

QUANTIFICATION DE L'ÉROSION HYDRIQUE SUR LES SOLS MARNEUX DES ALPES DE HAUTE PROVENCE (REGION DE LA MOTTE DU CAIRE), FRANCE

GUERINE LAKHDAR*

Key-words: Quantification, erosion, marls, TCSP, Southern French Alps, Motte du Caire, ablation, deposition.

Hydric erosion quantification on the marly soils of the Southern French Alps (la Motte du Caire region).

A study on marly soils erosion quantification as undertaken in the Motte du Caire region (Southern French Alps) to quantify erosion rates on different types of marl. Measurements of ablation and deposition rates were made using a dense network of stakes covering the study area. The mean annual ablation values calculated over a period of 3 years of study were: 3.04 cm / year on Oxfordian marl, 1.67 cm / year on Bathonian marl and 1.9 cm / year on Callovian marl. The Oxfordian marl are most affected by erosion phenomena. There is a positive correlation between erosion rates and vegetation cover. The 'TCSP' model developed in this study offers a considerable advantage in identifying areas of ablation or sedimentation in order to treat and reduce erosion rates.

1. INTRODUCTION

L'érosion des terres noires est un problème à la fois dynamique et endémique en montagne méditerranéenne et en particulier dans les Alpes françaises du sud. Les terrains marneux sont exposés à de graves problèmes d'érosion qui se manifestent sous forme de ravinement et de glissement de terrain. Pour lutter contre les méfaits de l'érosion, les hommes font appel à toute une panoplie de moyens anti-érosifs (reboisements, gabionnage). L'efficacité de ces moyens nécessite un suivi permanent et d'importants moyens financiers. Dans la plupart des cas, la mauvaise connaissance du fonctionnement de l'érosion peut être l'une des causes principales d'exaspération de l'érosion. Cependant il est primordial de bien analyser le processus d'érosion, par le biais des dispositifs expérimentaux; afin d'adopter des solutions adéquates à mettre au point.

L'estimation de l'érosion implique la manipulation d'une somme considérable d'informations pour décrire l'environnement du bassin versant et l'emploi de modèles mathématiques complexes pour simuler les processus hydrologiques et sédimentologiques en jeu. Le recours aux modèles informatiques d'érosion hydrique est alors de mise. Dans le présent travail nous exposerons les résultats de notre étude sur la quantification des taux d'érosion sur différents types de marnes du bassin versant du Saignon (Fig. 1) dans les Alpes de Haute Provence.

L'érosion actuelle des marnes noires dans les Alpes du Sud est de taille. L'érosion sur les marnes est réputée comme le plus important taux d'érosion mesuré (Delannoy et Rovéra, 1996). En dépit de ce taux, les déserts de marnes et de cailloux ne sont pas un climax abiotique en Haute – Provence (Vallauri, 1997). Ils constituent uniquement le niveau ultime de la perturbation «érosion», suite à une crise climatique forte et /ou à l'action humaine. La restauration de l'environnement en montagne demeure possible et demande réflexion, effort et persévérance afin d'imiter au mieux les processus naturels dans leurs dynamique.

Les phénomènes d'érosion sur les marnes noires constituent un enjeu pour la région sur le plan hydraulique et agricole. Selon le service départemental «RTM¹» des Alpes de haute Provence, la commune de la Motte du Caire, illustre par ailleurs très bien dans son ensemble l'étendue des

* Maître de conférences, Centre Universitaire de Naâma BP 66 – Algérie.

¹ Restauration des Terrains en Montagnes.

problèmes d'érosion. L'envasement de la retenue du Saignon à vocation hydro-agricole fournit une bonne illustration des dégâts occasionnés par l'érosion sur les marnes noires. Le volume initial de la retenue est de 120000 m³, le bassin versant est d'une surface de 360 hectares, dont 144 hectares de terrains nu. La retenue s'est envasée en 18 ans, le barrage n'ayant pu être utilisé pour l'irrigation que 5 ans (1964 à 1969).

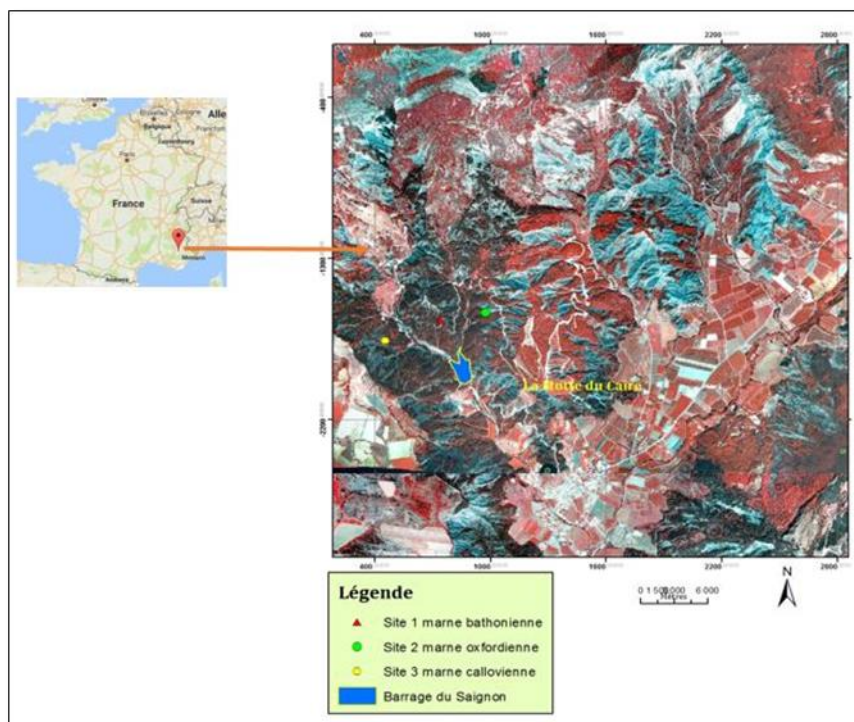


Fig. 1 – Localisation de la zone d'étude.

2. MÉTHODOLOGIE

1. Description de la zone d'étude

Une majeure partie de la Motte du Caire est constituée d'une couche épaisse de terres noires qui date du Jurassique (moyen et supérieur, Fig. 2). Ces terres noires sont consolidées par une couche calcaire tithonique qui date du Jurassique supérieur, on trouve aussi une couche de calcaires marneux appartenant au Crétacé inférieur. La région d'étude présente une succession de marnes noires épaisses de 1500 à 2000m. Ces marnes sont modérément feuilletées et assez tendres, dans la quasi – totalité des cas à patine brunâtre (Gidon *et al.*, 1991).

Les formations géologiques rencontrées dans la région d'étude se présentent comme suit:

Bathonien «moyen»: à l'Ouest de la Motte du Caire on rencontre des marnes à faciès de terres noires. Elles sont composées de fines plaquettes, l'épaisseur de ces dernières décroît vers le haut.

Bathonien supérieur: formé de plaquettes «médianes», de calcarénites rousses très bioturbées, caractérisées par l'abondance de petits bancs centimétriques. Leur épaisseur est de l'ordre de 50 à 150 m. Ils peuvent se dédoubler.

Bathonien – Callovien: cette formation est constituée de bancs de calcaire brun, d'une épaisseur décamétrique. Ils forment des bancs isolés épais de 0,2 à 0,5 m et espacés de 5 m environ. Ces bancs

sont caractérisés par un calcaire brun à pâte fine et à patine jaune ocre. Ces bancs de calcaires reposent directement sur les plaquettes du Bathonien supérieur, à l'Ouest de la Motte du Caire et de la vallée de la Sasse.

Callovien inférieur: On rencontre à l'Est de la Motte du Caire et de la vallée du Sasse, la partie supérieure des plaquettes «médianes», formée de marnes qui présentent un aspect boursouflés, d'une épaisseur de 150 m.

Callovien inférieur-moyen: On constate à l'Est du transect, qui passe à l'Ouest de Melve, la Motte du Caire et la vallée du Sasse, le développement de bancs gris clair à dominance calcaire au sommet des plaquettes. Ces bancs ont une épaisseur de 10 à 30 cm espacés tous les 1 à 5 m dans les marnes.

Callovien moyen: cette formation se distingue par sa couleur brune ocre, sa richesse en plaquettes d'ordre centimétrique voire millimétrique. L'épaisseur de cette formation est de 100 m, ces plaquettes sont rares de manière progressive vers le haut comme le bas.

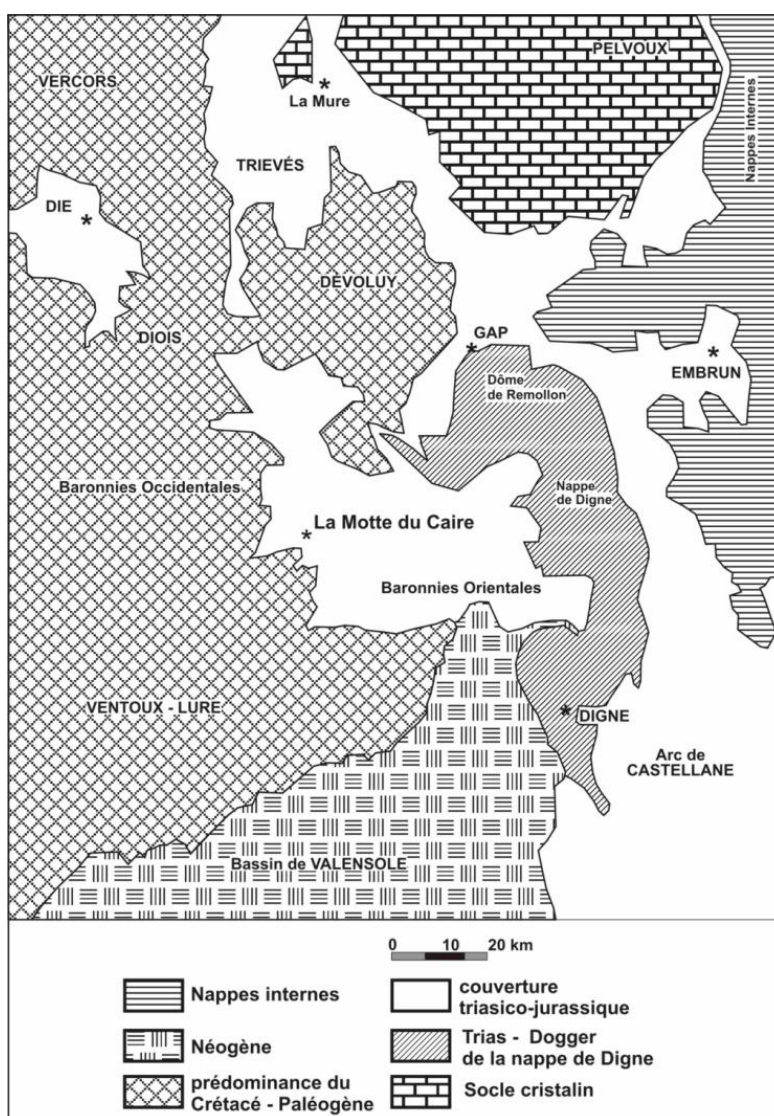


Fig. 2 – Schéma structural des Alpes externes méridionales, d'après Guidon *et al.* (1990).

Callovien supérieur: on distingue à l'Est de la Motte du Caire, des marnes feuilletées caractérisées par l'abondance de petits amas de miches grises. Cette formation à une épaisseur de 100m, elle est relativement pauvre en fossiles.

Oxfordien inférieur: on remarque que les marnes de cette formation sont de couleur grise sombre, un peu bleutées, elles contiennent un nombre important des miches décimétriques. Ces miches sont alignées en lits espacés de 0,5 à 2 m, vers le haut des plaquettes les miches deviennent graduellement importantes. Elles ont une couleur de brique d'où leur appellation «galettes rouge».

La région d'étude est dotée d'un climat subméditerranéen, caractérisé par la concentration des pluies à l'époque froide de l'année, la coïncidence de la sécheresse avec les mois chauds qui présentent des températures élevées et contrastées. Cette région est caractérisée par une pluviométrie annuelle moyenne de l'ordre de 714,3 mm et une température moyenne mensuelle maximale de 29,6°C du mois le plus chaud. La moyenne des températures du mois le plus froid est de - 4,2°C. L'hiver thermique dure pendant 4 à 5 mois où la moyenne des températures à 7°C. Nous avons noté que l'hiver dans cette région est caractérisé par une longue période de temps ensoleillé, sec et froid avec gel la nuit et dégel en journée, entrecoupée de courtes périodes de précipitation. Dans un hiver classique on compte de 70 à 100 cycles gel – dégel (Vallauri, 1997).

2. Végétation de la zone d'étude

Après plus d'un siècle de restauration des terrains en montagnes, les marnes noires du bassin du Saignon sont aujourd'hui en majorité recouvertes de forêts composées principalement du pin noir d'Autriche (*Pinus nigra*). Quelques roubines sont encore en activité. Les marnes nues et peu colonisées représentent 13,77% de la surface du vallon. 46% de sa surface est boisée, 32% en Pin noir et 14% en feuillus (chênaie et hêtraie). Le reste de la surface est composé de terrains non érodés (pelouses et landes). On constate que la pinède de pin noir a occupé la quasi-totalité du substrat marneux, les sols se sont développés en un temps assez court.

La végétation sur les adrets est constituées d'un cortège floristique varié: *Juniperus communis*, *Ononis spinosa*, *Thymus vulgaris*, *Aphyllanthes monspeliensis*, *Calamagrostis argentea*.

3. MATERIEL ET MÉTHODE

L'objectif de ce travail est de quantifier l'érosion des sols marneux, en utilisant les données les plus précises disponibles pour la région de la Motte du Caire et en s'appuyant sur les connaissances les plus récentes des différents processus impliqués dans les phénomènes d'érosion hydrique des sols. La quantification de l'érosion devrait à la fois rendre compte de l'intensité de l'aléa et des types érosifs correspondants, afin de faire ressortir les spécificités de la région. Enfin, une autre spécificité de ce travail réside dans la **différenciation saisonnière de l'aléa** qui permet de rendre compte de la réalité du régime climatique de la région.

Cette approche saisonnière permet en outre de prendre en considération les interactions entre facteurs climatiques et occupation des sols de manière beaucoup plus précise que dans une approche annuelle et donc de mieux prendre en compte les différents types d'aléas érosifs.

3.1. Dispositif expérimental: le dispositif de mesure micrométrique

La technique de mesure adoptée pour notre travail est celle utilisée par de nombreuses équipes de recherche (Lecompte *et al.*, 1998; Coubat, 1998; Lecompte *et al.*, 1997; Robert, 1997). Une estimation de la variation de la hauteur du piquet permet donc une mesure de l'ablation ou du dépôt. Parmi les

avantages de cette technique, nous pouvons citer la précision des mesures avec la jauge micrométrique, la mesure étant de l'ordre du demi-millimètre. La taille fine des piquets perturbe moins les conditions du milieu. La tête du piquet sert comme base pour la jauge qui permet d'effectuer les mesures, la tête est considérée comme une surface de référence. Pour un meilleur suivi de l'évolution du paysage à l'échelle millimétrique quatre mesures sont réalisées pour chaque piquet suivant les quatre directions cardinales. À la fin une moyenne des quatre mesures est prise. Les transects de piquets sont installés en différentes situations données par le Tableau 1.

Tableau 1

Les caractéristiques des sites d'étude.

	Zones	Taux de couverture végétale % (TC)	Pente % (S)
Site 1 Marne bathonienne	Z1	25	20
	Z2	55	25
	Z3	30	20
	Z4	25	20
Site 2 Marne oxfordienne	Z1	25	30
	Z2	25	35
	Z3	35	30
	Z4	20	35
	Z5	25	15
	Z6	30	25
Site 3 Marne callovienne	Z1	15	45
	Z2	30	30
	Z3	35	20
	Z4	20	30
	Z5	60	25

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1. Évolution de la vitesse d'ablation selon le type de marne

Les valeurs d'ablation moyenne annuelle calculées sur une période de 3 années d'étude sont les suivantes: 1,67 cm/an sur le Bathonien, 1,9 cm/an sur le Callovien et 3,04 cm/an sur l'Oxfordien. Il s'avère que le suivi des phénomènes d'ablation et de sédimentation est plus intéressant sur une période de 3 années, car les dispositifs expérimentaux nous ont permis de cerner le phénomène d'érosion sur les terrains marneux de la commune de la Motte du Caire. Les différents taux de couverture végétale et positions topographiques sont bien représentés grâce à l'implantation de réseaux de piquets sur les différents types de marnes. Il en résulte d'ailleurs une erreur – type moins importante sur ce substrat marneux.

4.1.1. Variation de la vitesse d'ablation et de sédimentation sur marne bathonienne

Le suivi régulier des taux d'ablation et de sédimentation a mis en lumière les nombreuses difficultés pour la quantification des taux d'érosion sur ce type de substrat. Les zones Z1, Z2 et Z3 (Fig. 3) présentent des taux d'ablation important ce phénomène peut s'expliquer par les quantités de sédiments déplacées par le ruissellement de l'amont de la roubine. Nos résultats concordent avec ceux de plusieurs auteurs (Corona *et al.*, 2011; Mathys *et al.*, 2003; Rovéra *et al.*, 1999). Les mécanismes

d'érosion sont dominés par le dépôt des sédiments dans les zones Z1, Z2 et Z3. La zone Z4 présente des taux d'ablation importants sur une année, il est intéressant de souligner que la concentration du ruissellement dans cette zone a engendré l'apparition de nombreuses griffures et rigoles. Les zones Z1 et Z4 enregistrent des taux d'ablation importants, ces derniers sont en nette augmentation. Nous enregistrons des valeurs moyennes annuelles d'ablation de 1,67 cm et 0,43 cm respectivement pour les zones Z1 et Z4. Nous notons que les mécanismes de sédimentation sont dominants dans les zones Z2 et Z3, ces mécanismes s'expliquent par l'importance du taux de couverture végétale et la position topographique (Gärtner, 2007).

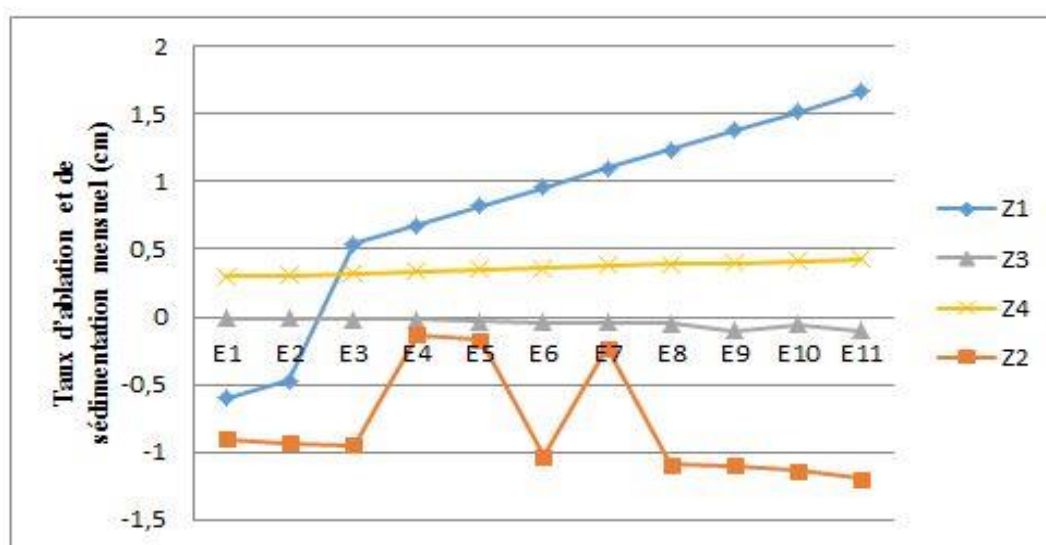


Fig. 3 – Variation de la vitesse d'ablation et de sédimentation mensuelle sur marne bathonienne.

4.1.2. Variation de la vitesse d'ablation et de sédimentation sur marne oxfordienne

Site équipé de 80 piquets pour mieux représenter les différents taux de couverture végétale et positions topographiques (Tableau 1). Les zones (Z1, Z2 et Z3) expriment des taux de sédimentation important, ceci s'explique par l'importance du couvert végétal qui joue un rôle énorme dans le piégeage des sédiments (Lecompte *et al.*, 1998). Au cours de notre étude, nous avons augmenté le nombre de piquets pour affiner les résultats de la campagne de mesure et aussi mettre en exergue le rôle de la strate herbacée comme de lutte anti – érosive.

Les zones Z4 et Z5 enregistrent des taux forts d'ablation, il est évident que les taux de couverture végétale et les positions topographique (pente) en sont responsables. Nous enregistrons la valeur de 5,3 cm pour la zone 4 caractérisée par un taux de couverture de 20% et une pente de 45%. Les zones Z1, Z2 et Z3 (Fig. 4) enregistrent des taux d'ablation important, cette tendance résulte du fait que la couche superficielle de la marne commence à se désagréger sous l'effet des facteurs climatiques tels que le gel –dégel et les précipitations (Coubat., 1998). Pour la zone Z6 dont le couvert végétal est constitué d'une strate herbacée (*Ononis spinos*, *Aphyllanthes monspeliensis*) la sédimentation est prédominante comme processus d'érosion. Sur 9 mois, la zone Z6 a enregistré 0,6 cm comme taux de sédimentation. La strate herbacée dissipe l'énergie des eaux de ruissellement et stabilise les sédiments transportés de l'amont de la roubine (Lecompte *et al.*, 1998; Lhenaff *et al.*, 1993).

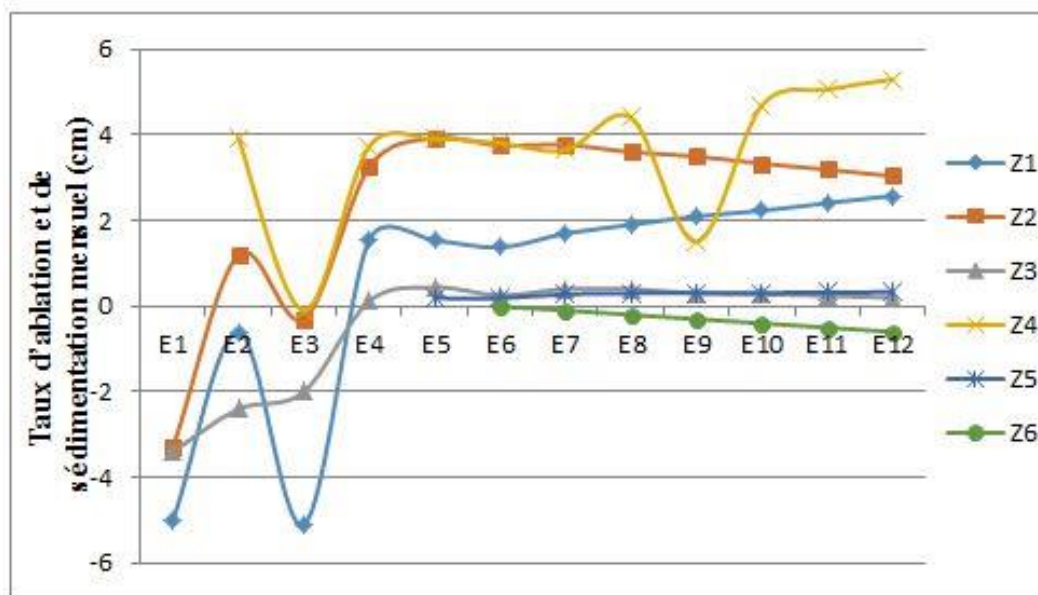


Fig. 4 – Variation de la vitesse d'ablation et de sédimentation mensuelle sur marne oxfordienne.

4.1.3. Variation de la vitesse d'ablation et de sédimentation sur marne callovienne

Les zones Z1, Z2, Z3 et Z4 enregistrent des taux d'ablation en augmentation. Une autre zone (Z5) a été équipée pour prendre en compte les différents taux de couverture végétale et positions topographiques. Pour les zones Z1, Z2, Z3 et Z4 les mécanismes d'ablation sont dominants (Fig. 5). Le taux d'ablation moyenne annuelle enregistré est de 1 cm/an. Les sédiments des zones pourvoyeuses de particules sont piégés par la strate herbacée de la zone (Z5) nous enregistrons un taux de sédimentation égale à (-3,8 cm/an).

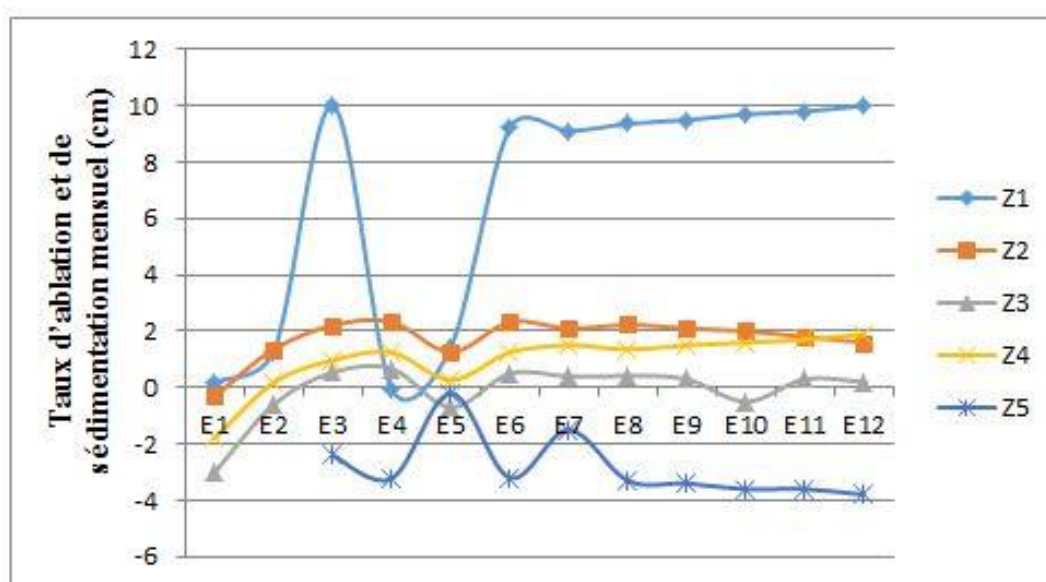


Fig. 5 – Variation de la vitesse d'ablation et de sédimentation sur marne callovienne.

4.2. Corrélation entre taux d'ablation – sédimentation et pluviométrie moyenne mensuelle

Les diverses formes d'écoulement engendrées par les précipitations jouent un rôle important dans l'ablation des marnes dans la commune de la Motte du Caire. Il est important de constater que toutes les intensités enregistrées sur une année sont susceptibles de déclencher une ablation et ou un dépôt fort et généralisé. Nos résultats rejoignent ceux de (Chodzko et Lecompte, 1992), ils notent qu'une averse de 250 mm/h durant 10mn) peut provoquer l'incision généralisée des roubines, avec l'apparition de nombreuses rigoles. Les coefficients de corrélation sont positivement significatifs (Tableaux 3, 4 et 5).

Tableau 2

Coefficient de corrélation entre taux d'ablation – sédimentation et pluviométrie moyenne mensuelle site 1.

Site1/zones	R ² Pluviométrie- Ablation/sédimentation
Z1	0,82
Z2	0,34
Z3	0,79
Z4	0,82

Tableau 3

Coefficient de corrélation entre taux d'ablation – sédimentation et pluviométrie moyenne mensuelle site 2.

Site2/zone	R ² Pluviométrie- Ablation/sédimentation
Z1	0,76
Z2	0,69
Z3	0,78
Z4	0,39
Z5	0,8
Z6	0,79

Tableau 4

Coefficient de corrélation entre taux d'ablation – sédimentation et pluviométrie moyenne mensuelle site 3

Site3/zone	R ² Pluviométrie- Ab/sédimentation
Z1	0,88
Z2	0,51
Z3	0,55
Z4	0,77
Z5	0,48

Tableau 5
Coefficient de corrélation entre ablation/sédimentation, couverture végétale et pente.

Eléments de corrélation	R²
Ablation/sédimentation vs Couverture végétale	0,67
Ablation/ sédimentation vs pente	0,75

Il est important de souligner que les intensités enregistrées par la station météorologique de la commune de la Motte du Caire sont fortement supérieures à celles citées par de nombreux auteurs. Des intensités de 5 mm/h sur sol sec et 1,7 mm/h sur sol humide peuvent déclencher un ruissellement sur les terres noires (Bufalo, 1989). Certains seuils expérimentaux sont fixés par des études (Brochot et Meunier, 1993), 12 mm sur sol sec et 5mm sur sol humide. La réponse du sol à la pluie dépend de sa teneur en eau en d'autre terme son état hydrique initial. L'état hydrique du sol, intervient dans la résistance contre l'érosion hydrique.

L'apparition du ruissellement dépend en grande partie de la teneur du sol (Collinet et Valentin, 1985; Casenave, 1989; Le Bissonnais et Le Souder, 1995). La réponse du sol à la pluie est en étroite relation avec l'humidité de la couche superficielle (Roose, 1996). Selon (Langdale *et al.*, 1975), la teneur du sol en eau réduit la dispersion des agrégats et la formation d'une croûte de battance.

Les travaux de certains auteurs ont mis en lumière l'importance de l'état hydrique initial du sol dans la résistance au ravinement et à l'incision, (Guerif, 1990; Guerine, 1998) ont mis en évidence le rôle principal de la cohésion du sol, cette dernière dépendante des caractéristiques texturales et de l'état hydrique du sol. En climat tempéré une pluie tombant sur un sol sec favorise davantage l'encroûtement superficiel et l'érosion, qu'une pluie survenant en hiver sur un sol humide (Bajracharya et Lal, 1992).

4.3. Relation entre ablation/sédimentation, couverture végétale et la pente

Les différents tests et analyses mettent en exergue les interactions existantes entre les taux d'ablation – sédimentation, la couverture végétale et la pente. L'analyse de la Figure 6 révèle des résultats intéressants: l'augmentation du couvert végétal engendre une diminution de l'érosion des marnes. L'érosion et le ruissellement sont toujours négligeables sous couvert dense, la forêt avec sa frondaison dispersée sur plusieurs étages, couvre le sol et le protège contre l'énergie des gouttes de pluie.

Parmi les facteurs qui conditionnent l'érosion, le couvert végétal est certainement le facteur le plus important puisque l'érosion passe de 1 à 1000 tonnes lorsque toutes les choses étant égales par ailleurs, le couvert végétal d'une parcelle diminue de 100% à 0% (Roose, 1994). Les résultats (Tableau 4) qu'on a obtenus de la corrélation «taux d'ablation – sédimentation et couvert végétal», présentent un coefficient de corrélation de 0,67. L'équation de la régression est de type logarithmique ceci explique l'influence de la végétation dans la diminution des taux d'érosion. Plusieurs auteurs indiquent le rôle indispensable du couvert végétal dans la lutte anti – érosive, ce rôle ne se restreint pas à la protection du sol des gouttes de pluie mais il intervient aussi dans le maintien de l'humidité du sol qui conditionne son comportement vis à vis du ruissellement (Fransen *et al.*, 2001; Weltz *et al.*, 1987; Laflen *et al.*, 1985; Mutchler *et al.*, 1982).

Nous constatons (Fig. 6) que les mécanismes d'ablation interviennent quand l'inclinaison de la pente dépasse le seuil de 20%. Au-dessous d'une inclinaison de 25% on assiste à des mécanismes de sédimentation. Les mécanismes d'ablation sont dominants quand la pente est supérieure à 25% (Foster

et al., 2000). Les résultats obtenus des corrélations entre taux d'ablation/sédimentation et pente présentent un R^2 positivement significatif égal à 0.75 (Tableau 5).

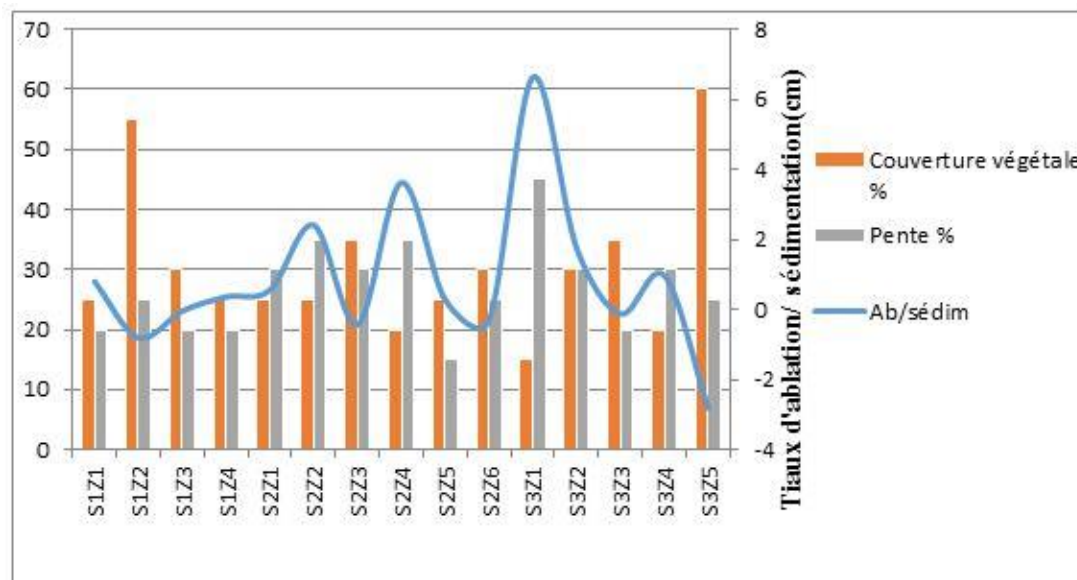


Fig. 6 – Relation entre ablation/sédimentation, couverture végétale et la pente.

4.4. Elaboration d'un modèle explicatif du phénomène d'érosion sur terrain marneux

Parmi les objectifs de cette étude est la compréhension des phénomènes d'érosion sur les terres noires (marne), et leur corrélation avec différents facteurs (pente, taux de couverture végétale et pluviométrie). L'élaboration d'un modèle d'érosion est l'aboutissement de 3 années de mesures dans la région de la Motte du Caire (Alpes du sud). La conception d'un modèle d'érosion constitue une étape importante dans l'aménagement du territoire et un outil d'aide à la décision. Le modèle «TCSP» développé au cours de cette étude est basé sur le traitement des taux d'ablation – sédimentation collectés des trois sites.

Cependant, pour les objectifs de notre étude, les taux d'ablation, de sédimentation moyens mensuels, les taux de couverture végétale, les classes de pentes et les moyennes mensuelles de pluviométries enregistrées sur le terrain au cours de 3 années ont fait l'objet d'un traitement sous le logiciel 'MATLAB'. Nous avons élaboré un modèle qui explique le phénomène d'érosion sur les terrains marneux de la localité de la Motte du Caire. Le modèle en question, offre une idée précise sur le phénomène d'érosion, tout en identifiant s'il s'agit de processus d'ablation ou bien de sédimentation.

$$E = -10.3176 TC + 4.5963 S - 0.0293 P + 4.0089$$

A savoir:

E: érosion [avec E (+) ablation / E (-) sédimentation]

S: pente

P: pluviométrie

4.0089: constante

5. CONCLUSION

Le présent article propose une nouvelle méthode permettant de réfléchir sur la manière de cibler les zones problématiques (ablation / sédimentation) sur les terrains marneux de la commune de la Motte du Caire. Nous avons adopté une nouvelle approche, qui considère les processus d'érosion comme étant le résultat d'une interaction de plusieurs facteurs du milieu (type de marne, topographie, pluviométrie et taux de couverture végétale) et dont la distribution spatiale est le fruit d'une organisation dans l'espace et le temps.

D'après les résultats obtenus au cours de cette étude, il ressort que les valeurs d'ablation moyenne annuelle calculées sur une période de 3 années sont les suivantes: 1,67 cm/an sur le Bathonien, 1,9 cm/an sur le Callovien et 3,04 cm/an sur l'Oxfordien. Il s'avère que le suivi des phénomènes d'ablation et de sédimentation est plus intéressant sur une période de 3 années. Ainsi, les marnes de l'Oxfordien sont les plus touchées par le phénomène d'érosion. Ces résultats expliquent l'envasement du barrage du Saignon dans un laps de temps très court (5 ans).

Parmi les objectifs de notre étude est d'élaborer un modèle de quantification d'érosion. Le modèle 'TCSP' développé au cours du présent travail est le fruit du traitement des données (moyennes mensuelles d'ablation / sédimentation en incluant celles des taux de couverture végétale, de pluviométrie et des classes de pentes) collectées sur le terrain durant 3 années. Le modèle 'TCSP' offre la possibilité d'identifier les zones problématiques pourvoyeuses de sédiments dans le but de les traiter ainsi réduire les taux d'érosion.

Lors de notre étude, nous avons observé que la présence d'une strate herbacée était capable de réduire les taux d'érosion en piégeant les sédiments provenant des zones en amont. Les corrélations entre taux d'ablation – sédimentation et taux de couverture végétale sont positivement significatifs.

Les phénomènes de ruissellement et d'érosion touchant les terres noires de la commune de la Motte du Caire ne peuvent pas être correctement analysés sans intégrer les effets du couvert végétal, de la pente et de la pluviométrie sur la genèse et la circulation du ruissellement. La complexité des phénomènes étudiés impose aussi un recours à la modélisation pour estimer l'efficacité des aménagements et pour trouver les mesures adaptées à chaque situation.

La prise en compte du taux de couverture végétale et de la pluviométrie a permis de distribuer spatialement les paramètres contrôlant les mécanismes d'ablation – sédimentation ainsi que les facteurs à l'origine des processus de détachement et de transport des particules solides. Par ailleurs, l'intégration des différents facteurs tels que le taux de couverture végétale et des classes de pentes a contribué à une nette amélioration des résultats de quantification par rapport à celles effectuées en n'intégrant que la topographie comme paramètre orientant la circulation du ruissellement.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bajracharya, R-M., Lal. R. (1992), *Seasonal soil loss and erodibility variation on a Miamian silt loam soil*, Soil Sci, Soc Am J **56**, pp. 1560–1565.
- Brochot, Sylvie, **Meunier, M. (1993)**, *Érosion de badlands dans le système Durance-Etang de Berre*, Cemagref-Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, Grenoble, 7 fascicules.
- Bufalo, M. (1989), *L'érosion des terres noires dans la région du Buëch (Hautes Alpes, France)*, Thèse de Doctorat en sciences de l'Université de Droit, Economie et Sciences d'Aix – Marseille, 230 p.
- Casenave, A., Valentin, C. (1989), *Les états de surface de la zone Sahélienne (influence sur l'infiltration)*, Édition de l'ORSTOM, 229 p.
- Chodzko, J., Lecompte, M. (1992), *Ravinements des Baronnie: suivi expérimental*, Trav. Labo. Géogr. Phys. de l'Univ. Paris, **VII**, 20. pp. 1–193.
- Cohen, M., Rey, F. (2005), *Dynamiques végétales et érosion hydrique sur les marnes dans les Alpes françaises du Sud, Géomorphologie: relief, processus, environnement*, vol. **11**, 1, pp. 31–44.
- Collinet, J., Valentin, C. (1985), *Evaluation of factors influencing water erosion in West Africa using rainfall simulation*, in Challenges in Africa Hydrology and Water Ressources, IAHS Publ, **144**, pp. 451–461.

- Corona, C., Lopez Saez, J., Rovéra, G., Astrade, L., Stoffel, M., Berger, F. (2011), *Validation d'une méthode de quantification des vitesses d'érosion sur marnes par dendrogéomorphologie (Draix, Alpes de Haute-Provence)*, Géomorphologie: relief, processus, environnement, vol. **17**, 1, pp. 83–94.
- Coubat, M. (1997), *Rôle des processus périglaciaires et niveaux dans l'érosion des marnes noires en milieu subméditerranéen reboisée: exemple du bassin versant du Saignon – la Motte du Caire, Alpes de Haute Provence*, Mémoire maîtrise université Joseph Fourier, Grenoble 1, 97 p.
- Delannoy, J.-J., Rovéra, G. (1996), *L'érosion dans les Alpes occidentales: contribution à un bilan des mesures et des méthodes*, Revue de géographie alpine, vol. **84**, 2, pp. 87–101.
- Foster, G.R., Yoder, D.C., McCool, G.A., Weesies, T.J., Toy, T.J., Wagner, L.E. (2000), *Improvements in science in RUSLE2*, ASAE paper 00214, 33 ASAE, St Joseph; MI.
- Fransen, P.J.B., Phillips, C.J., Fahey, B.D. (2001), *Forest road erosion in New Zealand: overview*, Earth Surface Processes and Landforms, **26**, pp. 165–174.
- Gärtner, H. (2007), *Tree roots – Methodological review and new development in dating and quantifying erosive processes*, Geomorphology, **86**, pp. 243–251.
- Guidon, M., Monjuvent, G., Flandrin, J., Moullarde, G., Durozoy, G., Damiani, L. (1991), *Carte géologique de la France à 1/50000*, feuille «Laragne–Montéglin», édition BRGM.
- Guerif, J. (1990), *Conséquences de l'état structural sur les propriétés et les comportements physiques et mécaniques*. In: J. Boiffin and Marin-Lafliche (Editors), *La structure du sol et son évolution: conséquences agronomiques, maîtrise par l'agriculteur*, Les colloques de l'INRA. INRA éditions, pp. 71–89.
- Guerine, L. (1998), *Etude de l'érosion hydrique en milieu semi-aride (Murcie – Espagne): Analyse de l'effet de la végétation, de l'inclinaison de la pente et de la pierrosité sur les résultats de la simulation de la pluie*, Mémoire DEA université Joseph Fourier Grenoble1, 111 p.
- Laflen, J.-M., Foster, G.R., Onstad, C.A. (1985), *Simulation of individual storm soil loss modeling the impact of soil erosion on crop productivity*, In S.A. El Swaify, Moldenhauer, W.C and A. Lo, eds., *Soil Erosion and Conservation*, Soil Conserv. Soc. Am., Ankeny, Iowa, pp. 285–295.
- Langdale, G.W., West, L.T., Bruce, R.R., Miller, W.E., Thomas, A.W. (1992), *Restoration of eroded soil with conservation tillage*, *Soil Technology*, Vol. 5, pp. 81–90.
- Lavaine, C., Evette, A., Piégay, H., Lachat, B., Brahic, P. (2011), *Les Tamaricaceae en génie végétal*, Science Eaux & Territoires, Article hors-série numéro **4**, 9 p.
- Le Bissonnais, Y., Le Souder, C. (1995), *Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion*, Etude et Gestion des Sols, **2**(1), pp. 43–56.
- Lecompte, M., Lhenaff, R., Marre, A. (1998), *Huit ans de mesures du ravinement des marnes dans les Baronnies méridionales (Préalpes françaises du sud)*, Géomorphologie : relief, processus, environnement, **4**, pp. 351–374.
- Lecompte, M., Chodzko, J., Lhenaff, R., Marre, A. (1997), *A Marls gullyng: canonical analysis of erosion and sedimentation sequences (Baronnies, France)*, *Geodinamica acta*, **13**, 3, pp. 115–124.
- Lecompte, M., Lhenaff, J., Marre, A. (1998), *Huit ans de mesures de ravinement des marnes dans les baronnies méridionales (Préalpes françaises du sud)*, Géomorphologie: relief, processus, environnement, **4**, pp. 351–374.
- Lhenaff, R., Coulmeau, P., Lecompte, M., Marre, A. (1993), *Erosion and transport processes on badlands slopes in Baronnies moutains (French southern Alps)*, *Geografia fisica e dinamica quaternaria*, **16**, pp. 65–73.
- Mathys, N., Brochot, S., Meunier, M., Richard, D. (2003), *Erosion quantification in the small marly experimental catchments of Draix (Alpes-de-Haute-Provence, France)*, Calibration of the ETC rainfall-runoff-erosion model, *Catena* **50**, pp. 527–548.
- Mutchler, C.K., Murphree, C.E., McGregor, K.C. (1982), *Subfactor method for computing C-factors for continuous cotton*, *Trans. ASAE*, **25**, pp. 327–322.
- Robert, Y. (1998), *Erosion et colonisation végétale dans les bads-lands marneux des Alpes du Sud: exemple du bassin versant du Saignon*, Mémoire maîtrise université Joseph Fourier Grenoble, **1**, 137 p.
- Roose, E. (1994), *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)*. Bulletin Pédologique de la FAO, **70**, p. 420.
- Rovéra, G., Robert, Y., Coubat, M., Nedjai, R. (1999), *Erosion et stades biorhexistrasiques dans les ravines du Saignon (Alpes de Provence), essai de modélisation statistique des vitesses d'érosion sur marnes. Etudes de Géographie Physique*. Actes du colloque «La montagne méditerranéenne», 8–10 octobre 1998, Aix-en-Provence, **28**, pp. 109–115.
- Vallauri, D. (1997), *Dynamique de la restauration forestière des substrats marneux avec Pinus nigra J.F. Arnold ssp. nigra dans le secteur haut-provençal: trajectoires dynamiques, avancement du processus de restauration et diagnostic sur l'intégrité fonctionnelle des écosystèmes recréés*. Thèse de doctorat de l'Université de Marseille III, Cemagref, Grenoble, 300 p.
- Weltz, M.A., Renard, K.G., Simanton, J.R. (1987), *Revised universal soil loss equation for western rangelands*, in US/Mexico Symposium on Strategies for Classification and Management for Native Vegetation for Food Production in Arid Zones, U.S. Forest Serv. Gen. Tech. Rep. RM-150, pp. 104–111.