme sur les services environnementaux des forêts méditerranéennes qui sera présentée lors d'un colloque final en Ligurie.
- Fournir des arguments, aussi bien techniques que stratégiques, au discours défendant les forêts méditerranéennes en Europe.

forestiers par VTT, motocross, 4x4...). Cette dernière reste cantonnée à des secteurs où la fréquentation du public est importante et où des travaux de prévention incendie sont réalisés.

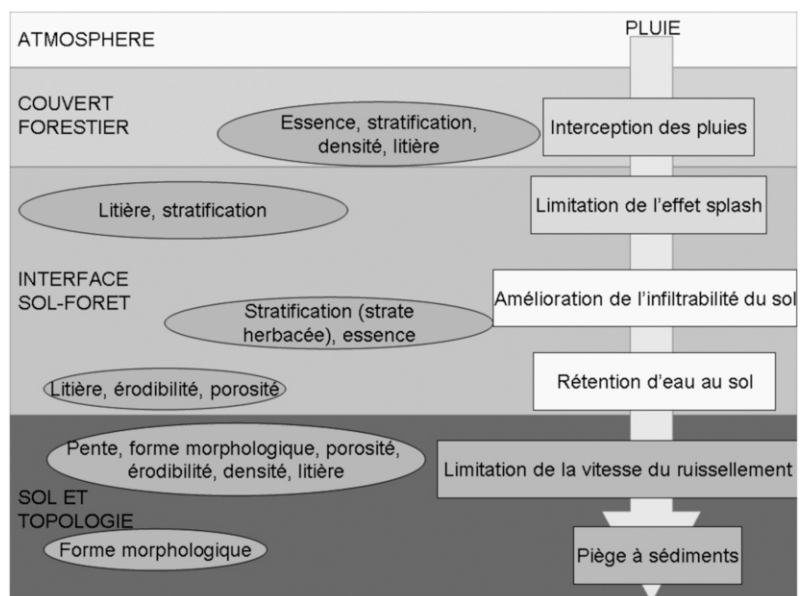
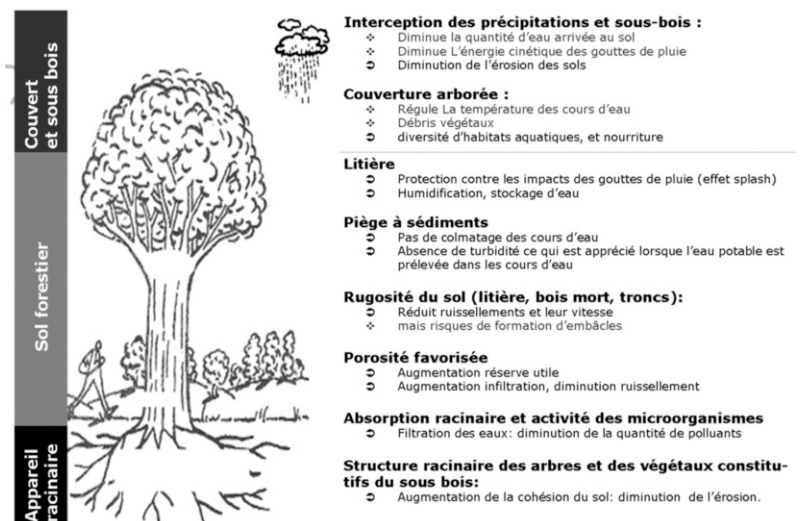
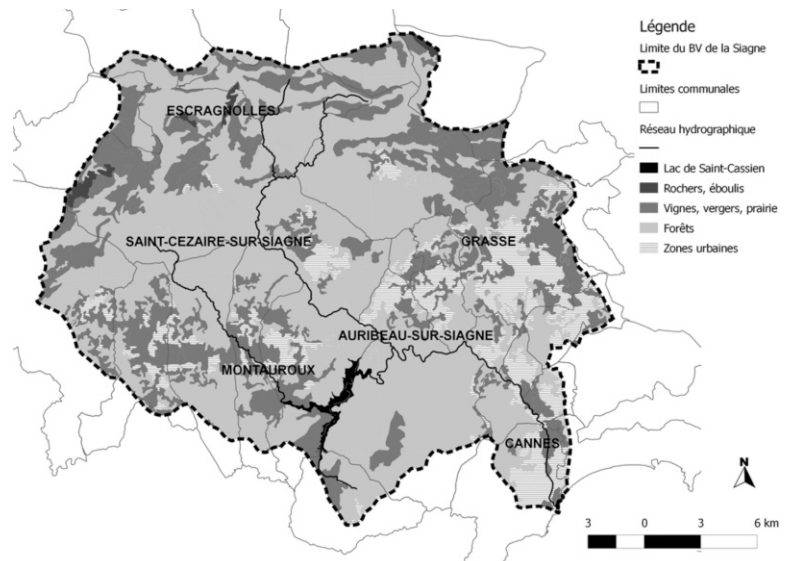
Choix des critères et justification

Pour passer de la connaissance des processus naturels à leur description à l'échelle du bassin versant, il faut modéliser l'érosion à partir des facteurs influant les phénomènes érosifs : le sol, l'occupation du sol, la topographie et le climat. L'objectif a donc été de choisir des critères discriminants reliés aux processus naturels, selon le schéma explicatif de la figure 3.

Le choix des critères s'est inspiré en partie d'un travail de forestiers slovènes (Špela PLANINŠEK, 2011), grâce au partenariat de Sylva Med.

Présentation de la méthode de modélisation

Les critères retenus pour modéliser l'érosion sont ensuite intégrés à un Système d'information géographique (SIG) sous forme de couches d'informations raster (résolution 25x25m). Ils sont ensuite combinés, toujours sous SIG⁴, pour caractériser et spatialiser la sensibilité du sol à l'érosion hydrique et la capacité de protection du couvert forestier. Le principe général du modèle est de confronter ensuite ces deux informations pour en déduire la sensibilité globale du milieu (le sol et le couvert forestier associé) à l'érosion hydrique et aux risques de turbidité (Cf. Fig. 4).



De haut en bas :

Fig. 1 :
Occupation des sols
de la zone d'étude Corine Land Cover
Échelle 1/90000°

Fig. 2 :
Rôles hydrologiques joués par la forêt sur le plan
de l'érosion et la turbidité (Marine Dalmasso)

Fig. 3 :
Cohérence entre les processus naturels de l'érosion
et les critères retenus pour leur évaluation.
Les ellipses représentent les critères choisis.
Les rectangles représentent la manière dont la forêt
et le sol interviennent sur l'érosion hydrique.

Figures Carine Poncelet



Photo 1 :

La turbidité peut être réduite grâce à la présence de la forêt qui piège les sédiments.

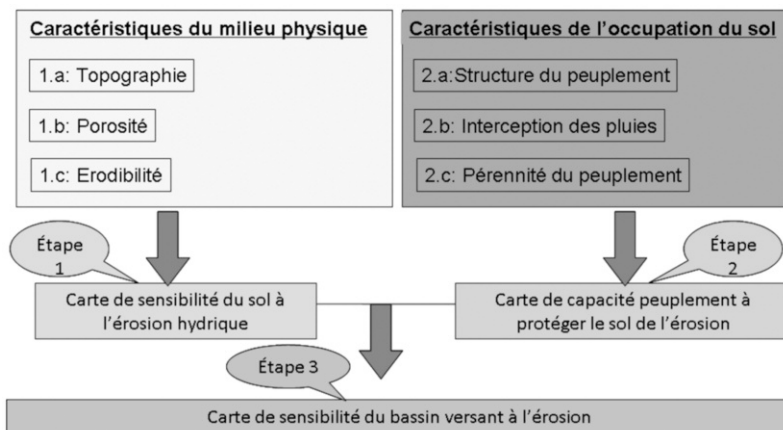


Fig. 4 :

Méthode générale utilisée pour caractériser les relations forêts - érosion des sols

Les critères de sensibilité du sol

La topographie

Le paramètre de topographie est évalué à partir de deux critères : la pente et la morphologie, calculés à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) de l'IGN (Institut géographique national) de résolution 25 mètres.

Le critère de pente est utilisé pour mettre en évidence la capacité d'un ruissellement à détacher et transporter des particules de sol : plus la pente est importante, plus le ruissellement érodera le sol.

Le critère de forme morphologique est utilisé pour décrire l'impact de la position du pixel au sein du bassin versant. En effet, sur les zones plus hautes que leurs voisines (formes convexes), l'effet sur les particules de sol est plutôt l'arrachement. A l'inverse dans les zones plus basses que leurs voisines (zones concaves), l'effet est plutôt un dépôt de particules.

La combinaison de ces deux critères semble donc pertinente pour décrire la topographie à l'échelle du pixel.

La méthode de classement est illustrée pour la topographie dans l'encadré page suivante.

Porosité

La porosité décrit la capacité d'un sol à infiltrer et conserver l'eau issue des précipitations. Ainsi, à précipitation constante, un sol très poreux retarde la formation de flaques et donc le départ de l'eau en ruissellement⁵.

Erodibilité

L'érodibilité⁶ des sols est un indicateur de la facilité avec laquelle les particules de sol se détachent. Il dépend de la structure du sol, de sa granulométrie, de sa quantité de matière organique, de sa perméabilité.

Pour les scores concernés	Sensibilité à l'érosion	Indice SIG
111 ; 112 ; 113 ; 121 ; 122 ; 123 ; 211	Sensibilité faible	10
212 ; 213 ; 131 ; 132 ; 133 ; 311 ; 223 ; 231 ; 312 ; 321 ; 221 222	Sensibilité moyenne	20
223 ; 232 ; 233 ; 313 ; 322 ; 323 ; 331 ; 332 ; 333	Sensibilité forte	30

Tab. 1 :

Classement du milieu physique en fonction de la sensibilité à l'érosion des pixels. Les nuances de gris correspondent à celles utilisées pour les cartes

5 - La porosité est extraite des couches de pédopayages de Provence-Alpes-Cote d'Azur (INRA, SCP) et de la base de données DONESOL

6 - Il faut distinguer l'érodibilité de l'érodabilité du terrain qui caractérise la résistance du milieu et qui dépend de l'érodibilité du sol, du couvert végétal, des techniques culturales et de la pente et éventuellement des aménagements existants.

Pour la quantifier, la clé de détermination du modèle MESALES, créée pour mesurer la sensibilité à l'érosion des sols agricoles, a été appliquée. Elle discrimine selon la teneur en éléments grossiers, la texture, la quantité de matière organique.

Combinaison des trois paramètres exprimant la sensibilité des sols précédents

Dans le cadre du SIG, nous utilisons la fonction somme pour combiner les trois paramètres. Par exemple un pixel de topographie « fortement sensible », de porosité « moyenne » et d'érodibilité « faible » a pour score 321. Vingt sept combinaisons des trois paramètres d'entrée sont ainsi envisagées. Pour faciliter la lecture de la carte, nous regroupons ces 27 combinaisons en 3 classes de sensibilité du milieu physique à l'érosion selon le tableau I.

Paramètres exprimant la capacité de protection du couvert forestier

Interception des précipitations

Ce paramètre est apparu le plus discriminant car il permet de mettre en évidence la réduction de la quantité de pluie arrivant au sol et l'atténuation de son intensité (effet « splash »), ce qui réduit « l'attaque du sol ».

Ce paramètre décrit la quantité de feuillage présent au-dessus du sol. Son estimation se fait par combinaison de deux critères : la densité des peuplements et l'essence majoritaire du peuplement.

La densité des peuplements caractérise la quantité d'arbres présents au sein du peuplement par unité de sol. Toutes choses égales par ailleurs, plus il est dense, et plus les précipitations sont interceptées ou ralenties. En fonction des données de l'Inventaire forestier national, il a été créé trois classes : forêt fermée, forêt ouverte, garrigues ou maquis boisé.

De la même manière, à densité constante, ce qui va discriminer les peuplements du point de vue de l'interception des pluies est la quantité de feuillage portée par une essence ou une combinaison d'essences composant le peuplement. Ainsi, les peuplements ont été séparés en trois classes : mélange de conifères et feuillus (hêtres, cèdres), conifères, feuillus.

Méthode de classification : exemple pour la topographie

Sous SIG, chaque critère est codé sous la forme d'un score qui décrit une classe. Pour combiner deux critères entre eux, on ajoute au sens mathématique les couches raster correspondantes puis on regroupe le résultat en classe (reclassification). L'ensemble des pixels 25x25, ainsi classifiés et affectés d'une couleur, fournit des cartes informatives selon diverses sélections.

Calcul de la pente

La pente est calculée automatiquement sous SAGA à partir du Modèle numérique de terrain (MNT) : on obtient la valeur de la pente en pourcentage pour chaque pixel.

L'étape de reclassification1 correspond au regroupement des valeurs de pente obtenues en trois classes (décrites par un indice, ou score) basées sur le modèle MESALES (Modèle d'Evaluation Spatiale de l'ALéa Erosion de Sols) (CERDAN O., 2006), étudié par grande classe d'occupation des sols dont une classe forêt, non différenciée en peuplements.

Classes de pente (en %)	Indice décrivant la classe sous SIG (=valeur numérique du pixel)	Indice décrivant la classe selon sa sensibilité à l'érosion
[0 ; 15]	10	Faible
[15 ; 30]	20	Moyen
>30	30	Fort

Tab. 1 : Classification du critère pente

Déduction de la forme morphologique

En parallèle, on calcule sous SAGA — toujours à partir du MNT — l'Indice de position topographique (TPI). Le TPI compare l'altitude de chaque pixel à l'altitude moyenne des pixels voisins. Ainsi, des valeurs de TPI positives indiquent des points hauts, des valeurs négatives des points bas et des valeurs nulles des espaces plats ou de pente constante. Dans un second temps, les valeurs de TPI sont standardisées et regroupées par le logiciel pour identifier 10 formes morphologiques listées dans le tableau 2 ci-dessous. De même, ces formes morphologiques sont regroupées en trois classes (reclassification 2) :

Classes de forme morphologique	Indice décrivant la classe sous SIG	Indice de sensibilité à l'érosion
Vallées en U, plaines	1	Faible
Versants, collines et points hauts locaux, petites collines	2	Moyen
Fond de canyon, cours d'eau amont, cours d'eau intermédiaire, Hautes crêtes, plateaux et haut de pente	3	Fort

Tab. 2 : Classification du critère forme morphologique

Combinaison des deux critères

La troisième étape de l'obtention du paramètre de topographie est la combinaison des deux critères précédents. En termes de traitement SIG, cela se traduit par la somme des deux couches raster des critères « pente » et « forme morphologique ». Par exemple, un pixel de pente faible et de forme morphologique moyenne (versant) se verra attribuer un score de 12. Comme le montre le tableau 3, les pixels sont regroupés selon leur score (reclassification 3).

Classes de topographie	Indice SIG (=valeur numérique du pixel)	Indice de sensibilité à l'érosion
11	100	Faible
12, 13, 21, 22, 31	200	Moyen
23, 32, 33	300	Fort

Tab. 3 : Obtention du paramètre de topographie

5 - Le détail complet des classifications des autres critères figure dans le rapport complet téléchargeable sur <http://www.ofme.org/crpf/documentation.php?NoIDT=14>

Scores concernés	Indice décrivant la classe selon la capacité du peuplement à protéger le sol de l'érosion	Indice décrivant la classe sous SIG (=valeur numérique du pixel)
111; 112; 113; 121; 122; 131; 211; 212; 221	Capacité faible	1
123; 132; 133; 213; 222; 231; 311; 312; 321	Capacité moyenne	2
223; 232; 233; 313; 322; 323; 331; 332; 333	Capacité forte	3

Tab. II :

Obtention de la carte de capacité des peuplements forestiers à protéger le sol de l'érosion hydrique.

Structure

La structure du peuplement correspond à son degré d'organisation ; plus la structure est développée, meilleure est l'emprise du peuplement sur le sol. Ce paramètre se base sur deux critères : le degré de stratification et la quantité de litière.

Le nombre de strates présentes au sein d'un peuplement permet de bien mettre en évidence le niveau de protection du sol. En effet, la présence des trois strates (herbacée, arbustive et arborée) constitue un véritable emboîtement, à la fois des couverts (meilleure interception des pluies) et des surfaces racinaires (meilleur maintien du sol). Ce critère est relevé sur le terrain, puis divisé en trois classes, selon le nombre de strates présentes au sein de chaque peuplement : arboré, arbustif et herbacé, arboré et arbustif, arboré et herbacé.

La litière joue plusieurs rôles. Tout d'abord, une litière épaisse permet de protéger le sol des gouttes de pluie incidentes et, de ce fait, limite l'érosion par effet splash. L'épaisseur de la litière dépend des essences présentes et du taux de minéralisation.

La litière a aussi un effet indirect sur l'érodibilité, car sa présence se traduit par un sol plus riche en matière organique et donc moins érodible. La quantité de litière pour chaque peuplement est relevée sur le terrain et divisée en trois classes en fonction de l'épaisseur : présence importante >1cm ; présence faible <1cm ; absence.

Tab. III :

Obtention de la carte de sensibilité globale du bassin versant à l'érosion des sols

Capacité du peuplement forestier à protéger le sol de l'érosion	Sensibilité du sol		
	faible	moyenne	forte
faible	Moyenne	Forte	Très Forte
moyenne	Faible	Moyenne	Forte
forte	Très Faible	Faible	Moyenne

Pérennité

Ce paramètre permet de mettre en évidence la capacité du peuplement à survivre dans le temps. Ce paramètre d'entrée du modèle permet de tempérer les paramètres précédents en indiquant si le peuplement est susceptible de conserver ses caractéristiques ou si celles-ci peuvent changer à plus ou moins court terme. Les critères étudiés sont les suivants : nombre de troncs tombés et état sanitaire.

La stabilité du peuplement peut être estimée par la quantité de troncs tombés visibles sur une parcelle (R. SCHWITTER, 2009). L'instabilité potentielle présente est néfaste vis-à-vis de l'érosion, puisque la chute d'un arbre provoque non seulement une perturbation du sol au niveau de son ancien système racinaire, mais peut aussi provoquer la chute de ses voisins. Ce critère est évalué sur le terrain et est divisé en trois classes, selon le nombre de troncs tombés (absence, entre 0 et 5, plus de 5).

De la même manière, un peuplement malade est plus vulnérable et assure moins bien sa fonction de protection et de maintien du sol. Ce critère a aussi été relevé sur le terrain et divisé en trois classes en fonction du pourcentage d'arbres malades (absence ; moins de 10% d'arbres malades ; plus de 10%).

Combinaisons des trois paramètres exprimant la capacité des peuplements à protéger le sol de l'érosion

De la même manière que pour le raster de la sensibilité du sol à l'érosion, les valeurs des pixels des trois paramètres sont sommées pour donner le raster de la capacité des peuplements à protéger le sol de l'érosion. Les valeurs obtenues sont réparties en trois classes (Cf. Tab. II).

Croisement cartographique pour obtenir la sensibilité globale du bassin versant à l'érosion

L'obtention de la carte de sensibilité globale du bassin versant à l'érosion se fait en confrontant la carte de sensibilité des sols à l'érosion à la carte de capacité des peuplements à protéger le sol de l'érosion. Le croisement de ces deux cartes est détaillé dans le tableau III selon 5 classes.

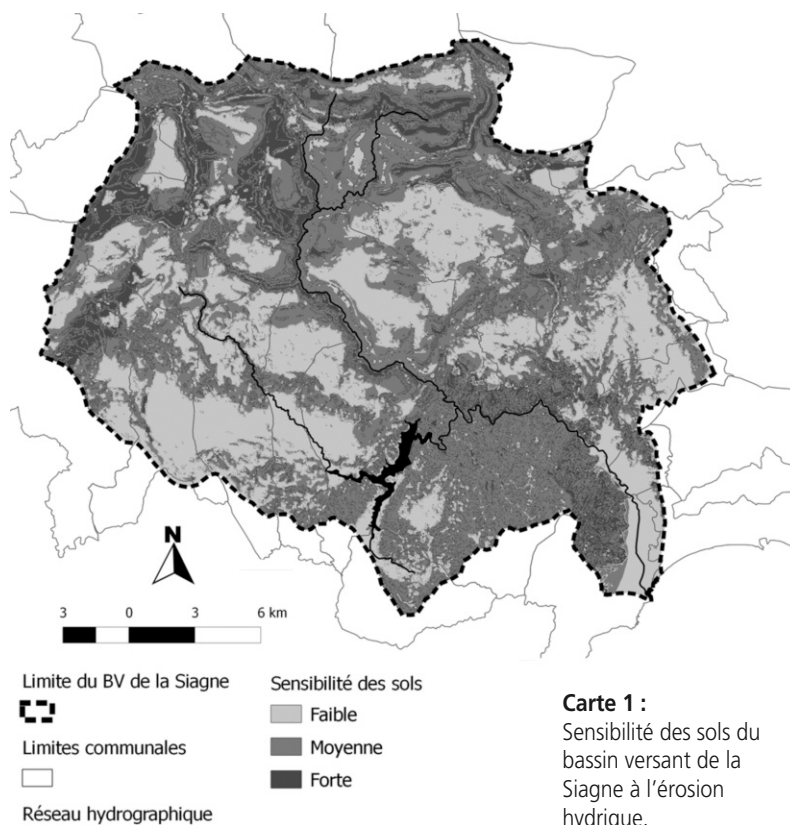
Un modèle qui livre des cartes et une clé de détermination

Carte de sensibilité des sols à l'érosion

En ne retenant que les paramètres physiques, il est possible d'éditer une carte de sensibilité des sols du bassin versant de la Siagne, à une précision de 25x25 mètres.

D'après la carte 1, il apparaît que 18% de la surface du bassin versant présentent une sensibilité forte, 47% une sensibilité moyenne et 35% une sensibilité faible.

Les sols situés au nord, dans des zones plus montagneuses, et dans les gorges de la Siagne, apparaissent comme fortement sensibles à l'érosion. La sensibilité du massif du Tanneron ressort également à cause de la topographie et l'érodibilité liée aux sols sableux peu épais, issus du gneiss du Tanneron et à la sensibilité du gneiss, lorsqu'il affleure.

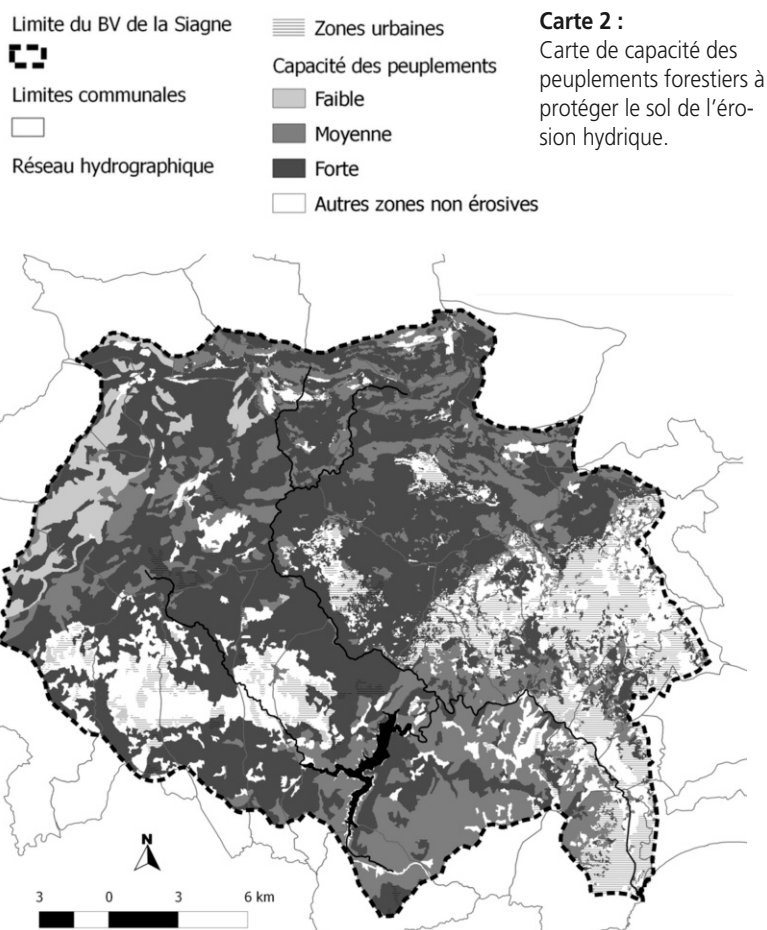


Carte de capacité des peuplements forestiers à protéger le sol de l'érosion

Le modèle montre que la capacité des peuplements forestiers du bassin versant de la Siagne à protéger le sol de l'érosion est majoritairement forte et moyenne.

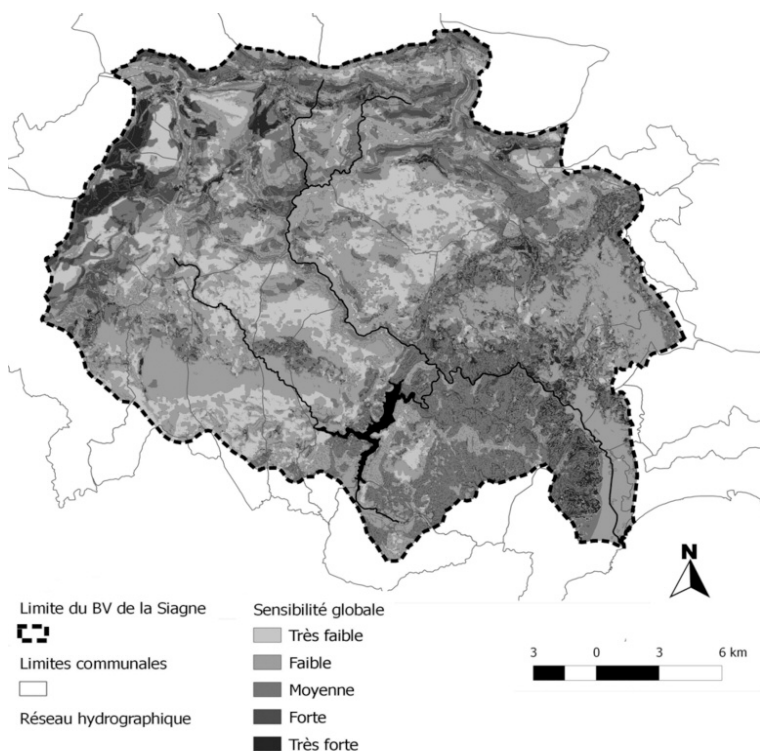
D'après la carte 2, il apparaît que 49% de la surface du bassin versant présente une capacité forte, 23% une capacité moyenne, 4% présente une capacité très faible.

Les zones de capacité faible sont majoritairement des zones de landes ou de peuplements lâches de feuillus. L'interprétation est délicate : soit on conclut que c'est l'absence de peuplements forestiers bien établis qui explique la faible capacité, soit on considère que le modèle conçu pour des peuplements forestiers pleins, s'applique mal à ces zones peu forestières.



Cartes de sensibilité globale à l'érosion hydrique

En croisant les deux cartes précédentes, on obtient la carte de sensibilité globale (elle tient compte de la couverture forestière) actuelle du bassin versant de la Siagne à l'érosion en cinq niveaux.



Carte 3 :
Sensibilité globale
du bassin versant
à l'érosion hydrique.

D'après la carte 3, la répartition par sensibilité à l'érosion hydrique est la suivante :

sensibilité très faible	70 km ²	(13%)
sensibilité faible	205 km ²	(40%)
sensibilité moyenne	170 km ²	(33%)
sensibilité forte	45 km ²	(10%)
sensibilité très forte	22 km ²	(4%)

Si on compare ces résultats avec les résultats de la carte de la sensibilité du sol à l'érosion, il apparaît que grâce à la présence des peuplements forestiers :

– la classe de sensibilité forte diminue de 33 km² ;

– la classe de sensibilité moyenne diminue de 70 km² ;

– la classe de sensibilité faible augmente de 95 km².

Tout confondu, 137 km², soit 26% de la surface totale du bassin versant, ont vu leur sensibilité diminuer. La présence d'un peuplement forestier, quelles que soient ses caractéristiques, a donc globalement un impact positif sur la sensibilité du bassin versant à l'érosion.

Simulations effectuées grâce au modèle

Une fois les données rentrées dans le modèle, il est possible d'effectuer diverses simulations.

Influence du couvert forestier sur la sensibilité des sols

De la carte de la sensibilité globale à l'érosion, il est procédé à une soustraction des critères physiques. La carte met ainsi en évidence les secteurs où la forêt a une influence positive (gris clair), neutre (gris moyen) ou négative (gris foncé).

On retrouve un impact positif au niveau des zones où la pente des terrains est importante. C'est un point positif en ce qui concerne la fiabilité des résultats du modèle car on retrouve les mêmes conclusions que celles qui ont conduit aux mesures de reboisement des terrains de montagne (Cf. Carte 4).

Conséquences de modification de l'état boisé sur la sensibilité à l'érosion

Le modèle peut être utilisé pour prendre en compte d'éventuels changements affectant les peuplements forestiers et en déduire les conséquences sur la sensibilité à l'érosion. Il suffit de faire varier certains paramètres que l'on veut tester.

Ainsi, en soustrayant des peuplements forestiers par simulation, on peut montrer

Photo 2 :

En région Provence-Alpes-Côte d'Azur, la forêt fournit si discrètement les biens et les services, notamment pour le cycle de l'eau, qu'on évoque à peine sa présence lors des démarches comme les SAGE. Son rôle est vraiment démontré lorsque la couverture forestière a disparu, par exemple comme à la suite d'un incendie, ici à Esparron-de-Verdon (04).



que des zones actuellement faiblement sensibles ou moyennement sensibles deviennent moyennement ou fortement sensibles.

Création d'une clé de détermination de la sensibilité globale d'un peuplement forestier à l'érosion

La méthode précédemment expliquée a été développée dans un but de modélisation. Lors de visites de terrain, il peut être intéressant d'estimer directement la sensibilité de la parcelle à l'érosion. Sur une zone donnée et en présence d'un peuplement donné, un propriétaire forestier, un gestionnaire, un élu ou un agent technique d'une collectivité peut déterminer la sensibilité à l'érosion, grâce aux arbres de décision qui reprennent les divers paramètres et qui sont mesurables sur le terrain.

Un modèle utile à une gestion plus intégrée des territoires

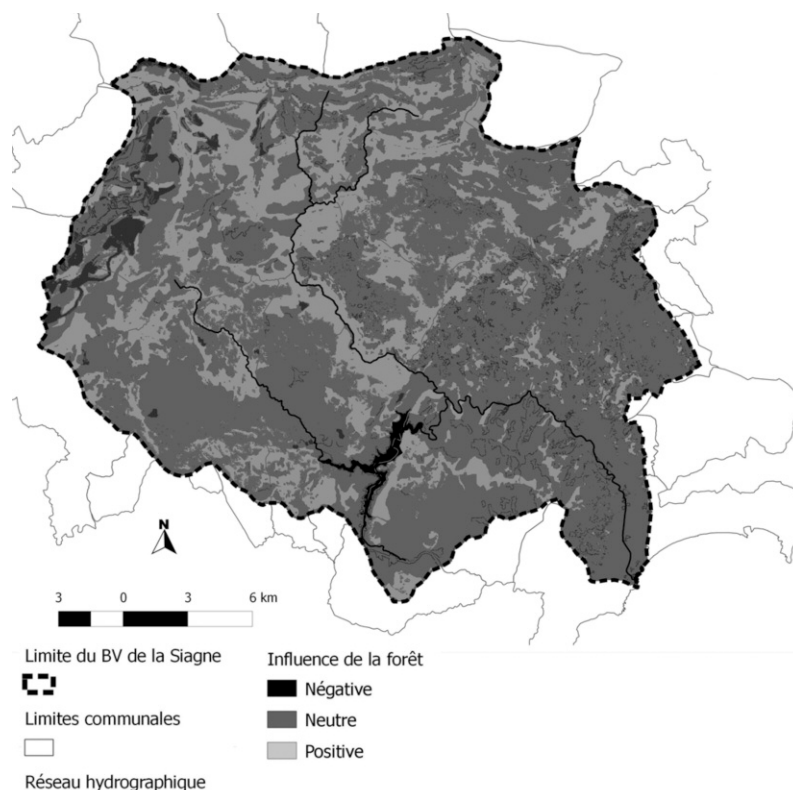
Un modèle utile pour démontrer le rôle de la forêt

L'objectif du modèle, à savoir « caractériser le rôle joué par les forêts sur la réduction de la sensibilité des sols à l'érosion », est atteint. Du fait de la présence de la forêt, les surfaces de sensibilité forte ont été réduites de 26%. Le modèle fournit des informations spatialisées grâce à une cartographie relativement fine (précision 25x25 m, pour un bassin versant de 520 km²) de la sensibilité globale du bassin versant de la Siagne à l'érosion. Des simulations peuvent être réalisées en faisant par exemple disparaître la forêt sur tel ou tel secteur. Enfin, un outil de terrain permet de caractériser une parcelle donnée grâce à un arbre de décision simple.

Un modèle fiable et à coût modéré

Ce résultat est obtenu avec une relative fiabilité dans un laps de temps et avec des moyens qui autorisent son utilisation sur d'autres sites.

A l'avenir, l'application de la méthode proposée pour modéliser la sensibilité d'un autre bassin versant à l'érosion devrait prendre de 3 à 4 semaines de travail en



fonction de sa superficie, de la précision nécessaire à l'échantillonnage des peuplements forestiers et de la disponibilité des données pour l'étude. Ainsi, la reproductibilité de la méthode est possible.

Carte 4 :
Influence de la forêt sur la sensibilité des sols à l'échelle du bassin versant.

Une phase de consolidation à prévoir

Cependant, pour valider définitivement le modèle, certaines démarches qui n'ont pu être réalisées pendant le stage, vont être engagées. La validation et l'analyse de sensibilité du modèle permettront de s'assurer de sa fiabilité et de sa généralisation à d'autres zones. En particulier, l'acquisition des paramètres forestiers et les valeurs seuils doivent être étudiées de plus près.

Une méthode d'aide à la décision utile pour une étude de SAGE

Les résultats de cette étude offre plusieurs perspectives, en particulier dans le cadre du SAGE de la Siagne et de Sylva Med.

La méthode peut être appliquée à diverses échelles. A grande échelle, elle établit un état des lieux global. Appliquée à une unité de gestion pertinente (sous-bassin), elle peut être utilisée plus finement pour hiérarchiser des zones.



Photo 3 :
La Siagne prend sa source au pied de ce cirque. La résurgence fournit une eau retenue, filtrée d'abord par les peuplements forestiers des versants et plateaux des Préalpes de Grasse, puis par son parcours souterrain en milieu karstique.

On peut en attendre des applications concrètes.

Elle peut alerter les pouvoirs publics et leurs représentants techniques sur la vulnérabilité à l'érosion de certaines zones du bassin versant.

Elle permet de situer très clairement sur les cartes, l'accroissement éventuel de cette vulnérabilité à l'érosion en simulant la disparition ou la dégradation du couvert forestier à la suite d'évènements probables : aléas climatiques (sécheresse), incendies ou mauvaise gestion.

Elle permet de raisonner la sensibilité des sols à l'échelle de l'unité de gestion appropriée.

Élaborer des préconisations de gestion forestière pour réduire la sensibilité des sols à l'érosion

Face aux résultats de ce modèle, on peut mettre en évidence plusieurs types de secteurs où il serait souhaitable de conduire des interventions forestières adaptées à la prévention de l'érosion et donc de prévenir l'augmentation de la turbidité des eaux. Les préconisations concernent à la fois le type d'intervention et les précautions à prendre lors de la phase de réalisation.

Les pouvoirs publics seront alors en mesure d'apprécier l'enjeu du point de vue de la protection des sols contre l'érosion et de la ressource en eau potable pour décider l'inscription éventuelle dans le SAGE de mesures garantissant la fourniture de ce service de la forêt.

Louis-Michel DUHEN
CRPF PACA
Impasse Ricard Digne
13004 Marseille
Tél. : 04 95 04 59 04
Mél : paca@crpf.fr
www.ofme.org/crpf

Une étape vers une démarche de paiement de services écosystémiques

Les préconisations de gestions favorables à la lutte contre l'érosion et la turbidité pourront être intégrées à un futur dispositif de Paiement des services environnementaux (PSE). Pour cela, il faudra évaluer les avantages obtenus par cette gestion spécifique. Les propriétaires forestiers et leurs gestionnaires disposeraient alors des moyens financiers pour pouvoir appliquer les pratiques décrites ci-avant.

La modélisation permet aussi la superposition géographique d'autres enjeux (prévention contre les incendies, paysage...) pour une gestion plus intégrée et éventuellement une répartition entre bénéficiaires des coûts pour l'ensemble des services fournis.

Plus-value des partenariats

L'élaboration de cette méthode a été l'occasion de montrer la fécondité des projets européens et l'importance de créer des liens entre les instituts de recherche et d'enseignement et les organismes de développement comme le CRPF, pour mettre au point de nouveaux outils. On peut souligner la disponibilité en France de précieuses bases de données.

Ce travail démontre l'évidence qu'une meilleure communication entre les différents acteurs des territoires est nécessaire pour tendre vers une gestion plus intégrée et mieux adaptée.

L.-M.D.

Bibliographie

- Aussenac G. - Action du couvert forestier sur la distribution au sol des précipitations - *Annals of forest science*. - 1970. - 27. - pp. 383-399.
- Cerdan O., Le Bissonnais Y., Souchère V., King C., Surdyk N., Dubus I., Arrouays D., Desprats J.F. - Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols - Rapport n°3: Synthèse et recommandations générales : BRGM-RP-55104-FR. - 2006. - p. 85.
- Colmar A., Walter C., Le Bissonnais Y. et Daroussin J. - Démarche de validation régionale par avis d'experts du modèle MESALES d'estimation de l'aléa érosif - *Etude et gestion des sols*. - 2010 - 1 : Vol. 17.
- Desprats J.F., Bourignon A., Cerdan O., Le Bissonnais Y., Colmar A. - Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols - Rapport n°1: Etude de sensibilité sur le

département de l'Hérault - 2006. - p. 67. - BRGM-RP-55049.

EFIMED - *L'eau pour les Forêts et les Homes en méditerranée, un équilibre à trouver* Collection EFIMED « Ce que la science peut nous dire » - Rédacteurs: Yves Birot, Carlos Gracia, Marc Palahi - Anglais, Français, Espagnol. http://www.efimed.efi.int/portal/events/mfw2011/tu5/2._water_and_forests/

Ferry O. 2004 - Projet Life eau et forêt, État actuel des politiques publiques concourant à la prise en compte des forêts dans la mise en œuvre de la Directive cadre sur l'eau.

Gracia C., Sabaté S., Vayreda J., Ibaniez J. - Above ground Biomass Expansion Factors and Biomass Equations of forests in Catalogna. - 2002. - COST E21, BEF meeting in Besalu.

King D., Le Bissonnais Y., Hardy R., Eimberck M., Maucorps J., King C. - Spatialisation régionale de l'évaluation des risques de ruissellement. - *Revue des Sciences de l'information Géographique et de l'Analyse Spatiale*. - 1992. - Vol. 2. - pp. 229-246.

Ladier J., Rey F., Dreyfus Ph. - *Guide des sylvicultures de Montagne Alpes du Sud françaises* - ONF, IRSTEA, INRA, CRPF - p 300 Janvier 2012.

Langly J-P - La gestion forestière durable: leçons de l'histoire et développements récents - Food and Agriculture Organisation, 1995. - 2012. - <http://www.fao.org/docrep/v6585f/v6585f00.htm>. - Série Unasylva, version 182.

Planinsek Š, Ferreira A., Japelj A. - A model for evaluation of the hydrological role of a forest - Preliminary communication / Slovenian Forestry Institute. - Ljubljana : [s.n.], 2011. - p. 12.

Pôle-Azur-Provence *Les restanques - Guide de bonnes pratiques pour la préservation des paysages de restanques* [Guide pratique]. - 2010.

Schwitter R., Bucher H. - La forêt protège-t-elle contre les crues ou les arbres causent-ils eux-même des inondations - *La forêt*. - 2009. - 62. - pp. 21-25.

Syndicat Interdépartemental et Intercommunal à Vocation Unique (SIIUV) de la Haute Siagne. Vers un Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux sur le bassin versant de la Siagne, Dossier préliminaire : présentation du contexte général, proposition de périmètre - janvier 2011 p. 101 <http://www.gorgesdesiagne.fr/?q=node/436>

Le Bissonnais Y., Dubreuil N., Daroussin J., Gorce M. - Modélisation et cartographie de l'aléa d'érosion des sols à l'échelle régionale - exemple du département de l'Aisne - *Etude et gestion des sols*. - 2004. - 3 : Vol. 11. - pp. 307-321.

Sylva Med - State of Art Forest and Water : CRPF Paca/Ninon Sicard - (AgroParisTech) - 2011. - p. 33 format pdf. Téléchargeable sur le site Sylva Med - <http://www.sylvamed.eu/docs/AIGUA.pdf>

Ulrich E., Lelong N., Lanier M., Schneider A. - Interception des pluies en forêt : facteurs déterminants. Interprétation des mesures réalisées dans le sous-réseau CATAENAT de RENECOFOR - *ONF Bulletin technique*. - 1995. - 30.

Wischmeier W.H., Smith D.D. - Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning - *Agriculture Handbook*. - 1978. - 537. - p. 58. - U.S. Department of Agriculture.



Yacouba Hamma - Processus de l'érosion hydrique - CES pour les ingénieurs de l'équipement rural et de l'agronomie. - décembre 2004. - Juin 2012. - <http://www.bf.refer.org/toure/pageweb/erohyd-dry.htm>

Zianis D., Muukkonen P., Mäkipää R., Mennuccini M. - Biomass and Stem Volume Equation for Tree Species in Europe - *Silva Fennica*. - 2005. - p. 63.

Photo 4 :

Une surexploitation de bois à proximité de la source, avant son captage par le canal, peut se traduire par de la turbidité qui favorise le développement des bactéries.

Photo 5 :

L'eau de la Siagne est prélevée tout près de sa source pour un usage en eau potable, en hydroélectricité et comme source de loisirs (Lac de St-Cassien). Un débit est réservé pour le lit naturel de la rivière, mais la pression est forte. La forêt qui retarde les ruissellements joue un rôle essentiel, même si elle est, elle aussi, une consommatrice d'eau.



Résumé

Cet article propose une méthode d'évaluation de la sensibilité d'un bassin versant forestier à l'érosion hydrique, testée sur le bassin versant de la Siagne. Celui-ci se situe dans le sud-est de la France, à cheval entre les départements des Alpes Maritimes et du Var. L'analyse de la sensibilité repose sur la cartographie de caractéristiques liées au sol et au milieu physique (topographie, porosité, érodibilité) d'une part et liées aux forêts (interception des pluies, structure et pérennité du peuplement) d'autre part. Les résultats obtenus se présentent sous la forme de trois cartes : une carte caractérisant le sol, une autre la forêt et la dernière la sensibilité globale du bassin versant à l'érosion, obtenue en croisant les deux premières. Plusieurs conclusions sont tirées de ces résultats : en particulier, le rôle de protection joué par les forêts est prouvé, les zones où le sol est particulièrement sensible sont localisées et un outil de diagnostic direct sur le terrain est créé. L'interprétation des résultats permet de proposer des préconisations de gestion forestière favorables au maintien des paysages, à la qualité des eaux, des sols et des peuplements forestiers.

Mots-clés : SIG, érosion, forêt, eau, sol, gestion intégrée, Sylva Med, services écosystémiques

Summary

Proof for the role of forests in preventing erosion in a watershed

The aim of this article is to put forward a method for evaluating the vulnerability of a watershed to erosion. The method was first developed in, then applied to the Siagne watershed which is located in the South-east of France where it straddles the Alpes Maritimes and the Var (two French "départements"). Vulnerability was mapped using the criteria of terrain and soil (topography, porosity, erodibility) on the one hand and the forest's features (rainfall interception, structure and durability) on the other. Three maps were obtained: one representing the vulnerability of soils to erosion, a second representing the capacity of the forest to protect the soil from erosion, and, finally, a third, deriving from the other two, representing the vulnerability of the whole watershed to erosion. Key findings were: proof that the forest plays a protective role, the very sensitive areas were clearly identified and a tool for field diagnosis was developed. Based on these maps, several recommendations are made to help improve forest management in relation to landscape, the water resource, soils and forest stands.

Keywords: GIS, erosion, forest, water, soil, integrated management, Sylva Med, environmental services

Resumen

¿Cómo demostrar el papel que juega el bosque en la protección contra la erosión hídrica de una cuenca?

Este artículo propone un método de evaluación de la sensibilidad de una cuenca forestal a la erosión hídrica, probado en la cuenca de la Siagne. Ésta se sitúa en el sudeste de Francia conjuntamente entre los departamentos de los Alpes Marítimos y del Var. El análisis de la sensibilidad se basa, por un lado, en la cartografía de características relacionadas con el suelo y el ambiente físico (topografía, porosidad, erodabilidad) y, por otro lado, en los bosques (intercepción de lluvias, estructura y perennidad del poblamiento). Los resultados obtenidos se presentan bajo la forma de tres mapas: un mapa caracterizando el suelo, otro el bosque, y el último, obtenido cruzando los dos primeros, caracteriza la sensibilidad global de la cuenca expuesta a la erosión. Se pueden sacar varias conclusiones de dichos resultados: en particular se puede probar el rol de protección que juegan los bosques, las zonas donde el suelo es particularmente sensible son zonas localizadas y una herramienta que permite el diagnóstico directo sobre el terreno es así creada. La interpretación de los resultados permite proponer preconizaciones de gestión forestal favorables a la protección de los paisajes, la calidad de las aguas, de los suelos y de los poblamientos forestales.

Palabras clave: SIG, erosión, bosque, agua, suelo, gestión integrada, Sylva Med, servicios eco sistémicos