

**IMPACTS DES ACTIVITES ANTHROPIQUES SUR  
L'EROSION HYDRIQUE ET LA POLLUTION DE L'EAU  
DE SURFACE DANS LE BASSIN VERSANT DU CHELIFF,  
ALGERIE**

**IMPACTS OF HUMAN ACTIVITIES ON WATER EROSION AND  
POLLUTION OF SURFACE WATER IN THE ALGERIAN  
CHELIFF WATERSHED**

**Samra HARKAT.** Centre universitaire de Khemis Miliana, Ain Defla, Algérie  
[sehb\\_khemis05@yahoo.fr](mailto:sehb_khemis05@yahoo.fr)

**Mourad ARABI.** Station INRF de recherche, Médéa, Algérie

**Safia TALEB.** Université de Sidi-Bel Abbès, Algérie

**RESUME :** Le bassin versant du Chélif, avec 56 227 km<sup>2</sup> de superficie et 700 km de cours d'eau, représente l'essentiel des ressources en eau dans la région ouest algérienne. Il constitue un enjeu majeur pour le développement agricole. Cependant, la surexploitation des ressources naturelles et l'usage de produits phytosanitaires pour intensifier l'agriculture ont contribué à l'envasement des barrages et à la détérioration de la qualité de l'eau. Cet étude tente de mettre en évidence les effets anthropiques sur la dégradation du milieu en s'appuyant sur les données hydrométéorologiques et la chimie des eaux (1989-2007). L'analyse hydrologique a montré que l'érosion spécifique à l'échelle mensuelle diffère sensiblement dans les sous bassins versants : 15,95 t/ha/an pour Cheliff Harraza à 13,44 t/ha/an pour Chélif Harbil. Les orages d'automne provoquent plus de 25% du transport solide annuel. Le coefficient d'écoulement est très élevé : 83,2% (Chélif Harraza), 52,7% (Chélif Ghrib) et 59% (Chélif Harbil). Cette différence s'explique par la lithologie (schistes, marnes et argiles) et l'occupation des sols (diminution du couvert végétal, ...). La qualité de l'eau du barrage Ghrib s'est détériorée à partir de 2005 suite aux rejets annuels des eaux usées urbaines (2,366 hm<sup>3</sup>), et industrielles (0,035 hm<sup>3</sup>) et au processus d'eutrophisation. L'augmentation des teneurs en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> est provoquée par l'oxydation de la matière organique azotée. La dégradation de la qualité physico-chimique des eaux du barrage Deurdeur suite à un apport d'eaux minéralisées (R.S élevé) est due au lessivage des formations géologiques parcourues, contrairement à celle des eaux du barrage de Harraza, bonnes jusqu'à 2005, puis moyennes entre 2005-2008. Ceci est dû aux apports externes et au phénomène de brassage saisonnier.

**Mots-clés :** Algérie, Bassin versant du Cheliff, Erosion Spécifique, Transport solide, Qualité des eaux de surface.

**ABSTRACT:** The Cheliff watershed, with 56 227 km<sup>2</sup> and 700 km of length, accounts for most of the water resources in Western Algeria. It is thus a major challenge for agricultural development. However, overexploitation of natural resources and the use of pesticides to intensify agriculture have contributed to the silting of dams and deterioration of water quality. This study attempts to highlight the human impacts of environmental degradation based on the hydro-meteorological data and water chemistry (1989-2007). The hydrological analysis showed that the values of specific erosion at the monthly scale are slightly different for the sub-watersheds: 15.95 t/ha/year at Cheliff Harraza, to 13.44 t/ha/year for Cheliff Harbil. Winter storms cause more than 25% of the annual sediment transport. The flow rate is very high: 83.2% (Cheliff Harraza), 52.7% (Cheliff Ghrib) and 59% (Cheliff Harbil). This difference is explained by the lithology (shale, marl and clay) and the land use (low vegetation cover, ...). The water quality of the dam Ghrib has been deteriorating since 2005 due to annual waste water discharges from urban areas (2.366 hm<sup>3</sup>) and industrial areas (0.035 hm<sup>3</sup>) and to the eutrophication process. The increased levels of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and NO<sub>2</sub><sup>-</sup> is caused by the oxydation of nitrogenous organic matter. The deterioration of the physical and chemical quality of water of the Deurder dam over time by a contribution of mineralized waters (high RS) is due to leaching of geological formations crossed, contrary to the quality of the Harraza dam water which are good since 2005, then of average quality during 2005-2008. This is due to external inputs and the phenomenon of seasonal mixing.

**Keywords:** Algeria, Cheliff Watershed, Specific erosion, Sediment transport, Quality of surface water.

## INTRODUCTION

Le bassin hydrographique Chélif-Zahrez couvre une superficie d'environ 56227 km<sup>2</sup>, soit le quart de la superficie de l'Algérie du Nord. Avec plus de 700 km de long, le Chélif est le plus grand cours d'eau d'Algérie. Il représente l'essentiel des ressources en eau dans la région ouest. La plupart de ses eaux proviennent des montagnes bien arrosées dans sa partie amont et participent ensuite à l'alimentation des nappes phréatiques dans sa partie aval. L'écoulement du fleuve est caractérisé par de longues périodes sèches interrompues par de courtes périodes de crues parfois très violentes, ce qui a mené à la construction d'un barrage de rétention au début des années soixante à Boughezoul dans la wilaya de

Médéa (Achour, 1997 ; Arabi, 2006). De par son importance, il constitue un enjeu majeur pour le développement agricole dans la région.

A partir de 2000, la région connaît un essor économique remarquable soutenu par des politiques incitatives de maintien de la population pour limiter l'exode rural, de développement agricole, d'urbanisation accélérée, de construction de routes et de multiplication de projets industriels. Tous ces efforts, peu ou mal encadrés par des stratégies environnementales de développement durable ont eu des impacts dommageables sur l'environnement : déforestation des hauts de versants, surpâturage, mise en valeur des terres sur les fortes pentes, usage d'une fertilisation minérale excessive pour intensifier l'agriculture, rejet d'effluents agricoles et industriels directement dans les cours d'eau sans traitement préalable, extension anarchique du tissu urbain, etc.... Aujourd'hui des problèmes aigus d'érosion hydrique et de pollution des eaux sont apparus. Ainsi, le système naturel de l'oued a subi d'importantes modifications anthropiques qui s'expriment par une forte torrencialité en saison humide provoquant ravinement et glissements de terrains, inondations, divagation du lit, avec d'importants transferts de sédiments vers les barrages. Outre, les dépôts de sédiments, la qualité de l'eau dans les barrages s'est détériorée. Pour mieux comprendre les processus érosifs et la vulnérabilité du milieu, l'étude est focalisée sur l'analyse des données hydrologiques et de la composition chimique des matières dissoutes des eaux de surface (nitrate, azote et phosphore) dans les cinq plus importants sous-bassins du Chélif : Harbil, Ebda, Ghrib, Deurder et Harraza ; les trois derniers sont équipés en barrages hydrauliques. Les travaux s'appuient sur les réseaux de mesures et d'observations des services de l'hydraulique (ANRH) et de l'Office National de la Météorologie (ONM). L'objectif final est d'aider à la mise en place d'un programme de gestion conservatoire de ces ressources et de traitement des eaux par station d'épuration en amont des barrages.

## **PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

Située à 100 km au Sud-Ouest d'Alger, sur une superficie de 44 500 km<sup>2</sup> (Fig.1), la région d'étude correspond à la haute vallée du bassin versant du Chélif, entre la longitude 2°82' Est et 1°58' Ouest et la latitude 35°52' Sud et 36°16' Nord où cinq sous bassins versants y sont étudiés : Ghrib, Harbil, Deurder, Harraza et Ebda. Le climat est semi-aride méditerranéen, avec une saison froide et pluvieuse à laquelle succède une saison chaude et sèche. Les pluies sont très irrégulièrement réparties, violentes en automne et plus abondantes au printemps. Arabi (1991) a montré que l'indice d'érosivité RUSA est modeste ne dépassant pas 55 unités USA. Ce résultat

est voisin de ceux de Heusch (1970) au Maroc et de Cormary et Masson (1964) en Tunisie.

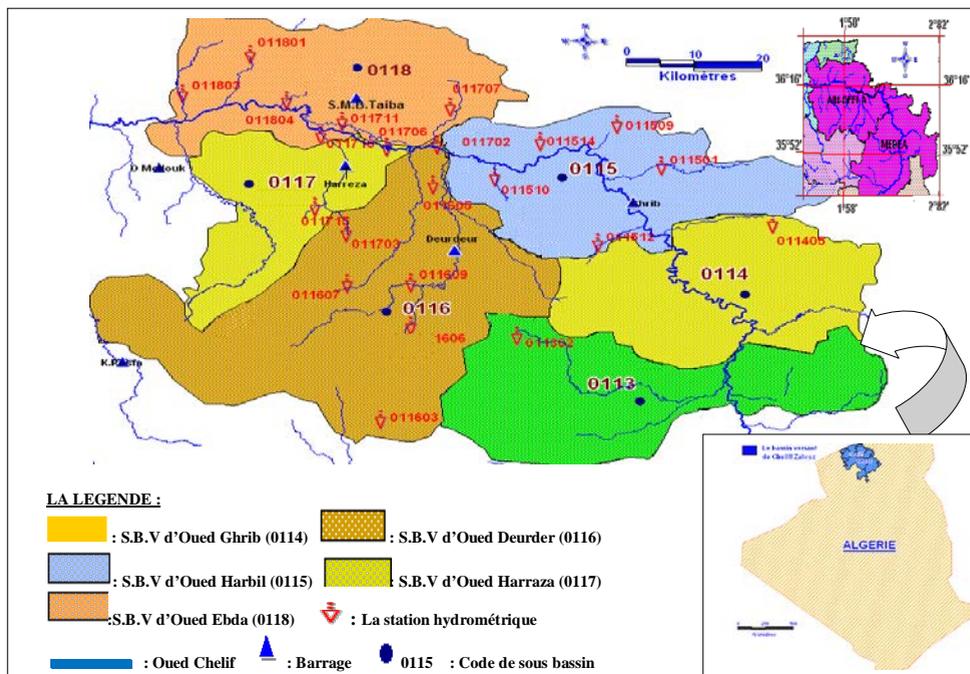
Le paysage présente une succession de plateaux où alternent des couches marneuses miocènes et des bancs de grès pliocènes. La topographie est accidentée donnant lieu à des pentes raides (10 à 40 %) et de longs versants mamelonnés fortement entaillés à la base. Les sols sont argilo-limoneux sur marnes (vertisols) et sablo-limoneux sur grès-calcaires (sols rouges fersiallitiques, sols bruns calcaires vertiques et colluvions). Ils sont souvent pauvres en matière organique (MO) et carencés en phosphore assimilable. Les vertisols sont résistants à l'érosion en nappe ( $K_{usle} = 0,1$  à  $0,2$ ) mais donnent lieu à beaucoup de ruissellement en période humide (ravinelements et glissements de terrain fréquents). Les sols rouges fersiallitiques, et bruns calcaires et colluviaux plus sableux sont plus sensibles à l'érosion en nappe ( $K_{usle} = 0,2$  à  $0,4$ ) comme tous les sols pauvres en matières organiques et riches en limons et sables fins peu structurants. Leur capacité d'infiltration est moyenne (10 à 30 mm/h) sur sols secs cultivés, à très faible après une averse ( $K = 3$  à  $0,3$  mm/h). Surpâturés ou défrichés et peu travaillés, ces sols donnent lieu à un ruissellement abondant surtout en hiver et au printemps, une fois le sol réhumecté. Arabi et Roose (1993) ont montré que les croûtes de battance sont très fréquentes mais se fendillent après 3 à 6 jours de soleil. Le couvert forestier régresse continûment. Chaque année 2000 à 3000 ha de forêts sont consommés soit 1/10 de la moyenne nationale (DGF, 2009) ; par contre les cultures à forte valeur ajoutée progressent. Les surfaces en vignoble et verger ont augmenté au rythme de 5% à 10% chaque année. Les céréales restent discrètes et leur rendement médiocre (8 à 12 qx/ha). Les pratiques culturales sont limitées : un labour profond (20 à 25 cm) pour contrôler les adventices à l'automne et (ou) au printemps, suivi d'un binage pour enfouir les engrais (N33, P45, K90) et briser les grosses mottes. Après la récolte, les troupeaux migrant des zones steppiques viennent pâturer les résidus de culture. Le fumier disponible amende les terres irrigables. De nombreuses implantations industrielles (tanneries, industries pharmaceutiques, laiterie, brasserie) et de services (autoroute, stations d'entretiens voitures) ont vu le jour autour des grandes agglomérations en amont des barrages (Harkat, 2010).

## METHODOLOGIE

L'étude est développée en se basant sur les données collectées auprès de l'ANRH durant la période 1989/1990 à 2006/2007. Chaque sous-bassin est équipé d'appareils de mesure de la pluviométrie, de la limnimétrie et du transport solide (seuil jaugeur). Les sédiments sont récupérés dans une

fosse à sédiments, laquelle est ensuite vidée et récurée après chaque crue. Les dépôts sont séchés à l'air libre pour être ensuite pesés et analysés. Le service hydrologique de l'ANRH traite systématiquement toutes les crues sortant des bassins versants.

De nombreuses stations pluviométriques en particulier celles qui couvrent l'immensité du sous-bassin versant de l'oued Chélif Ghibl sont hors service (tableau 1).



**Fig. 1.** Situation géographique de la zone d'étude

Les données des couples « débits liquides - débits solides » (tableau 2) ont été traitées sur différentes échelles : intrannuelle, interannuelle, saisonnière. La régression entre débits liquides et débits solides s'avère nécessaire pour déterminer les modèles appropriés pour la quantification du transport solide pour chaque sous bassin versant.

Afin de déterminer l'impact anthropique sur le ruissellement et l'érosion, il est nécessaire d'étudier le comportement des sous bassins. Une analyse en composantes principales (ACP) est effectuée mettant en jeu 7 variables explicatives : surface  $S$  (Ha) ; indice de forme  $Kc$ , densité de drainage  $Dd$  ( $\text{km}^2/\text{km}$ ) ; pente  $Im$  (%) ; pluie  $P$  (mm) ; lame d'eau ruisselée  $Lr$  (mm) et le coefficient d'écoulement  $Ce$  (%), à savoir une seule variable à expliquer l'érosion spécifique ( $Es$ ) en (t/ha).

**Tableau 1.** Identification des stations pluviométriques

S/bassin versants	code	Stations	X Km	Y Km	Z m	P <sub>0</sub> mm
Oued Chélif Ghrib	011405	Barrage Ghrib	487	318	460	29,6
Oued Chélif Harbil	011501	Tamazguida	497	324	490	154
	011509	Secteur Médéa	505	330	935	594
	011510	(Ferroukhi)	467	322	313	374
	011512	Ain sultane Pépinière	460	320	307	402
	011514	Djenane ben Ouadhah	476	325	320	243
Oued Deurder	011603	Bordj Emir AEK	461	285	1080	424
	011605	Teniet El Had	460	295	1160	516
	011606	Sidi Mokhrifi	462	289	447	330
	011607	Tarik Ibn Ziad	254	275	650	371
	011609	Barrage Deurder	459	300	575	346
Oued Cheliff Harraza	011702	Arib Cheliff	440	333	230	382
	011703	Bordj Emir Khaled	456	314	370	307
	011706	Khemis-ITGC	459	328	285	371
	011707	Miliana	451	339	715	594
	011711	Sidi Lakhdar	452	330	250	363
	011715	El Ababsa	444	318	320	332
	011718	Barrage Herraza	445	321	312	288
Oued Ebda	011801	Arib Ebda	440	326	282	431
	011803	Sidi Moudjahid	447	331	850	570
	011804	Ain Defla	329	319	270	370

Source : A.N.R.H, 2008

De même, la qualité des ressources en eaux superficielles du bassin étudié a été évaluée grâce à un ensemble de paramètres physico-chimiques conformément à la réglementation algérienne en vigueur, toutes ces données sont recueillies au niveau de l'A.N.R.H régionale de Blida.

Une fiche de synthèse est établie (Harkat, 2010) afin de comparer la qualité des eaux des trois barrages (Barrage Ghrib, Deurder et Herraza). Elle résume l'évolution annuelle de la qualité pour une période s'étalant de 2005 à 2008.

Les principaux facteurs de pollution étudiés sont la salinité ; la conductivité électrique et salinité totale ou (RS) ; la sodicité : sodium échangeable, cations et anions ; la toxicité, Nitrates, Nitrites ; le pH et température, matière en suspension (MES) ; la DCO, DBO<sub>5</sub>, O<sub>2</sub> ; et les sels nutritifs : Azote, Phosphore.

**Tableau 2.** Période de fonctionnement et nombre d'observations

Echelle	Ghrib	Tamazguida	Deurder	Arib	Arib
Totalité des valeurs	463	1276	1128	1366	1396
1989/1990	96	19	47	30	18
1990/1991	55	87	66	33	122
1991/1992	72	66	49	79	102
1992/1993	142	5	105	67	128
1993/1994	75	89	114	75	38
1994/1995	23	67	107	40	85
1995/1996	nd	118	46	110	76
1996/1997	nd	108	67	69	53
1997/1998	nd	74	90	41	131
1998/1999	nd	78	55	nd	93
1999/2000	nd	52	60	78	59
2000/2001	nd	25	93	16	167
2001/2002	nd	105	92	43	103
2002/2003	nd	92	56	101	93
2003/2004	nd	110	47	288	71
2004/2005	nd	112	34	137	35
2005/2006	nd	46	nd	71	22
2006/2007	nd	23	nd	88	nd
Septembre	109	87	99	93	111
Octobre	54	213	226	209	89
Novembre	38	81	108	90	179
Décembre	19	98	81	209	133
Janvier	25	224	102	96	218
Février	27	206	61	104	203
Mars	33	85	204	203	178
Avril	34	92	72	126	120
Mai	75	104	80	100	115
Juin	32	46	49	75	17
Juillet	15	26	29	45	22
Août	2	14	17	16	11

(nd : pas de données)

Source : A.N.R.H, 2008

## LES DONNÉES

### Morphométrie

Les caractéristiques morphométriques (tableau 3) influent fortement sur l'hydrologie du bassin versant et jouent un rôle essentiel dans la répartition des eaux à son échelle. Il est à noter que les deux sous bassins versants 011715 à 011718 sont de taille similaire.

**Tableau 3.** Caractéristiques morphométriques des sous bassins

Sous bassin/ Oued Chélif	Unité	Ghrib	Harbil	Deurder	Harraza	Ebda
Superficie	km <sup>2</sup>	1383	767	857	744	680
Périmètre	km	176	168	185	142	141
Indice de compacité	Kc	1,3	1,7	1,8	1,5	1,5
Pente globale	m/km	17,7	19,4	15	23,9	23,7
Densité de drainage	m/km <sup>2</sup>	657	619	568	651	415
Altitude minimale	m	200	320	447	230	270
Altitude moyenne	m	460	630	805	470	560
Altitude maximale	m	720	940	1160	715	850
Longueur équivalente	km	58	73,5	68,7	82,4	59
Largeur équivalente	km	20,3	10,4	10,4	12,6	11,5

Source : ANRH, 2008

### Pluviométrie

L'extension des séries pluviométriques sur une période d'observations de 17 années des stations étudiées (tableau 1) a permis la détermination des différentes caractéristiques (moyenne, écart type et coefficient de variation) d'un échantillon, et la précipitation moyenne annuelle. Celle-ci est estimée à 393 mm. Cette valeur est très proche de la précipitation moyenne annuelle observée à la station d'Arib. Ceci, a permis de prendre cette dernière comme représentative du bassin versant. Les stations les plus pluvieuses sont celles des bassins versants de Harbil et Harraza où le coefficient d'abattement est égal à 1,51, valeur maximale. Au vu du tableau 4, l'altitude influe légèrement sur les précipitations avec « r<sub>Z</sub> » égal 0,53 comme cela a pu être montré par d'autres auteurs : Heusch au Maroc (1970) et Gomer en Algérie (1994).

**Tableau 4.** Relation pluie moyenne inter annuelle "P<sub>0</sub>"- Altitude.

$r_X$	$r_Y$	$r_Z$
0,07	0,11	0,53

Où :  $r_X, r_Y, r_Z$  : coefficients de corrélation partielle respectivement selon les axes X,Y,Z

L'analyse statistique des précipitations est réalisée à l'échelle annuelle, mensuelle et journalière. Elle porte sur les stations encore opérationnelles. Les stations des sous bassins versants des oueds Cheliff Harraza et Ebda sont concernées par l'ajustement du fait de leur proximité de la zone des marnes sujette aux glissements de terrain qui affectent les barrages. Les précipitations à l'échelle mensuelle s'ajustent bien à la loi Log normale (Tableau 5).

**Tableau 5.** Précipitations maximales journalières pour différentes périodes de retour

Période de retour (an)/	Equation de Galton	10	25	50	100
Oued Cheliff Ghrib	$\text{Log } X_{p\%} = 1.42 + 0.71$	203	5139	793	1250
Oued Cheliff Harbil	$\text{Log } X_{p\%} = 2,04 + 0.44$	413	606	796	1231
Oued Deurder	$\text{Log } X_{p\%} = 2,14 + 0.31$	365	509	605	796
Oued Cheliff Harraza	$\text{Log } X_{p\%} = 2,24 + 0.35$	505	799	1013	1254
Oued Ebda	$\text{Log } X_{p\%} = 1.93 + 0.51$	400	643	1000	1259

## Hydrométrie

La collecte et la mise en forme des données, constitue la phase initiale de toute étude statistique. Cette étape est très importante car la fiabilité de tout modèle est liée à la qualité des données collectées (Tableau 6).

**Tableau 6.** Données disponibles par station hydrométrique

Sous bassin versant de /Stations	Données disponibles :	valeurs
Ghrib /Station de Ghrib		463
Tamazguida /Station de Harbil	Débits liquides instantanés (l/ s)	1276
Deurder /Station de Deurder	Concentration C en (g/l).	1128
Arib Cheliff/Station de Harraza	Débits solides instantanés (kg /s)	1366
Arib Ebda / station d'Ebda	Débits moyens journaliers (l/s)	1396

Source : ANRH, 2008

Les données des couples débits liquides-débits solides ont été traitées à différentes échelles : intrannuelle, interannuelle, saisonnière. La régression entre débits liquides et débits solides s'avère nécessaire pour déterminer les modèles appropriés pour la quantification du transport solide pour chaque sous bassin versant.

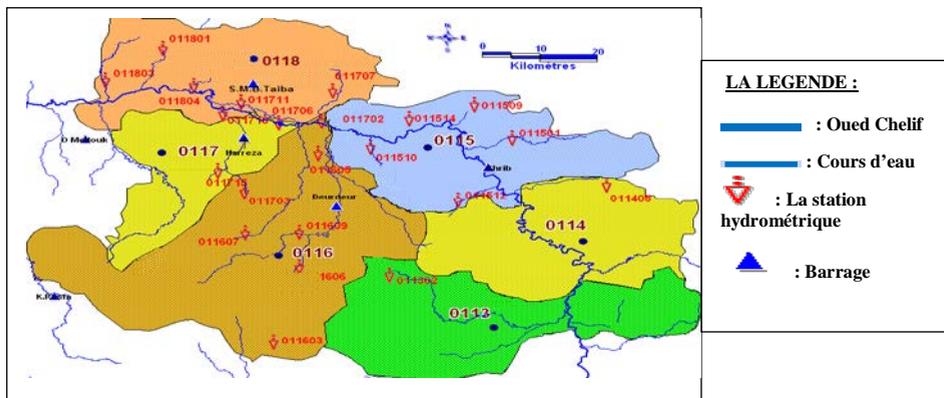


Fig. 2. Stations hydrométriques de la zone d'étude

## TRAITEMENT DES DONNÉES HYDROLOGIQUES

### Caractéristiques de l'écoulement

A partir de la lame d'eau écoulee moyenne interannuelle ( $L_e$ ) et de la lame précipitée moyenne interannuelle ( $P_0$ ), le coefficient d'écoulement moyen interannuel ( $C_e$ ) a été déterminé pour les sous bassins (Tableau 7).

Tableau 7. Caractéristiques de l'écoulement

SBV/ Oued Chélif	$Q_{min}$	$Q_{max}$	$Q_{mov}$	Apport	$M_0$	$L_0$	$C_e$
	$m^3/s$	$m^3/s$	$m^3/s$	$Mm^3$	$l/s/km^2$	mm	%
Ghrib	12,6	382	48,9	128	35,3	92,5	21,5
Harbil	8,49	273	37,8	109	49,3	141	<b>40,0</b>
Deurder	1,25	192	8,65	22,8	10,1	26,6	6,69
Herraza	5,39	306	33,6	87,7	28,9	117	<b>31,3</b>
Ebda	3,96	205	18,8	49,2	28,1	72,2	15,8

Les deux sous bassins versants Oued Cheliff Herraza et Oued Chélif Harbil sont sensibles à l'érosion hydrique au vu du coefficient d'écoulement respectivement égal à 31,3 et 40%.

### Le Modèle régressif

Cinq modèles régressifs ont été testés pour rechercher une relation fonctionnelle entre débit solide et débit liquide.

**Tableau 8.** Modèle régressif et valeurs de  $R^2$  à différentes échelles temporelles

Échelle Temporelle	Modèle	Ghrib	Tamazgouda	Deurder	Arib Chélif	Arib Ebd
Relations Interannuelles	linéaire	0,26	0,40	0,46	0,57	0,55
	logarithmique	<b>0,45</b>	<b>0,46</b>	<b>0,59</b>	<b>0,62</b>	<b>0,66</b>
	parabolique	0,36	0,33	0,28	0,51	0,25
	puissance	0,41	0,39	0,33	0,46	0,38
	exponentiel	0,13	0,20	0,32	0,35	0,27
A l'échelle annuelle	Le modèle logarithmique est le plus performant					
A l'échelle	Le modèle logarithmique est le plus performant					

Il en découle que le modèle logarithmique (tableau 8) reste le plus adapté à la relation débit solide-débit liquide quelque soit l'échelle spatiale considérée.

### Transport Solide

Les calculs correspondants de l'apport solide moyen interannuel et de l'érosion spécifique moyenne interannuelle donnent une idée sur l'importance du transport solide et sur l'état de dégradation du sol dans le bassin (Laborde, 1986) (Tableau 9).

**Tableau 9.** Transport solide en suspension, total et érosion spécifique

S/bassins versants	Transport solide en suspension tonnes	Transport solide total tonnes	Erosion spécifique t/ha.an
Ghrib	9 587	11 504	12,37
Harbil	12 236	14 683	<b>28,48</b>
Deurder	4 170	5 004	8,68
Harraza	10 043	12 052	<b>24,11</b>
Ebda	5 433	6 520	14,26

Une variation importante de l'érosion spécifique entre les différents sites apparaît, pouvant être expliquée par la différence lithologique des sous-bassins. En effet, les plus érodés sont ceux de Harbil et Harraza, situés sur des marnes sensibles au ravinement et aux glissements confirmant ainsi les fortes lames de ruissellement (tableau 3).

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

### Quantification des apports solides et de l'érosion spécifique par les modèles statistiques

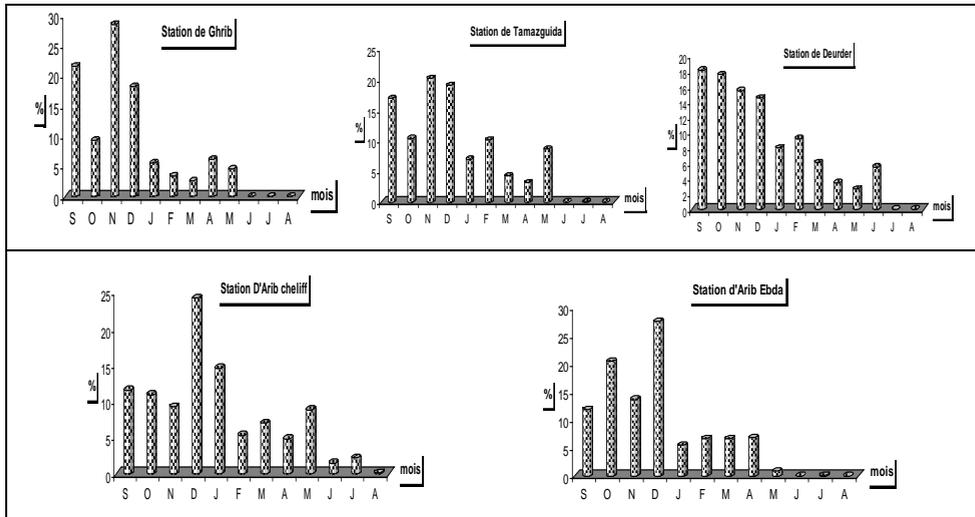
Les valeurs de l'érosion spécifique à l'échelle mensuelle, annuelle et interannuelle sont légèrement différentes pour les sous bassins versants, ceci est typique pour le climat méditerranéen. Cette variation (tableau 10) peut être expliquée par la variabilité des pluies, l'alternance de roches tendres argileuses et de roches dures, la différence des longueurs et de forme des pentes des talwegs, leurs longueurs équivalentes (tableau 3) et par le mode d'exploitation extensif des terres plus présents dans certains bassins versants.

**Tableau 10.** Apports solides transportés et l'érosion spécifique

Stations hydrométriques	Ghrib	Tamazgui	Deurdeur	Arib Chélif	Arib	
SBV (Oued Chélif )	Ghrib	Harbil	Deurdeur	Harraza	Ebda	
Echelle annuelle	As (t/an)	6810	<b>8 780</b>	2 826	<b>9 448</b>	5 618
	Es (t/ha/an)	4,92	<b>11,4</b>	3,95	<b>12,6</b>	8,26
Echelle mensuelle	As (t/an)	9587	<b>12 236</b>	4 170	<b>10 043</b>	5 433
	Es (t/ha/an)	6,93	<b>15,9</b>	4,86	<b>13,4</b>	9,36

### Evolution temporelle du transport solide

La fluctuation interannuelle de la quantité de sédiments par mois et sa répartition intra-annuelle et interannuelle pour la même période d'observation est exprimée en % sur la Figure 3. Les averses d'automne provoquent plus de 25% du transport solide annuel pour l'ensemble des seuils de mesure. Cette forte variation est due à la variabilité du débit liquide. Celle-ci provoque une forte érosion elle-même, provoquée par des défrichements et incendies de forêts après une période sèche. La station de Ghrib présente un taux assez élevé pendant le mois de novembre. Cette variation est due au phénomène de lessivage provoqué par les pluies d'automne et par les fortes crues d'hiver.



**Fig. 3.** Evolution temporelle du pourcentage mensuel du transport solide

**Quantification de l'érosion spécifique par des formules empiriques**

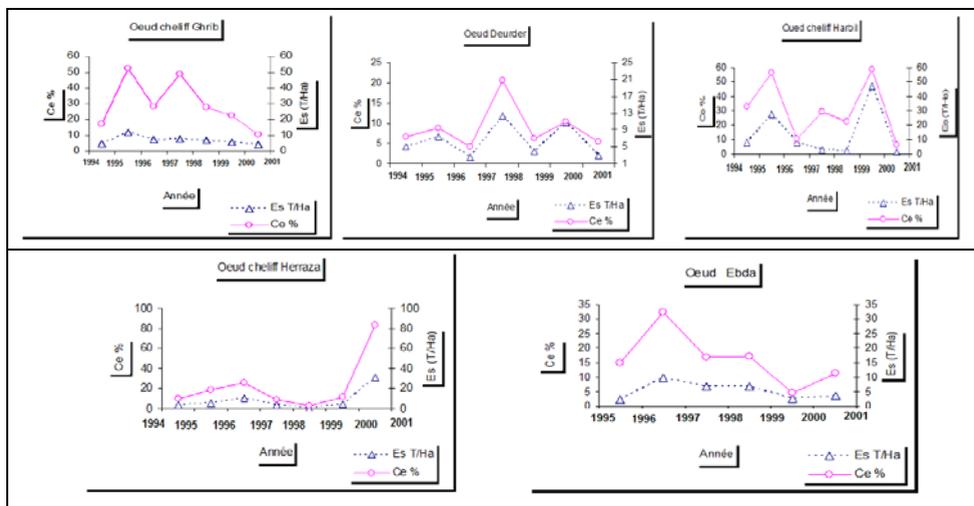
Les valeurs de l'érosion spécifique trouvées par la formule de (Zeggane, 2005) sont plus proches des valeurs réelles déterminées par les modèles statistiques ; par contre la formule de Tixeront surestime les valeurs (Tableau 11). Ainsi, l'érosion calculée pour le sous-bassin versant de l'oued Cheliff Harraza par les formules empiriques est égale 13,4 t/ha.an, elle est proche de la valeur calculée par la formule de Zeggane (12,9 t/ha.an) alors qu'elle est surestimée par la formule de Tixeront (20 t/ha.an).

**Tableau 11.** Estimation de l'érosion spécifique par des formules empiriques

Sous bassin versant (formules)	Ghib	Harbil	Deurder	Harraza	Ebda
Tixeront	6,10	19,7	2,30	20,0	13,3
Zeggane $Es=f(Dd, Cv)$	5,30	<b>13,6</b>	2,50	<b>12,9</b>	9,30
Modèles statistiques $Es=f(As, S)$	6,93	<b>15,9</b>	4,86	<b>13,4</b>	9,30

### L'érosion spécifique annuelle « Es » et le coefficient d'écoulement « Ce »

Les coefficients d'écoulement ont fortement augmenté durant la dernière décennie sur tous les sous-bassins versants ; les valeurs calculées du coefficient d'écoulement moyen interannuel (pour différents sous bassins versants) montrent que la fluctuation interannuelle comparativement à l'érosion spécifique est très significative. Pour l'ensemble des stations, le coefficient d'écoulement est très important dans le sous-bassin de l'oued Cheliff Harraza 83.2 %, de l'oued Chélif Ghrif 52.7% et de l'oued Chélif Harbil 59%. Harkat (2010) a montré que cette différence est expliquée par la lithologie des sous bassins versants laquelle influe sur la densité de drainage (657 m/km<sup>2</sup> sur l'oued Cheliff Ghrif, 619 m/km<sup>2</sup> sur l'oued Chélif Harraza et 651 m/km<sup>2</sup> sur l'oued Chélif Harbil).



**Fig. 4.** Variation inter-annuelle du coefficient d'écoulement et de l'érosion spécifique annuelle

### Erosion spécifique annuelle « E<sub>S</sub> » et les variables explicatives « ACP »

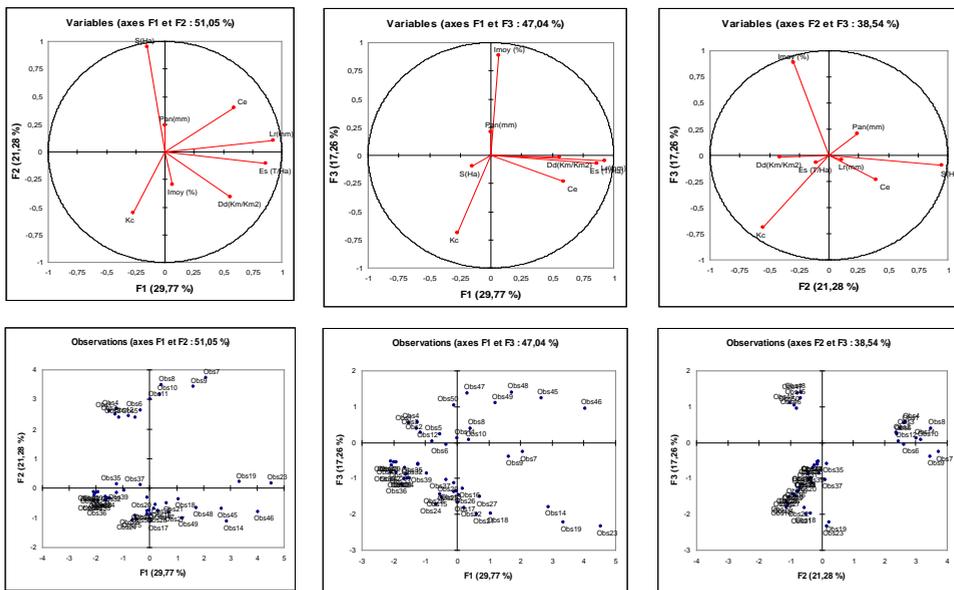
L'érosion spécifique est expliquée par la lame d'eau ruisselée, la densité de drainage et le coefficient d'écoulement avec des coefficients de corrélation respectifs de 0.83, 0.32 et 0.34, sauf pour la pente moyenne ayant un très faible coefficient de corrélation de 0,06 (Tableau 11).

La projection des variables sur le plan (1-2) a permis de montrer que la surface et l'indice de compacité se trouvent dans le côté négatif du premier axe ; par contre, sur le côté positif, on trouve Lr, Ce, Dd, Es (Fig 5). Il y a une relation inversement proportionnelle, lorsque la surface diminue,

l'érosion spécifique et la lame d'eau ruisselée augmentent. Par ailleurs, concernant la relation étroite entre la densité de drainage et l'érosion spécifique, la proportionnalité est à noter.

**Tableau 11.** Matrice de corrélation

Variable	S	I	Kc	Pan	Lr	Dd	Ce	Es
S	1							
Imoy	-0,40	1						
Kc	-0,47	-0,37	1					
Pan	0,08	0,02	-0,10	1				
Lr	-0,01	0,00	-0,23	-0,00	1			
d	-0,43	-0,06	-0,12	-0,04	0,36	1		
Ce	0,18	-0,15	-0,14	0,04	0,49	0,11	1	
Es	-0,18	<b>0,06</b>	-0,04	-0,01	<b>0,83</b>	<b>0,32</b>	<b>0,34</b>	1



**Fig. 5.** Cercle de corrélation (Plans- Variables) ; Cercle de corrélation (Plans-individus)

**Le transport solide et la pollution des eaux de surface**

Il y a une hétérogénéité dans les résultats : le degré de dégradation de la qualité des eaux varie d'un barrage à un autre. La plupart des valeurs enregistrées par l'ANRH sont analysées par rapport aux valeurs guides

internationales de l'OMS et au Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau (SEQ-Eau) (eaux destinées à l'AEP et à l'irrigation).

L'azote dans l'eau sous forme de nitrates et surtout de nitrites est un polluant qui favorise l'eutrophisation secondaire et affecte la santé humaine. Cependant, les concentrations trouvées sont moyennes. Le phosphore, élément limitant de la croissance des plantes, est le principal facteur de l'eutrophisation et de la détérioration de la qualité des eaux. Reguig (2002) a montré que de très faibles teneurs en phosphore (quelques dizaines de mg/l, peuvent constituer un polluant dangereux.

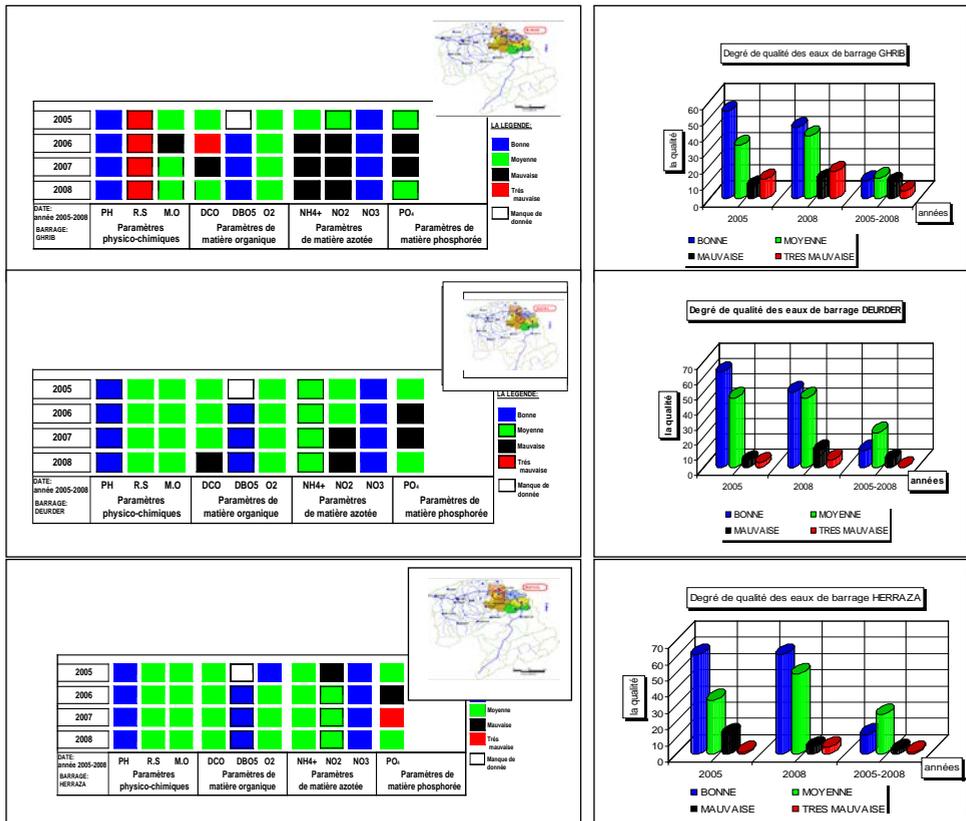
Les paramètres de pollution les plus significatifs sont les matières organiques représentées par DCO, O<sub>2</sub>%, DBO<sub>5</sub>. Elles sont très importantes et montrent ainsi une dégradation chronologique de la qualité des eaux des barrages. De même le transport solide augmente la turbidité et accélèrent l'envasement des barrages. Les principaux polluants de l'eau sont les eaux usées et autres déchets consommateurs d'oxygène (essentiellement les substances organiques dont la décomposition entraîne l'épuisement de l'oxygène), les déversements des établissements industriels, les engrais, les produits chimiques organiques, les sédiments composés de particules minérales extraites du sol. Les résidus issus des engrais s'infiltrent à travers le sol et contaminent les nappes phréatiques et les cours d'eau par ruissellement.

L'ordre de classement du degré de pollution des barrages (Fig 6) établi par Harkat (2010) sur la base des fiches de synthèses de 2005 à 2008 est le suivant : Barrage Harraza > Barrage Deurder > Barrage Ghib

Les eaux du barrage Ghib : la qualité de l'eau du barrage (Fig 6) était moyenne pour l'année 2005, elle est devenue très mauvaise en 2008. Une sédimentation accrue représentée par le paramètre RS est observée. L'origine de cette pollution est diverse : elle est due d'une part aux rejets des eaux usées urbaines (2,366 Hm<sup>3</sup>/an) chargées en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, et industrielles (0,035 Hm<sup>3</sup>/an) et d'autre part au processus d'eutrophisation. L'augmentation des teneurs en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et NO<sub>2</sub><sup>-</sup> est provoquée par les réactions red-ox de la matière organique azotée, et à un déficit en oxygène du à la charge des matières oxydables. On remarque aussi une minéralisation élevée, traduite par la salinité importante (résidu sec est supérieur à 2400 mg/l).

Les eaux du barrage Deurder : la dégradation de la qualité de ces eaux (Fig 6) au cours du temps est due au lessivage des formations géologiques parcourues (la turbidité, teneur de résidu sec, et de matière organique élevée, aussi NH<sub>4</sub><sup>+</sup> élevé).

Les eaux du barrage de Harraza: ces eaux (Fig 6) présentent une dégradation exprimée en MES et en matières organiques (MO). La teneur en DCO est élevée. La qualité de ces eaux est bonne jusqu'à 2005 puis devient moyenne entre 2005-2008. Ceci est dû aux apports externes comme les rejets industriels et la décomposition de la matière végétale et animale dans le bassin versant, ces derniers conduisent à un apport de matière organique entraînant un déficit en oxygène des eaux ce qui engendre le phénomène d'eutrophisation des barrages.



**Fig. 6.** Qualité des eaux de surface des barrages de 2005 à 2008

**CONCLUSION**

L'analyse a mis en évidence l'évolution de l'impact des activités anthropiques sur l'érosion. Elle a montré que les coefficients d'écoulement ont fortement augmenté durant la dernière décennie sur tous les sous-bassins versants, en dépit d'une diminution marquée de la pluviométrie. Les valeurs de l'érosion spécifique trouvées à l'échelle mensuelle sont légèrement différentes pour les sous-bassins versants et dépassent la

tolérance généralement admise mondialement (10 t/ha/an). Elle est de 15,9 et 13,4 t/ha/an respectivement pour Chélif Harraza et Chélif Harbil. Les orages d'automne provoquent plus de 25% du transport solide annuel pour l'ensemble des seuils de mesure. Cette forte variation est due à la variabilité du débit liquide de cette saison. Celles ci provoquent une forte érosion après une période sèche. Les valeurs calculées du coefficient d'écoulement moyen interannuel (pour différents sous bassins versants) montrent que la fluctuation interannuelle comparativement à l'érosion spécifique est très significative. A chaque fois que le coefficient d'écoulement varie, l'érosion varie dans le même sens. Pour l'ensemble des stations, le coefficient d'écoulement est très important dans le sous bassin de l'oued Chélif Harraza 83.2 %, de l'oued Chélif Ghrib 52.7%, et de l'oued Chélif Harbil 59%. Cette différence est expliquée par la lithologie des sous bassins versants et les caractéristiques morphométriques. Le modèle logarithmique reste le plus adapté à la relation débit solide-débit liquide quelque soit l'échelle spatiale considérée. Ces nouvelles conditions de ruissellement apparaissent plus favorables dans les zones caractérisées par des lithologies meubles (schistes, marnes et argiles), une diminution du couvert végétal, une extension des surfaces cultivées et des surfaces dégradées par le surpâturage.

La qualité de l'eau du barrage Ghrib qui était moyenne en 2005, est devenue très mauvaise en 2008. L'origine de cette pollution est due aux apports des polluants provenant des rejets des eaux usées urbaines (2,366 hm<sup>3</sup>/an), et industrielles (0,035 hm<sup>3</sup>/an) et au processus d'eutrophisation et à l'augmentation des teneurs en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et NO<sub>2</sub><sup>-</sup> provoquée par l'oxydation de la matière organique azotée. La dégradation de la qualité physico-chimique des eaux du barrage Deurder au cours du temps par un apport des eaux minéralisées est due aux apports des polluants provenant des rejets d'eaux usées et au processus biologique (eutrophisation). Les eaux du barrage de Harraza présentent une dégradation de la qualité physico-chimique exprimée en résidu sec et en matière organique, la teneur en DCO est élevée. La qualité de ces eaux est bonne jusqu'à 2005 puis devient moyenne entre 2005-2008 suite au développement de l'agriculture soutenu par des plans d'aide, cette dégradation est due aux apports externes comme les rejets industriels et la décomposition de la matière végétale et animale dans le bassin versant, ces derniers conduisent à un apport de matière organique entraînant un déficit en oxygène des eaux ce qui engendre le phénomène d'eutrophisation des barrages.

Ainsi, l'ordre de classement des barrages selon le degré de pollution est établi comme suit : Barrage Harraza > Barrage Deurder > Barrage Ghrib.

Le bassin hydrographique Cheliff-Zahrez relativement épargné par la dégradation jusqu'en 2000 connaît aujourd'hui une augmentation sensible de l'érosion et de la pollution de ses eaux. Il est donc essentiel d'établir un programme de gestion durable de ces ressources naturelles. Ce programme doit inclure la reforestation des espaces dégradés par une végétation adaptée au milieu, la gestion conservatoire des eaux et des sols, le traitement adéquat des eaux d'une part, et la réhabilitation de stations d'épuration en amont des barrages d'autre part. Ainsi, la pression anthropique serait contrôlée afin d'éviter d'atteindre le seuil de pollution élevé.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Achour, F. (1997) Conditions hydrologiques et disponibilité en eau en région semi aride, application de méthodologies nouvelles au bassin versant du Chélif. *Thèse de doctorat*. Université des sciences et technologie (Alger) pp. 1-64.
- Arabi, M. (1991) Influence de quatre systèmes de production sur le ruissellement et l'érosion en milieu montagnard méditerranéen à Médéa-Algérie. *Thèse de doctorat*. Université Joseph Fourier-Grenoble (France), 272 p.
- Arabi, M & Roose, E. (1993) Influence du système de production du sol sur l'érosion et le ruissellement en nappe en milieu montagnard méditerranéen (station d'Ouazra en Algérie). *Annales de la recherche forestière* (Algérie), pp. 65-80.
- Arabi, M. (2006) Aménagement antiérosif sur petits bassins versants expérimentaux en milieu semi aride algérien. *Z. Geomorphology NF*, 50, 2, pp. 209-220.
- Anonyme (2010) *Perspectives de développement agricole*. Ain Defla (Algérie), 54 p.
- A.N.R.H. (2008) *Données disponibles par stations hydrométriques*. Agence Nationale des ressources hydriques, Blida (Algérie).
- Cormary, Y. & Masson, J.M. (1964) Etude de conservation des eaux et du sol au Centre de Recherches du Génie Rural de Tunisie : application à un projet-type de la formule de perte de sols de Wischmeier. *Cahiers ORSTOM. Série Pédologie*, 2 (3), pp. 3-26.
- DGF (2009) *Bilan des incendies de forêts*. Direction Générale de la Forêt (DGF), 48p.
- Gomer, D. (1994) Écoulement et érosion dans des petits bassins versants à sols marneux sous climat semi-aride méditerranéen. Traduction française (Paschen H. et Vogt H.). *Thèse de l'université technique de Karlsruhe*. ANRH(Algérie) et Deutsche Gesellschaft für Technische

- Zusammenarbeit Gmbh (Allemagne). Projet Pilote d'Aménagement Intégré du BV de l'Oued Mina, 207 p.
- Heusch, B. (1970) L'érosion du Pré-Rif, une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses Pré-Rif occidental. *Thèse Doctorat*, Toulouse. In : *Annales de la recherche forestière au Maroc*. N° spécial, étude sur l'érosion (Rabat) 12, pp. 9-176.
- Harkat, S. (2010) Etude des risques érosifs et vulnérabilité environnementale des eaux de surface du bassin versant de Cheliff. *Thèse magister*, CUK.M Ain Defla, Algérie, 176 p.
- Laborde, J.P. (1986) *Méthodes d'interpolation et géostatistique pour la cartographie numérique à l'usage des géographes*. Laboratoire d'Analyses spatiale, Université de Nice-Sophia Antipolis, Nice (France).
- Roose, E. (1994) Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bull. Pédol. FAO*, n° 70420.
- Reguig, M. (2002) *Etude du phénomène de l'eutrophisation dans le barrage de Keddara*. E.N.S.H. (Algérie), 245 p
- Zeggane, H. (2005) Contribution à l'étude de transport solide cas du bassin versant des Isser. *Mémoire de magister*, Ecole nationale supérieure d'hydraulique Blida, Algérie, 205 p.

&&&