

## DÉGRADATION SPÉCIFIQUE ET TRANSPORTS SOLIDES DANS LE BASSIN DE L'OUED LEBÈNE (Prérif central, Maroc septentrional)

*Abdelghani GARTET<sup>1</sup>, Jaouad GARTET<sup>2</sup> y Carmelo CONESA GARCÍA<sup>3</sup>*

1 Universidad de Sidi Mohamed Ben Abdellah

2 Universidad de Sidi Mohamed Ben Abdellah

3 Universidad de Murcia

### RESUMEN

El artículo tiene por objeto evaluar la degradación específica, y especialmente cuantificar la carga de transporte sólido, en la cuenca del oued Lebène (Prérif central), caracterizada por altas tasas de erosión hídrica. La fuerte erosionabilidad de las rocas, la agresividad climática y las frecuentes variaciones de caudal hacen que el volumen de los materiales transportados por el Lebène alcancen una magnitud considerable. La irregularidad espacio-temporal de las precipitaciones y caudales condicionan el volumen de los transportes sólidos, de ahí las estrechas correlaciones existentes entre las tres variables. Los análisis relativos a la turbidez de las aguas y a la naturaleza granulométrica de los sedimentos refuerzan dicha relación.

### RÉSUMÉ

L'article traite sur l'évaluation de la dégradation spécifique mais surtout à la quantification des transports solides dans le bassin de l'oued Lebène au Prérif central, où l'érosion hydrique est très acharnante. La forte érodibilité des roches, l'agressivité climatique et les fréquentes variations des débits font que le volume des matériaux transportés par le Lebène atteint des quantités impressionnantes. Les variations spatio-temporelles des précipitations et des débits influencent le volume des transports solides; d'où les fortes corrélations existantes entre les trois variables. Les analyses relatives à la turbidité des eaux et à la nature granulométrique confortent cette relation.

---

Fecha de recepción: 14 de octubre de 2005. Fecha de aceptación: 10 de noviembre de 2005.

1 Faculté des Lettres et Sciences Humaines Saïs-Fès, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, FES, Maroc. E-mail: gartetabdel@hotmail.com

2 Faculté Poly-Disciplinaire de Taza, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Maroc.

3 Departamento de Geografía. Facultad de Letras. Universidad de Murcia. Campus de La Merced. 30001 MURCIA (España). E-mail: cconesa@um.es

**Mots-clès:** Dégradation spécifique, transports solides, sédiments en suspension, matière en solution, tonnage exporté, oued Lebène, Prérif central - Maroc.

### ABSTRACT

This paper aims on the assessment of the specific deterioration and the transport quantification in the basin of the Lebène river in the central Prérif, where water erosion is very important. The high erodibility of rocks, the climatic aggressiveness and the frequent variations of debits make that the volume of materials transported by the Lebène reaches some impressive quantities. The spatial and temporary variations of precipitations and debits influence the strong transports of sediments, what explains the narrow interrelationship among these variables. The analyses relating to the water turbidity and to the distribution of particle sizes reinforce this relation.

**Key words:** Specific deterioration, high transport rates, bed load, sediments in suspension, matter in solution, exported tonnage, Lebène river, central Prérif - Morocco.

## INTRODUCTION

Dans le bassin versant de l'oued Lebène, comme dans l'ensemble de la région prériefaine, l'érosion hydrique pose de nombreux problèmes; les principaux sont liés à l'évaluation de la dégradation spécifique et des transports solides. Cet aspect de la dynamique découle des mécanismes complexes de la morphogenèse des versants et particulièrement de l'hydrodynamisme des oueds (Gartet, 1994 et 1999). En effet, mise à part la grande susceptibilité des roches à l'érosion et les fréquentes variations pluviométriques et hydrologiques, le libre écoulement et la grande vitesse du courant constituent les conditions suffisantes à l'entraînement et aux transports des matériaux. D'ailleurs, l'oued Lebène dont le nom signifie «petit lait» est une allusion faite à la couleur blanchâtre et boueuse de l'oued en crue. Il est considéré —par l'importance du stock alluvionnaire— comme un puissant exportateur de matière en solution mais surtout en suspension.

Le bassin du Lebène est d'une superficie de 1382 km<sup>2</sup>. Il s'étend dans la zone de transition entre les montagnes rifaines (800-1700 m) et les collines prériefaines (300-700 m). Le cours sculpte son tracé à 460 m d'altitude à l'amont, dans les roches résistantes (calcaires, dolomies, grès, flyschs et schistes) et parcourt les terrains fragiles (marno-calcaires, marnes armées et marnes tendres du complexe triasique) jusqu'à sa confluence avec l'oued Inaouène à 149 m. Le long des 110 km, la vallée présente une alternance de secteurs étroits (< 100 m) et de vallées larges de 2 à 5 km. La pente du cours d'eau varie sur de faibles distances (3 à 0,2‰) à l'amont, alors que dans les bassins moyen et inférieur la pente devient très faible (1 à 0,2 ‰).

Le régime hydrologique, typiquement méditerranéen, se calque sur celui des pluies et se caractérise par l'extrême irrégularité à la fois spatiale et temporelle (Gartet *et al.*, 2003). Les étés sont secs avec des étiages profonds ( $Q = 0,5$  à  $0,01$  m<sup>3</sup>/s où la pénurie est de 3 à 4 mois/ an), les hivers sont pluvieux et humides ( $P > 1000$  mm à l'amont et entre 500 et 600 mm à l'aval) provoquant des averses fortes et continues ( $P > 30$  mm/j constitue 82%



FIGURE 1

Le bassin-versant de l'oued Lebène et densité du réseau de drainage.

du total). Ce régime hydrologique engendre la propagation de l'écoulement en nappe, puis concentré, encombrant le réseau de drainage malgré sa forte densité ( $2,94 \text{ km/km}^2$ ) (figure 1). Les débits de crues sont importants ( $Q_c > 120 \text{ m}^3/\text{s}$ ), les débits moyens journaliers de crues dépassent 400 voire 500  $\text{m}^3/\text{s}$  et les maximums instantanés atteignent les 1200  $\text{m}^3/\text{s}$  (Gartet, 1994). Les plus redoutables se caractérisent par leur soudaineté et leur violence et se manifestent par des submersions actives engendrant, par les divagations et les défluviations répétées, la destruction des installations humaines situées aux rivages du cours d'eau (Gartet, 1999).

Dans une précédente étude (Gartet *et al.*, 2001), la dissolution spécifique au Lebène n'excédait pas les 1150 tonnes/an. La présente étude complète cet aspect de la dynamique par l'estimation des transports solides. Néanmoins, les campagnes de mesures effectuées entre 1966 et 1969 dans le cadre de l'aménagement du bassin du Sebou et celles relatives à la lutte contre l'envasement des barrages (1991-1994) ont visé particulièrement l'apport global des transports solides. Dans ce propos, l'étude tente de cerner ce problème en se basant partiellement sur ces résultats antérieurs, complétés par ceux obtenus par nous-mêmes (Gartet, 1994) et ceux en cours.

## ORIGINES, PROCESSUS ET MÉCANISMES DES TRANSPORTS

Les apports latéraux (issus des versants) et longitudinaux (apports ramenés par le Lebène et ses affluents) représentent les zones de provenance du stock des matériaux alluvionnaires mobilisables, sujet aux transports.

## Les apports issus des versants

Le planimétrage de la carte lithologique du bassin permet de relever trois familles de roches en fonction de leurs résistances à l'érosion (tableau 1). Seuls les affleurements qui apparaissent en surface et ceux qui portent une couverture détritivée inférieure à 50 cm ont été considérés.

Cette répartition permet de schématiser la potentialité de l'érosion en fonction de la lithologie (figure 2). L'opposition entre roches meubles, moyennement résistantes et résistantes montre la disproportion de leur pourcentage. Les indices d'érodibilité «K» (de Wischmeier, 1962) que nous avons retenu pour notre région (Gartet, 1994 et 1995) sont ceux adoptés auparavant par Heusch (1970) pour l'ensemble du Prérif occidental.

TABLEAU 1  
Répartition des ensembles lithologiques dans le bassin du Lebène

Formations lithologiques dominantes		Superficie en km <sup>2</sup>	% de la répartition
Roches résistantes	Calcaires massifs, calcaires lités, ophites et roches vertes, grès et conglomérats.	100,5	7,27
Roches moyennement résistantes	Marno-calcaires, marnes blanches à silex, marnes vertes, schistes, marnes schisteuses et flyschs.	621,5	44,97
Roches tendres et formations superficielles	Marnes sableuses miocènes, marnes tendres crétacées et complexe triasique (sels, gypses et marnes associées).	466	33,72
	Alluvions actuelles et formations superficielles	194	14,04
Total		1382	100

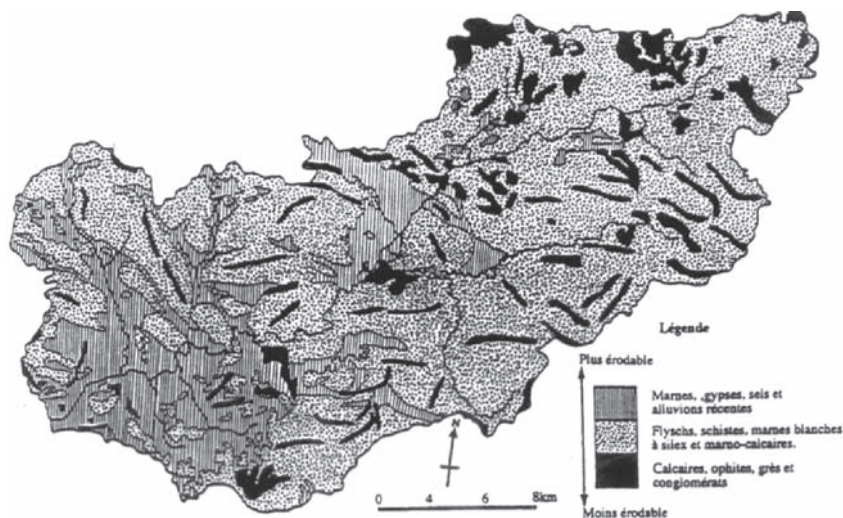


FIGURE 2  
Potentialité de l'érosion en fonction de l'érodibilité des roches.

TABLEAU 2  
Susceptibilité des roches à l'érosion : Indice «K» d'érodibilité

Types de roches dominantes dans le bassin du Lebène	Indice «K»
- Roches résistantes (calcaires, grès, conglomérats et ophites)	0,05
- Épandages sablo-caillouteux	0,1
- Schistes et flyschs	0,2
- Marnes sableuses et alluvions limoneuses	0,3
- Marnes armées (marno-calcaires et marnes blanches à silex)	0,4
- Marnes peu armées	0,5
- Marnes, argiles et évaporites (formations triasiques).	0,6

La mobilisation des matériaux sur les versants est liée au rôle des eaux pluviales, favorisée par les fortes pentes et l'absence de couvert végétal protecteur. L'analyse des situations pluviométriques, des caractéristiques morphométriques et géomorphologiques des versants, de la végétation et de l'occupation des sols n'est ici que schématisée. Seuls seront abordés les aspects intéressant directement les caractères originaux de la mobilisation des matériaux qui alimentent les transports en suspension.

Cette mobilisation des matériaux résulte des processus mécaniques et hydriques. Il s'agit, tantôt d'une véritable imprégnation du sol et du manteau d'altération par les eaux de pluies, tantôt d'un ruissellement superficiel ou subsuperficiel. Les matériaux fins sont entraînés par le ruissellement diffus puis concentré, alors que le ruissellement actif évoluant vers le ravinement charrie les matériaux mobilisables. Lorsque le manteau d'altération est épais, notamment sur les roches imperméables, des masses entières sont mobilisées. Quant aux débris et blocs, ils transitent et se déposent selon un tri gravitaire. En général, ces mécanismes se produisent soit de façon brutale et discontinue, soit sous forme de mouvements lents et continus (glissement en masse, créeping et mouvements profonds se produisant sous l'action de la solifluxion).

### Les apports de fond de vallées alluviales

Lorsque les matériaux arrachés des versants atteignent le réseau hydrographique, ils sont transportés par le courant au moment où celui-ci en est capable ; sinon, ils se déposent pour constituer la partie engravée du lit mineur, compte tenu des caractéristiques spécifiques des matériaux transportés et des paramètres de rugosité du lit. La masse transportée est donc proportionnelle à la distance parcourue (Guigo, 1981).

Dans le but d'estimer les transports solides, nous nous sommes basés sur la quantification approximative du volume des matériaux déposés pour chaque 100 m environ le long d'un tronçon de 2 km, considérés représentatifs.

Au cours de l'automne 1990, nous avons procédé au marquage de plusieurs dizaines de galets et de blocs dans la vallée du Lebène (Gartet, 1994). Cette opération a concerné deux sections du cours principal ayant des caractéristiques différentes:

- la première, à l'amont, dans le secteur des gorges où le courant hydrique est fort;
- la seconde, dans le couloir d'El Bratla, où le fond du lit est encaissé et où la vitesse du courant est modérée à faible.

L'objectif était d'estimer la distance parcourue. L'été suivant, peu de galets et blocs peints, ayant transités, ont été retrouvés. Ce procédé renseigne uniquement sur l'énergie et la puissance du transport. Retenons, par ailleurs, qu'en périodes de crues, le Lebène est capable de charrier des quantités considérables de galets et blocs de tailles différentes sur des distances importantes. Pendant l'été 1991, des blocs de l'ordre du m<sup>3</sup>, marqués dans la zone des Sofs, ont été retrouvés plus loin à 4 et à 5 km à Sahel Laârabi. Dans le couloir d'El Bratla (entaillé dans les grès), le lit de l'oued était encombré de matériaux transportés depuis 16 km environ, formant des embâcles et des barrages naturels engendrant le recul progressif des lames d'eau et favorisant, localement, l'élargissement du lit mineur et le creusement des mouilles.

Le tonnage exporté estimé, pouvait atteindre les 300 à 400 tonnes/ km dans le haut Lebène et entre 100 et 150 tonnes/ km dans les sections moyenne et inférieur du cours.

Le long du cour d'eau, lorsque la charge solide est inférieure à la capacité de transport, l'eau conserve un reliquat d'énergie pour le creusement du lit dans les endroits où il est affouillable et lorsque la granulométrie et les caractéristiques pétrographiques des matériaux de fond permettent le sapement et/ou le transport. Ces conditions se produisent sous la dépendance du volume des débits, de la vitesse du courant hydrique, de la morphologie des lits et de la pente hydraulique du cours d'eau.

## **CONDITIONS CLIMATO-HYDROLOGIQUES ET VARIATIONS DES TRANSPORTS SOLIDES**

Le caractère concentré des précipitations sur le bassin, avec une intensité - durée supérieure à 30 mm/h, se manifeste par la mobilisation des éléments sur les versants par les eaux de ruissellement qui alimentent les cours d'eau élémentaires en matière de débits liquides et solides. Lors des périodes de forte hydraulicité, ces oueds sont capables de charrier des quantités impressionnantes en matériaux qui, faute de mesures précises sur les transports de fond, restent ignorées.

Les expérimentations menées sur des parcelles au Prérif occidental (Heusch, 1970, et Kalman, 1970), dans certaines régions du Maroc septentrional (Laouina *et al.*, 1993 et 1999, et Al Karkouri *et al.*, 2000), comparées à celles menées sur la rive nord méditerranéenne (Clauzon *et al.*, 1971, dans le midi de la France; Guigo, 1981, sur le Parma en Italie; et Conesa García, 2002, dans le Sud-est de L'Espagne) s'accordent sur l'augmentation corrélative des transports solides avec les débits.

### **Pluies, débits et transports solides: étude des situations extrêmes**

La relation transports solides —précipitations— débits est examinée à travers la station Tissa. Par manque de données, cette relation est étudiée pour trois situations particulières: l'année hydrologique 1966-67 à pluviosité inférieure à la moyenne et à très faible hydrau-

licité, l'année 1968-69 marquée par l'abondance pluviométrique et les forts débits, et la situation de l'année 1967-68 considérée comme moyenne (tableau 3).

TABLEAU 3  
Variations des transports solides en fonction des précipitations et des débits.  
Source des données: D.R.H.-Fès

Débits liquides et solides	Années			
	sèche 1966-67	normale 1967-68	pluvieuse 1968-69	Moyenne des 3 années
- Précipitations en mm/an	403,70	545,70	904,10	617,83
- Débits liquides en m <sup>3</sup> /s	11,13	38,31	150,26	66,56
- Débits solides totaux en t/an	320,00	2.250,00	109.000,00	37.190,00

– La première (1966-67) est sèche, les précipitations relativement faibles n'ont pas excédé les 404 mm/an avec un débit liquide moyen d'à peine 11 m<sup>3</sup>/s ≈ 35 mm/an. Le coefficient de corrélation des débits moyens mensuels aux précipitations est de 0,65. Les transports solides n'ont pourtant pas excédé les 320 tonnes : valeur faible, comparée à celle de la moyenne «interannuelle» qui est de 37.190 tonnes.

– La deuxième (1968-69) est pluvieuse, les précipitations annuelles ont atteint 904 mm/an et le Lebène aurait écoulé 150 m<sup>3</sup>/s ≈ 420 mm/an. La corrélation débits - précipitations est positivement forte (r= 0,7). Les transports solides ont atteint des valeurs étonnantes: 109.000 t/an; ce qui représente 3 fois la moyenne interannuelle.

– La troisième (1967-68), de part son régime pluviométrique et hydrologique, est considérée comme une année moyenne avec un tonnage évalué à 2.250 tonnes.

Le volume des transports en suspension est directement lié aux lames d'eau écoulées, confirmé par la forte corrélation entre les transports en suspension et les débits. Néanmoins, à l'échelle d'un temps court, en fonction du volume d'eau écoulee, Heusch (1970) avance, pour la station du Mda, au Prérif occidental, des valeurs révélatrices quant aux transports solides (tableau 4). Les débits solides croissent proportionnellement en rapport avec les débits liquides. Etant donné la similitude des conditions et des milieux, ces données peuvent se prêter à la généralisation pour l'ensemble de la région préfiraine.

TABLEAU 4  
Débits horaires classés et transports solides dans le bassin de Mda  
(D'après B. Heusch, 1970)

Tranches des débits en m <sup>3</sup> /h	Durées en h	Débits liquides en m <sup>3</sup>	Débits liquides en % du total	Débits solides en tonne	Débits solides en % du total
0 – 100	500	39.000	7	1	0,03
100 – 1.000	1.380	310.000	56	71	3,00
1.000 – 2.000	80	86.000	15	183	6,00
2.000 – 4.000	26	56.000	10	435	15,00
4.000 – 6.000	10	41.000	7	999	35,00
6.000 – 9.000	4	24.000	5	1 161	41,00

Les valeurs du tableau permettent de tirer les constatations suivantes:

- La relation débits liquides - débits solides montre que lorsque les débits sont faibles, les transports solides sont presque inexistants. Ainsi, pour la tranche de débits 0-100 m<sup>3</sup>/h, le volume des matériaux transportés est d'à peine 1 t/500 h. Tandis que, en 4 heures, pour la tranche des débits 6.000 - 9.000 m<sup>3</sup>/h, le volume des matériaux transités est de 1.161 tonnes, ce qui représente 41% du total.
- Pour une durée de 14 h, 65.000 m<sup>3</sup> d'eau se sont écoulées auxquelles correspondent 2.160 tonnes de matières solides transportées.
- En terme de pourcentage, 76% de matières solides, correspond à la tranche des débits 4.000 - 9.000 m<sup>3</sup>/h, ont transité pour 12% seulement du volume d'eau écoulée.

En définitive, la brièveté de la période efficace du phénomène exprime la forte capacité d'entraînement des eaux précipitées ( $P \geq 30$  mm/j) en fonction de la forte intensité (10-15 mm/h pendant 30 mn au moins), de la courte durée et de l'extension des pluies. De plus, la rapidité de translation des eaux qui s'ajoute au transit des matériaux issus des versants et ceux provenant des destructions de berges augmentent les transports.

## RELATIONS PLUIES - DÉBITS - TRANSPORTS SOLIDES

### Relation pluies - transports solides

Selon Fournier (1960), la dégradation spécifique serait directement proportionnelle au rapport  $p^2/P$ . Le quotient  $p/P$  est celui du mois de pluviosité maximale sur la pluviosité moyenne annuelle et l'abondance pluviale s'exprime par:  $p/P \times p = p^2/P$ . La relation entre l'abondance pluviale ( $p^2/P$ ) et la dégradation spécifique (D.S.) permet d'extrapoler aussi bien la D.S. annuelle que la D.S. moyenne annuelle (figure 3). Le calcul de l'érosion se

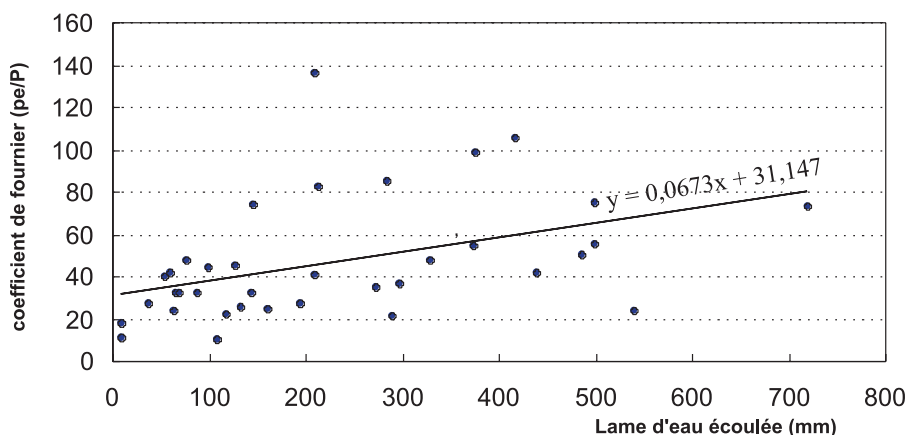


FIGURE 3  
Corrélation lames d'eau écoulées – coefficient de Fournier.



base sur l'équation:  $E = 2,65 \log p^2/P + 0,46 \log x - 1,56$ . Son emploi fait appel au mode de répartition des pluies dans l'année ( $p/P$ ), à l'abondance pluviale ( $p$  et  $P$ ), à la hauteur moyenne du relief ( $H$ ) et au coefficient de massivité du relief ( $tgx$ ).

L'application de ce procédé pour le Lebène à la station Tissa permet d'évaluer la valeur de cet indice. Le quotient moyen à base de 38 années de mesures est de 41,6; il exprime la forte proportion des précipitations aux débits solides. Néanmoins, cette proportionnalité s'exprime différemment: 75% des débits solides annuels sont transportés en 15 ou 20 jours et 1/3 s'effectue en quelques jours seulement (2 à 3 jours).

Il ressort de l'application du coefficient de Fournier, les constatations suivantes :

- d'une part, les 2/3 des années représentées se regroupent dans la classe [10-50] du coefficient pour des précipitations comprises entre 350 - 600 mm/an.
- d'autre part, une série d'années représentant le 1/3 à peu près s'écarte du premier groupe, mais se répartie de manière disparate. Les coefficients de ce groupe se calent entre la fourchette [50-110], même si les précipitations correspondantes restent dans le même ordre ( $500 < P < 950$  mm/an). Ce qui se justifie par l'abondance des précipitations hivernales et leur concentration pendant les deux mois les plus arrosés de l'année.
- Le coefficient de corrélation est faible et ne peut exprimer la relation pluies - transports solides, puisque «R» est d'à peine 0.42.

### Relation débits - transports solides

Lorsque le seuil de saturation est largement dépassé, le processus d'écoulement boueux fonctionne jusqu'aux limites de solifluxion. Le coefficient de ruissellement, étant fort, exprime la forte concentration et donc une dégradation spécifique moyenne estimée à 2.200 tonnes/an à Tissa et entre 2.200 et 2.500 t/an à Aouled Azzouz. Autour de ces valeurs centrales, des valeurs extrêmes sont atteintes. Les corrélations transports solides - débits liquides sont établies à partir du coefficient de Spearman (exposé in Groupe Chadule, 1974). Celui-ci est pratiqué sur les rangs (valeurs ordinales) après classement des valeurs dont on ne retient que les rangs. Il est sous la forme:

$$O = 1 - 6 \sum d_i^2 / n(n^2 - 1)$$

avec: « $d_i$ » la différence entre les rangs d'un couple de valeurs « $x_i y_i$ » et « $n$ » le nombre de couples  $x_i - y_i$ . Pour le Lebène à Tissa, l'indice est de 0,7; ce qui explique que les débits solides sont dépendant des débits liquides pour 70%. Notons que, dans l'établissement de cette relation, les corrélations ne tiennent compte ni de l'intensité des pluies et du volume d'eau précipitée, ni de l'importance des débits et leurs variations, ni encore du rôle de ruissellement et du mode de préparation des matériaux ou des mécanismes de transports sur les versants.

## TURBIDITÉ ET NATURE DES SÉDIMENTS

### Dispersion des valeurs de la turbidité

Il est reconnu que, pour le Prérif central et occidental, la variation de la turbidité s'effectue en fonction du temps et du volume d'eau écoulée. Les maxima sont enregistrés lors des paroxysmes des crues et aux décrues (R. Kalman, 1976, A. Lahlou, 1986).

Nos mesures sur la turbidité des eaux au Lebène ont porté sur deux sections du cours principal et sur certains affluents et chaâbats. Les prélèvements ponctuels, en surface, des 17 et 18 février 1990 ont été effectués à intervalle de presque toutes les 30 minutes, à l'aide de bouteilles à large col au bord du lit. La détermination au poids de terres sèches, par filtration, a donné les résultats exposés dans le tableau 5. Les valeurs de la turbidité expriment une forte dispersion par rapport à la moyenne et l'augmentation corrélative aux débits (figure 4). Au moment des crues, les eaux n'ont pas été très turbides (situation de 17-II-1990), du fait de la faiblesse des précipitations et des débits antérieurement à la crue; alors qu'aux décrues, les eaux sont devenues très turbides.

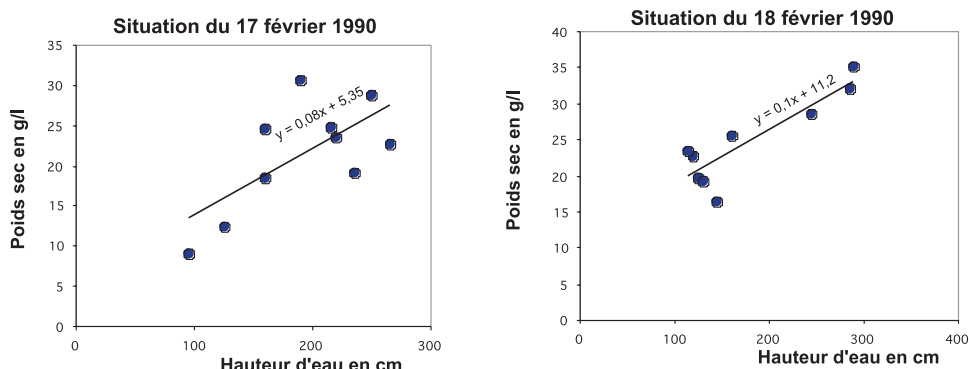


FIGURE 4. Variations des matières en suspension en fonction des débits.

La variabilité de la turbidité dépend des facteurs locaux et des conditions spécifiques:

- L'état des sols avant les chutes de pluies et le degré de cohésion des particules qui, selon le type de sol ou la roche, favorise ou limite les pertes des agrégats terreux.
- La fréquence et l'intensité des pluies; car, lorsque celles-ci sont fortes et maintenues, les débits liquides sont importants et la turbidité est relativement forte ou —du moins— elle se maintient de façon à peu près constante, ce qui est le cas du 17 février de 11 h à 12 h.
- L'arrivée d'une grande quantité de boue liée au rôle du ruissellement de surface et celle ramenée par les oueds affluents (situation du 18 février entre 16 h 45 mn et 17 h 15 mn).

TABLEAU 5  
Évolution de la turbidité des eaux du Lebène au cours d'une crue

Dates et lieux des prélèvements	Heure d'observation	Hauteur d'eau en cm	Poids sec en g/l
<i>Le 17 février 1990</i>  Au niveau de la station de jaugeage Tissa Boukerkour $x = 575,6 - y = 412,8$	10 h 30 mn	265	22,6
	11 h	250	28,8
	11 h 15 mn	220	23,5
	12 h	190	30,7
	13 h 30 mn	160	24,6
	14 h 15 mn	235	19,0
	15 h	215	24,8
	15 h 30 mn	160	18,5
	16 h 15 mn	125	12,4
	17 h	95	9,0
<i>Le 18 février 1990</i>  Au niveau du village de Tissa (coude de méandre de Bab Arbaâ) $x = 567,2 - y = 409,5$	12 h 30 mn	245	28,5
	14 h	290	35,2
	14 h 30 mn	285	32,0
	15 h	160	25,5
	15 h 30 mn	125	19,6
	16 h	130	19,2
	16 h 25 mn	145	16,4
	16 h 45 mn	120	22,7
	17 h 15 mn	115	23,5

— Les effondrements locaux des berges en périodes de hautes-eaux qui se font de manière aléatoire et à tout moment, ce qui augmente la turbidité des eaux.

La variabilité de la turbidité des eaux est donc sous la dépendance des trois facteurs fondamentaux: l'état des sols et la nature des roches en place, l'intensité-durée-extension des pluies et, enfin, le volume d'eau écoulée.

### Nature des sédiments et origine des dépôts

La détermination de la nature granulométrique des éléments transportés en suspension et la part des éléments (en %) permettent de mieux reconnaître l'origine des dépôts. Au cours de la période 1989-90 nous avons prélevé et analysé plusieurs échantillons à des endroits représentatifs (tableau 6) pour chaque situation hydrologique: (1= antérieurement à la crue, 2= pendant la crue et 3= à la décrue).

TABLEAU 6  
Variation granulométrique des matières en suspension en fonction des débits

Lieux des prélèvements	Date de prélèvement	P mm/j	Q m <sup>3</sup> /s	Turbidité	Composition granulométrique en % du poids de terre sèche		
					Argiles 0- 2 µ	Limons 2-20 µ	Sables 20-2 mm
Couloir de Bou Ajoul Section moyenne	Déc. 1989 (1)	4,8	2,85	4,6	53,4	26,2	20,4
	Janv 1990 (2)	30,5	68,50	25,8	67,9	21,6	10,5
	Janv 1990 (3)	2,6	7,50	17,2	51,7	25,5	22,8
			(15,5)	(15,5)	(57,7)	(24,4)	(18)
Bab Larbaâ à Tissa-village Section moyenne	Déc. 1989 (1)	4,8	5,9	5,9	52,8	33,5	13,7
	Janv 1990 (2)	30,5	19,2	19,2	58,3	31,5	10,2
	Janv 1990 (3)	2	12,7	12,7	46,3	36,2	17,5
			(12,6)	(12,6)	(52,5)	(33,7)	(13,8)
Pont du Lebène Section aval	Déc. 1989 (1)	4	8,2	8,2	43,9	40,6	15,5
	Janv 1990 (2)	30	28,6	28,6	73,1	19,5	7,4
	Janv 1990 (3)	2	21,8	21,8	64,4	21,8	13,8
			(19,6)	(19,6)	(60,5)	(27,3)	(12,2).

Les chiffres entre parenthèses indiquent les moyennes

Tous les résultats indiquent la prédominance des éléments fins : argiles, limons et sables (figure 5). La part de chaque élément dépend des conditions pluviométriques, hydriques et hydrologiques mais surtout de l'érodibilité des roches marno-argileuses. On constate que: i) le pourcentage des sédiments alluviaux varie en fonction des débits, ii) l'abondance des limons avec 57% et 14% de sables seulement, et iii) la forte proportion des dépôts fins (96% pour ceux  $\leq$  à 2 mm), alors que la fraction grossière, elle ne dépasse le seuil 15 - 20% que lors des crues.

Ce sont donc les zones marneuses et argileuses du bassin qui fournissent le plus de matériaux aux transports solides. Les flyschs et les schistes altérés contribuent, pour leurs parts, avec une quantité non négligeable. Le bassin supérieur, drainé par de véritables torrents, fournit des matériaux de nature et de taille hétérométrique. On constate également que la reprise de l'érosion se traduit par une teneur en argile plus élevée, avec un taux supérieur à 50%, provenant principalement de l'érosion des sols issus des versants et des destructions systématiques des berges des très basses terrasses des vallées alluviales.

## BILAN DE LA DÉGRADATION SPÉCIFIQUE ET DES TRANSPORTS SOLIDES AU LÈBÈNE

Mises à part les valeurs de la dégradation spécifique et des transports solides pour les trois années consécutives (1966-67, 1967-68 et 1968-69) dot on dispose des valeurs à la station Tissa (tableau 7), le manque de données reste fort regrettable. Les variations des débits liquides influencent le volume des matériaux transportés : matières dissoutes, boues ou troubles tenus en suspension, sables véhiculés de même que les cailloux sur le fond.

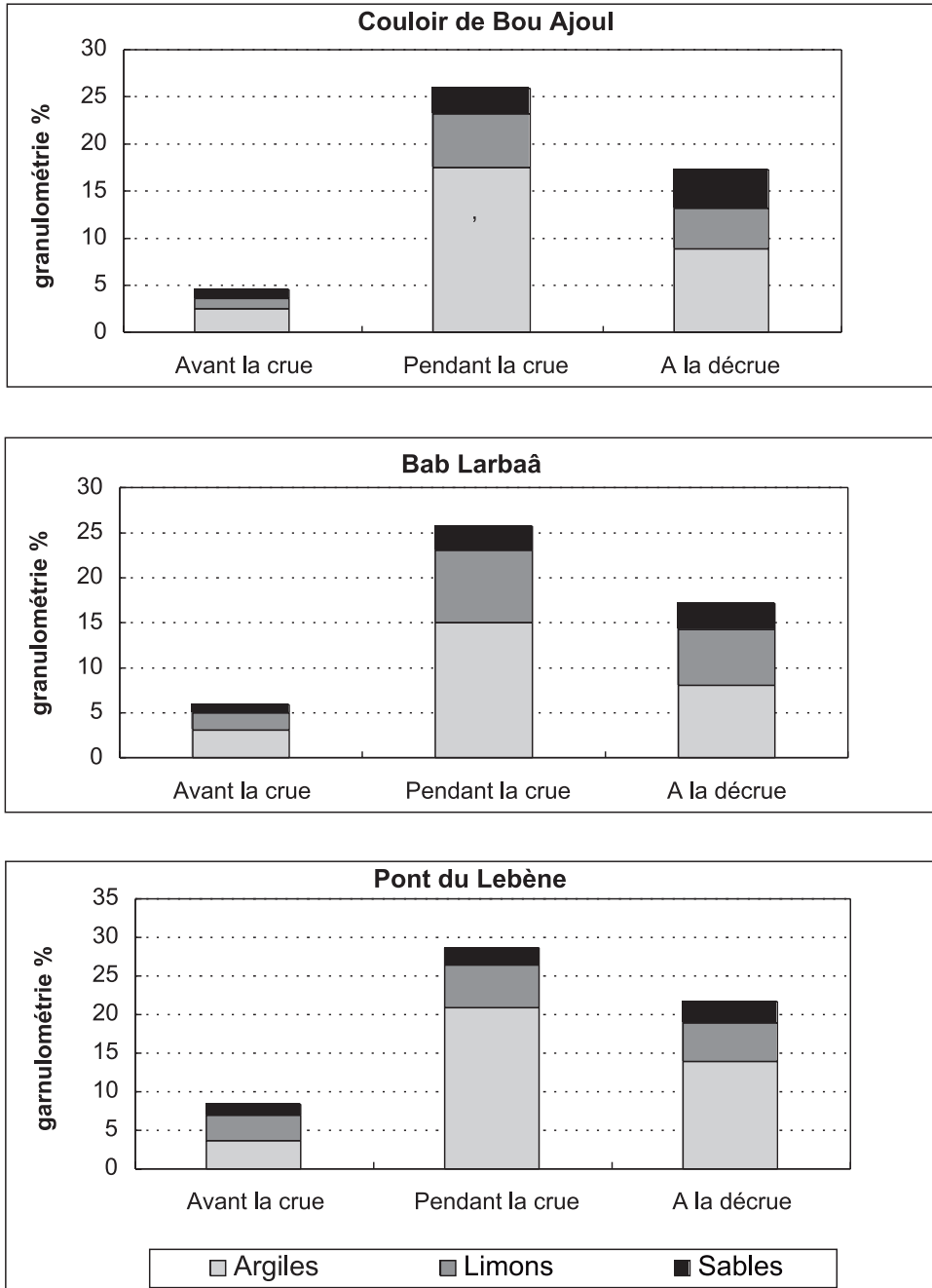


FIGURE 5  
Nature des sédiments et composition granulométrique

Les transports solides varient aussi d'une année à l'autre et au sein d'une même crue. Ces variations dépendent de la vitesse du courant hydrique, de l'irrégularité de la pente du profil en long, de la turbulence des eaux et des forts débits. Les matériaux grossiers sont entraînés lors des périodes de hautes-eaux, tandis que limons, sables et argiles sont entraînés en tous temps.

Quant à l'origine des transports solides, les valeurs du tableau 7 expriment les apports issus des versants, des bad-lands et ceux liés au sapement de berges.

TABLEAU 7  
Bilan de l'érosion et des transports solides au Prérif.

Provenance de l'érosion et des transports	Années			
	Sèche	Normale	Humide	Moyenne
– Versants	0,02	170	20.300	6.823
– Bad-lands	150	3.140	20.900	8.063
– Sapement des berges	74	2.690	67.000	32.521
<b>Total en t / an</b>	<b>224</b>	<b>6.000</b>	<b>109.000</b>	<b>38.408</b>
– Versants	0,01	3	19	7,4
– Bad-lands	67	52	19	46,0
– Sapement des berges	33	45	62	46,6
<b>Total en %</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100,0</b>

Source: B. Heusch, 1970, complété.

Par ailleurs, qu'il s'agisse de la dégradation spécifique, de la turbidité des eaux ou des transports solides, les valeurs sont fortes. La dégradation spécifique n'étant qu'inférieur à 10 t/km<sup>2</sup>/an, soit un total de 224 t/an pour une année sèche; elle dépasse les 3.300 t/km<sup>2</sup>/an pour une année pluvieuse, soit 109.000 t/an.

En effet, pendant les périodes sèches, les forces érosives sont peu efficaces, il n'y a pratiquement d'érosion que dans les bad-lands et dans le lit des oueds. Par contre, lors des années pluvieuses, l'érosion est particulièrement efficace sur les versants et dans le fond des lits fluviaux. Les transports solides représentent le résultat de cette érosion, ils prennent d'autant plus d'importance qu'ils sont, malgré la difficulté de leur mesure, la seule donnée globale qui permet d'apprécier la dynamique des versants et des plaines alluviales.

Toute fois, qu'il s'agisse des transports en solution ou en suspension (Gartet *et al.*, 2001), le bilan provisoire montre la hausse des valeurs moyennes annuelles au Lebène (tableau 8); valeurs fortes en comparaison avec celles des régions voisines.

TABLEAU 8  
 Transports en solution et en suspension au Lebène.

Nature et volume des transports	Années		
	Sèche	Humide	Moyenne
Transports en solution en m <sup>3</sup> / km <sup>2</sup> / an	35,7	4 042	840
Transports solides en m <sup>3</sup> / km <sup>2</sup> / an	0,3	738	875
Totaux en m <sup>3</sup> / km <sup>2</sup> / an	36	4 800	1 715

Source des données: D.R.H.-Fès, complétés.

Les transports en solution constituent 49% du total des matériaux transportés soit 840 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/an: taux relativement proportionnel à celui des transports en suspension qui constituent 51% du total. Cependant, ces moyennes cachent de grandes variations d'une année à l'autre, en particulier durant les périodes extrêmes. Ces valeurs concordent et confortent celles des campagnes de mesures sur des parcelles expérimentales: au Prérif occidental (Heusch, 1970 et 1986; Millies-La Croix *et al.*, 1971; Kalman, 1976; Laouina *et al.*, 1993; Al Karkouri *et al.*, 2000) et d'autres en cours menées par les services d'aménagement des bassins versants relevant des administrations des Eaux et Forêts.

## CONCLUSION

L'actuelle dynamique des oueds de la région prériaire en matière de dégradation spécifique et des transports solides paraît être contrastée, marquée par l'irrégularité des précipitations et des débits, et par la nature différenciée des roches. Cette dynamique est plus ponctuelle agissant surtout sur les roches meubles et s'effectuant par à-coup dans le fond des lits fluviaux. Elle résulte globalement plus faible et plus lente durant l'année, mais forte et brève pendant les événements pluviométriques particuliers et les périodes de haute hydraulicité. Durant celles-ci, les corrélations entre les débits et les précipitations tous comme les transports solides et les débits sont fortes. Le tonnage exporté atteint au Lebène des quantités impressionnantes.

## RÉFÉRENCES

- AL KARKOURI, J., LAOUINA, A., ROOSE, E. et SABIR, M. (2000). Capacité d'infiltration et risques d'érosion des sols dans la vallée des Beni Boufrah, Rif central (Maroc). In *Erosion en montagnes semi-arides et méditerranéennes*, Réseau érosion n° 20-2000, Centre ORSTOM, Montpellier, pp: 342-356.
- CLAUZON, G. et VAUDOUR, J. (1971). Ruissellement, transports solides et transports en solution sur un versant aux environs d'Aix-en-Provence. *Rev. Géogr. phys. Géol. Dyn.* (2), Vol. XIII, fasc. 5, Paris, pp: 489-504.
- CONESA GARCÍA, C. (2002). Estimación del transporte de fondo en cauces efímeros de áreas semiáridas deforestadas (franja costero meridional de la Región de Murcia), en

- A. Pérez González, A., J. Vegas y Manchado, M.J. (Eds.), *Aportaciones a la Geomorfología de España en el inicio del tercer milenio*. IGME (Instituto Geológico y Minero de España). Madrid, pp. 249-260.
- DRH-SEBOU-FÈS (1995). Note sur les crues de l'été 1995 dans le bassin du Sebou. Direction de la Région Hydraulique du Sebou-Fès. Rapport inédit, Fès, 19 p, et cartes hors texte en annexe.
- FOURNIER, F. (1960). Climat et érosion: la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. Édit. P.U.F., Paris, 198 p.
- GARTET, A. (1994). Morphogenèse et hydrologie dans le bassin versant de l'Oued Lebène (Rif méridional et Prérif central et oriental, Maroc). Thèse Doct. Univ. Provence, Aix-en-Provence, 342 p.
- GARTET, A. (1995). Processus et formes de la morphodynamique actuelle dans le bassin versant de l'oued Bou Médine (Prérif central, Maroc). *Étude de Géographie Physique, Travaux n° XXIV*, Aix-en-Provence, pp: 11-18.
- GARTET, A. (1999). Violence des crues de l'Oued Lebène et évolution des lits fluviaux (Prérif central, Maroc) pp: 67-85. In «Risques naturels» (ouvrage collectif sous la direction de P. Gabert et J. Vaudour), Éditions du CTHS, Paris, 157 p.
- GARTET, A. ET GARTET, J. (2003). Crues et inondations de l'Oued Lebène (Prérif central). *Revue Al Misbahia n° 6*, Série Sciences Humaines, Publication de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines Saïs-Fès, pp: 37-63.
- GARTET, A., GARTET, J. ET CONESA GARCÍA, C. (2001). Hydrochimie des eaux, dissolution spécifique et salinité des cours d'eau dans le bassin de l'oued Lebène (Prérif central, Maroc septentrional). *Papeles de Geografía n° 34-2001*, Revue de l'Université de Murcia, pp: 143-161.
- GUIGO, M. (1981). Hydrologie et érosion dans l'Apennin septentrional. Thèse Doct. d'État, Univer. Aix-Marseille II, 2 tomes, Aix-en-Provence.
- HEUSCH, B. (1970). L'érosion dans le Prérif: une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Prérif occidental. *Annales de recherches forestières*, Vol. 12, Rabat, pp: 9-176.
- HEUSCH, B. (1986). Assessment of sediment discharge measurements in the Maghreb countries. *International Symposium on erosion and sedimentation in Arab countries*. I.A.H.S. February, Baghdad, 16 p.
- HEY, R.-D., BATHURST, J.-C. & THORNE, C.-R. (1982). Gravel-bed rivers: fluvial processes, engineering and management. John Wiley and Sons-Interscience publication. New York, 681 p.
- LAHLOU, A. (1986). Envasement des barrages au Maroc. Édit. Wallada, 286 p.
- LAOUINA, A., CHAKER, M., NACIRI, R. & NAFÂA, R. (1993). L'érosion anthropique en pays méditerranéen, le cas du Maroc septentrional. *Bull. Assoc. Géogr. Franç.*, Paris, pp: 384-398.