Fonds Documentaire
N° : 01931
Cote A
Date : 4 OCT. 1982

Les alluvions déposées par l'Oued Medjerdah lors de la crue exceptionnelle de mars 1973 en Tunisie: aspects quantitatif et qualitatif du transport et du dépôt

Jacques Claude et Jean-Yves Loyer

Résumé. En mars 1973, l'Oued Medjerdah a connu une crue exceptionnelle provoquant de graves inondations. Les mesures hydrologiques faites pendant la crue et les relevés des épaisseurs des alluvions faits après le retrait des eaux des zones inondées ont permis d'évaluer les transports solides et les volumes de sédiments déposés qui sont tout à fait exceptionnels. Les analyses pédologiques pratiquées sur un grand nombre d'échantillons d'alluvions ont servi de base à une étude statistique sur les sédiments eux-mêmes et sur le substratum auquel ils sont comparés.

The sediments deposited by the Oued Medjerdah during the exceptional flood of March 1973 in Tunisia: quantitative and qualitative aspects of transport and deposition

Abstract. In March 1973 the Oued Medjerdah experienced an exceptional rise which caused serious flooding. The hydrological measurements made during the flood and the assessments of the thickness of the sediments made after the flood had subsided have allowed the volumes of sediment transported and deposited to be estimated. These volumes are considerable. Analyses of a large number of sections of alluvium and of the materials they overlie have served as the basis for a statistical study of the sediments themselves and for the comparison of the new material with the substratum.

INTRODUCTION

Les pluies très abondantes qui se sont abattues sur le bassin versant de l'Oued Medjerdah du 24 au 28 mars 1973 ont provoqué une crue exceptionnellement forte de l'Oued Medjerdah lui-même aboutissant à des inondations catastrophiques dans la moyenne et basse vallée.

L'importance de la sédimentation constatée après le retrait des eaux des zones inondées nous a incités à essayer de chiffrer cet alluvionnement de façon à recouper les mesures directes de transports solides qui sont très lacunaires, et à analyser les caractéristiques physico-chimiques des sédiments dans le but de cerner les facteurs qui régissent leur dépôt.

LES INONDATIONS ET LES DEPOTS DE SEDIMENTS

Les débits liquides

Les précipitations ayant provoqué cette crue n'ont pas été de forte intensité (le maximum journalier relevé à différents postes pluviométriques du bassin versant ne dépasse pas 100 mm sauf en altitude), mais elles ont été quasi continues du 25 au 28 mars. La pluie moyenne de la période calculée pour différents bassins versants contrôlés par des stations hydrométriques varie de 120 à 180 mm. Les coefficients de ruissellement s'étalent de 60 pour cent à l'amont du bassin versant (Medjerdah à Jendouba 2410 km^2) à 35 pour cent pour l'ensemble du bassin versant (Medjerdah à La Sloughia 20 990 km^2). La crue s'est développée assez lentement sur le cours moyen de l'oued et présente une forme d'hydrogramme simple à maximum unique.

La station hydrométrique de La Sloughia, où ont été faites les mesures les plus intéressantes, contrôle un bassin versant de 20 990 km^2 sur les 23 500 km^2 de toute la Medjerdah; elle est située à l'entrée de la basse vallée et en amont des principales zones d'inondation.

Le débit maximum atteint à cette station a été de 3500 m^3/s ce qui est supérieur au débit centennal estimé.

Le volume d'eau écoulé en 6 jours de crue est de 940×10^6 m^3 ce qui est voisin de l'apport moyen annuel de l'Oued Medjerdah, et correspondrait à une période de retour de 200 ans environ. La précision de ces chiffres est estimée à 10 pour cent environ.

Les débits solides et les dépôts

Les mesures de transport solide en suspension ont été très discontinues. Elles ont été faites sur des échantillons d'eau prélevés à l'aide d'une bouteille lancée à la surface de l'eau au bout d'une corde; elles ont porté sur le dernier tiers de la crue. Les estimations faites à partir de ces mesures ont donné les résultats suivants:

– total des matières solides en suspension transportées en surface = 29.2×10^6 tonnes;

– concentration moyenne des matières en suspension = 30 g/l.;

– variation des concentrations mesurées dans les échantillons = de 23.7 à 66.8 g/l.

Mais le comparaison de ces chiffres aux valeurs déduites des mesures de dépôts a fait apparaître une différence énorme. Nous avons donc étudié de façon théorique la répartition des concentrations de matières en suspension en fonction de la profondeur et du tirant d'eau à l'aide de la théorie de la turbulence et des formules de Schmidt-Rouse (Leliavsky, 1961). Nous en avons conclu, que des prélèvements d'eau faits en surface, dans des zones de vitesse atténuée, n'étaient pas représentatifs du transport solide en suspension dans la section; seules sont prélevées les particules les plus fines (0 à 50 μ), les particules à granulométrie plus grossière étant véhiculées au voisinage du fond ou à mi profondeur. Ceci a été confirmé par l'analyse granulométrie des matières solides prélevées où les classes de granulométrie grossière sont absentes (argiles 0–2 μ = 49 pour cent, limons 2–20 μ = 33 pour cent, sables très fins 20–50 μ = 13 pour cent, sables fins 50–200 μ = 1 pour cent, sables grossiers 200–2000 μ = 0 pour cent) ce qui n'est pas le cas dans les dépôts eux-mêmes.

La sous-estimation des transports solides en suspension par des mesures ponctuelles en surface est d'autant plus importante que le tirant d'eau est fort, la vitesse de l'eau élevée et la granulométrie des particules grossière.

Le volume total des sédiments déposés a été estimé après prospection à 45×10^6 m^3 ce qui représente 75×10^6 tonnes de matériaux transportés par l'Oued Medjerdah, auxquels il faut ajouter ce qui a été évacué directement à la mer; en tenant compte du volume d'eau qui a pu transiter dans le lit mineur de l'oued sans débordements, nous avons estimé cette partie du transport solide à 25×10^6 tonnes. Il faut donc admettre qu'en six jours de crue, l'Oued Medjerdah a pu transporter 90 à 100×10^6 tonnes de matières solides pour un volume d'eau total de 940×10^6 m^3, ce qui représente une concentration moyenne globale de 90 à 100 g/l. y compris le charriage de fond qui peut représenter 20 à 25 pour cent du total. Cela représente une abrasion moyenne ramenée à l'ensemble du bassin versant à La Sloughia de 4300 à 4750 tonnes/km^2, ce qui est énorme, encore que ces chiffres englobent tous les phénomènes d'élargissement ou de surcreusement du lit de l'oued ou d'effondrements importants de berges. La précision de toutes ces valeurs estimées ne semble pas pouvoir être inférieure à 15–20 pour cent.

Les zones inondées (Fig. 1) – les alluvions déposées

La cartographie des zones inondées et le relevé des épaisseurs des alluvions déposées

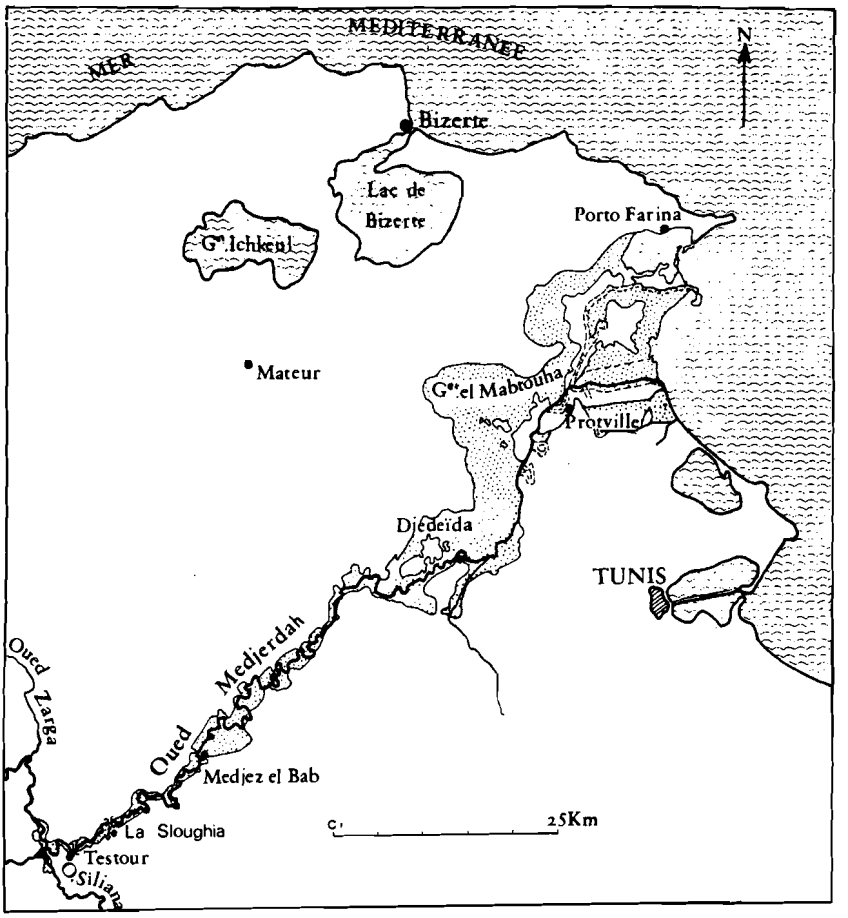

FIGURE 1. Extension de la crue de 1973 dans la moyenne et dans la basse vallée de la Medjerdah.

TABLEAU 1

Limites d'épaisseur des dépôts	Superficie [ha]	Volume des dépôts [10^6 m^3]
Traces	17 331	0
<5 cm	13 760	5.5
5–20 cm	9 660	11.6
20–40 cm	4 930	14.8
40–80 cm	978	5.8
80–150 cm	632	7.5
Total	47 291	45.2

ont été faits de façon détaillée à l'échelle 1/50 000 dans la moyenne et basse vallée à l'aval de Testour (Claude *et al.*, 1976).

L'épaisseur des dépôts est extrêmement variable (de quelques millimètres à plus de 2 m); cette épaisseur ne présente aucune relation avec la hauteur de la lame d'eau qui a pu déposer ces alluvions mais est liée à la topographie locale et à la vitesse du courant.

Au total 470 km^2 ont été envahis par les eaux. Les limites cartographiques des zones d'égales épaisseurs ont permis d'estimer le volume total des dépôts (Tableau 1).

Une autre approche, qui a consisté à calculer pour chaque classe d'épaisseur, la moyenne, l'écart-type, les limites de l'intervalle de confiance à 95 pour cent de la moyenne pour toutes les valeurs relevées, a conduit aux valeurs suivantes:

volume total calculé d'après la moyenne de chaque classe = $46.3 \times 10^6 m^3$
volume total calculé d'après la limite inférieure de chaque classe = $39.7 \times 10^6 m^3$
volume total calculé d'après la limite supérieure de chaque classe = $52.5 \times 10^6 m^3$

On peut donc retenir le chiffre de $45 \times 10^6 m^3$ déjà cité.

Le poids des alluvions déposées a été calculé à partir des mesures de densité faites sur mottes sèches par la méthode au mercure. La valeur moyenne de la densité sur 59 échantillons est de 1.74 mais elle est probablement légèrement surestimée car la méthode employée n'a pas permis d'effectuer de mesure sur les échantillons les plus sableux en raison de la non cohérence des mottes. La corrélation étudiée entre la densité apparente et le taux argile + limon est bonne, ce qui a permis d'estimer la densité apparente de 244 échantillons d'alluvions à 1.66. Pour une densité de 1.74, le poids total des alluvions déposées est de 78.6×10^6 tonnes, pour une densité de 1.66 il est de 75×10^6 tonnes; la différence est bien inférieure aux erreurs d'estimations des autres facteurs. Nous retiendrons les valeurs les plus probables:

volume des alluvions déposées = $45 \times 10^6 m^3$
poids des alluvions déposées = 75×10^6 tonnes

Cela représente pour les 470 km^2 inondés un dépôt de l'ordre de 1000 m^3/ha ou 1700 tonnes/ha, soit aussi une couche nivelée moyenne de 10 cm environ.

Tous les chiffres que nous avons cités ici sont très élevés et peuvent surprendre l'hydraulicien ou l'hydrologue habitué aux régions tempérées; mais il ne faut pas perdre de vue que cette crue a une période de récurrence estimée de l'ordre de 200 ans et qu'au cours de phénomènes aussi exceptionnels les mécanismes de l'érosion, de l'affouillement, la capacité de transport des oueds et l'atterrissement dans les plaines, atteignent leur paroxysme.

Dans la Monographie de la Medjerdah (Ministère de l'Agriculture – DRES/ORSTOM, 1974), les transports solides en année moyenne sont estimés à 21.5×10^6 tonnes à Medjez el Bab (proche de La Sloughia) soit une concentration moyenne des eaux de 30 g/l. et une érosion spécifique de 1020 tonnes km^{-2} an^{-1}. Il n'y a pas lieu de s'étonner que ces chiffres puissent tripler ou quadrupler au cours d'événements aussi rares que ceux de mars 1973.

ANALYSE DE LA SEDIMENTATION

Méthodologie

Les analyses pédologiques classiques et complètes auxquelles ont été soumis les quelques 300 échantillons prélevés montrent que les sédiments déposés présentent une composition chimique et minéralogique homogène qui reflète la nature des matériaux du bassin versant issus de roches uniquement sédimentaires à dominance de calcaires et marnes. Dans ces conditions il n'est pas possible de mettre en évidence au sein des dépôts des différences sur le plan chimique ou minéralogique en fonction de l'arrivée d'ondes de crue de divers affluents par exemple.

Par contre les coefficients de variation très élevés que présentent les éléments de la granulométrie des sédiments et les caractéristiques physico-chimiques qui lui sont liées, laissent pressentir des variations importantes au sein des dépôts que la considération des seules moyennes arithmétiques ne fait pas apparaître. Différentes analyses statistiques telles que des tests statistiques unilatéraux de Student Fisher et des analyses en composantes principales permettent déjà de préciser cette variabilité en différenciant des groupes d'alluvions homogènes ou différents ainsi que des gradients entre ces

TABLEAU 2

Classes	Profondeur moyenne, p [cm]
C_1	$p \leqslant 1$
C_2	$1 < p \leqslant 2$
C_3	$2 < p \leqslant 3$
C_4	$3 < p \leqslant 5$
C_5	$5 < p \leqslant 10$
C_6	$10 < p \leqslant 20$
C_7	$20 < p \leqslant 50$
C_8	$50 < p \leqslant 80$
C_9	$80 < p$
S	Substratum

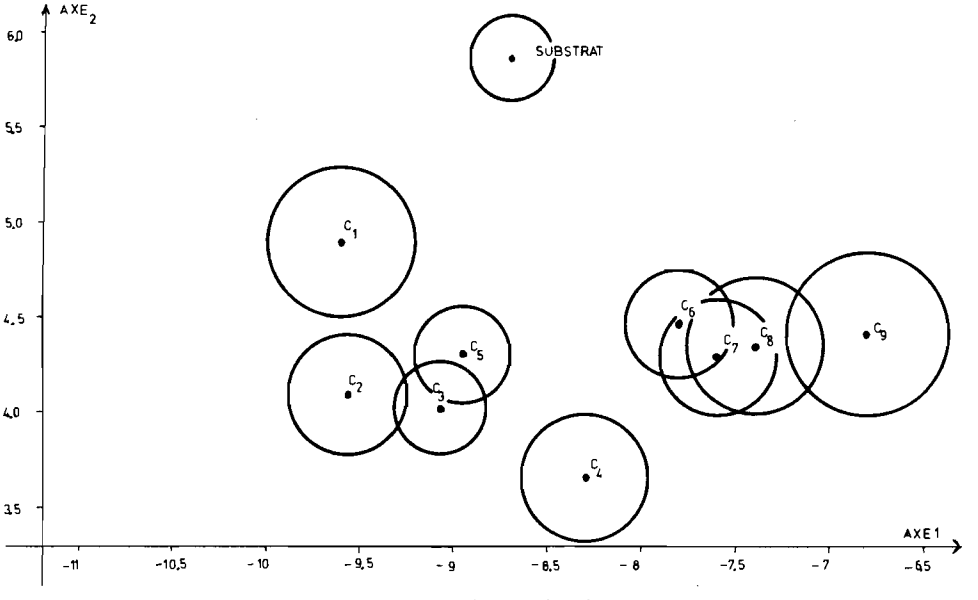

FIGURE 2. Analyse discriminante de la granulométrie après décarbonatation: variations verticales.

groupes, verticalement et géographiquement.

C'est cependant une méthode statistique plus poussée qui a permis, grâce à une série d'analyses discriminantes à plusieurs populations et au tracé des profils normés effectués sur les rubriques analytiques les plus discriminantes (granulométrie, calcaire et matière organique principalement), de cerner de plus près ces variations dans les trois dimensions.

Résultats

Verticalement

Afin de suivre avec le maximum de précision les variations des données analytiques en fonction de la profondeur, nous avons divisé les alluvions en neuf classes (plus le substratum), en fonction de la profondeur moyenne du prélèvement (Tableau 2).

(1) L'analyse discriminante de la granulométrie après décarbonatation, effectuée

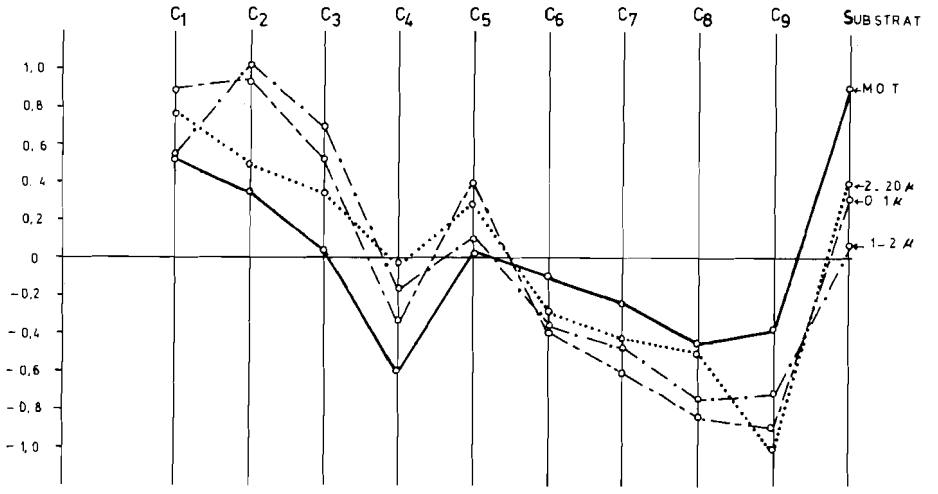

FIGURE 3. Profils normés de la granulométrie après décarbonatation: variations verticales des fractions fines et de la matière organique.

sur 298 échantillons des différentes classes, permet de sélectionner les deux premiers axes dont le pouvoir discriminant est significatif. La représentation graphique des positions relatives des différentes populations dans le plan de projection de ces deux premiers axes, entourées de leur cercle de confiance au niveau 90 pour cent met nettement en évidence quatre populations qui peuvent être interprétées comme suit (Fig.2):

(a) Les substrats sont nettement à part mais néamnoins plus proches des couches de surface en particulier de C_1, que des couches profondes (C_6, C_7, C_8, C_9); ceci est probablement dû au fait qu'il s'agit d'anciennes alluvions qui se sont déposées suivant un mode de sédimentation du même style et dont nous n'avons prélevé que la partie la plus superficielle.

(b) Le groupe des couches C_1, C_2, C_3, C_5, qui correspondent aux strates superficielles, sauf la couche C_5 qui est à moyenne profondeur.

(c) La couche C_4 qui est à part et tend à se rapprocher des couches de profondeur.

(d) Les couches C_6, C_7, C_8, C_9 qui représentent les strates les plus profondes.

(2) L'analyse des profils normés verticaux montre une granulométrie et un taux de matière organique nettement décroissants des couches les plus superficielles, les plus fines, aux couches de profondeur, les plus grossières; les substrats tendent à se rapprocher des couches de surface et sont par suite nettement différenciés des couches les plus profondes. Les couches C_4 et C_5 apportent une perturbation à ce profil granulométrique (Fig.3):

(a) La couche C_4 contient plus de fractions grossières, est plus pauvre en matière organique, que sa position verticale ne le laissait prévoir, elle tend à ressembler aux couches profondes.

(b) La couche C_5 au contraire formant un pic, présente une composition granulométrique plus fine et un taux de matière organique plus proche des couches de surface.

(3) Cette coupure très nette dans la répartition granulométrique verticale qui se situe aux environs de 5 à 10 cm de profondeur en moyenne, différencie donc *deux séries alluviales continues déposées au cours de la même crue.* La même analyse, effectuée sur le calcaire contenu dans les différentes fractions granulométriques, les matières humiques, le complexe adsorbant, confirme ce dédoublement en deux séries alluviales superposées.

(4) L'interprétation de cette anomalie a été recherchée sur le plan hydrologique par l'analyse de l'hydrogramme de la crue: l'existence d'une seule pointe sur la courbe ne permet pas d'attribuer les deux dépôts à deux crues successives mais à une seule; par contre la montée de crue très rapide, probablement très chargée en matériaux solides en raison de sa vitesse, correspondrait au premier dépôt de beaucoup le plus important, alors que la décrue plus lente, de capacité de transport plus faible, mais dans le cas présent très étalée et prolongée en raison des lâchures du barrage sur l'Oued Mellègue, correspondrait au second dépôt.

Géographiquement

L'analyse en composantes principales effectuée sur les données de la granulométrie avec et sans décarbonatation met en évidence des variations à l'intérieur du nuage de populations d'alluvions suivant deux directions:

(a) *Latéralement*: seules les images obtenues sur la granulométrie avec ou sans décarbonatation sont intéressantes; elles définissent une répartition granulométrique continue quoique localement perturbée par la microtopographie des aménagements agricoles, mais allant toujours dans le même sens, c'est-à-dire de plus en plus fine au fur et à mesure de l'éloignement du lit de l'oued que ce soit à l'intérieur du lit majeur endigué ou dans la plaine alluviale. Elles montrent en outre une répartition granulométrique anormale, plus grossière et plus calcaire à proximité des obstacles ayant perturbé l'écoulement dans le lit de l'oued (pont, cascade, méandre). On remarque dans ce cas que la dimension des particules déposées est directement en relation avec l'importance et la morphologie de l'obstacle susceptible d'opérer un brassage plus ou moins profond des matériaux transportés par l'oued, et qui sont constitués en profondeur, surtout de particules grossières et calcaires.

(b) *Longitudinalement*: en raison de la présence de nombreux obstacles apportant de plus ou moins grandes anomalies dans la distribution granulométrique au sein des alluvions déposées, il est difficile de trouver des conditions de dépôts identiques indispensables pour mettre en évidence une éventuelle variation longitudinale. En outre des conditions externes telles que la microtopographie ou la nature des sols inondés (dans le cas de la salure par exemple), peuvent intervenir pour influencer secondairement le dépôt. Néanmoins les analyses permettent de constater un faible gradient granulométrique entre les profils d'alluvions déposées dans la haute vallée qui sont sensiblement plus grossiers que ceux de la basse vallée. Ce gradient est beaucoup plus net dans le tronçon de l'ancien lit depuis Protville jusqu'à la mer, où l'écoulement très ralenti en raison du rehaussement du lit par les envasements, a permis une décantation plus régulière sur les berges.

L'analyse de la répartition du calcaire dans les différentes fractions granulométriques semble mettre en évidence une diminution de la taille des particules calcaires à l'aval par rapport à l'amont du bassin, qui pourrait correspondre sinon à une usure ou à une dissolution, du moins à une vitesse plus lente et une sédimentation plus fine.

La conductivité et les sels solubles montrent une évolution de l'amont vers l'aval où les dépôts sont plus salés. Ceci pourraît être dû à un lessivage des terrains halomorphes de la basse vallée.

Ces différentes constatations montrent que la distribution granulométrique de tels dépôts alluviaux ne répond pas aux seules lois de la sédimentation mais est fortement influencée soit par des facteurs externes au cours d'eau, soit par des facteurs internes tels que la vitesse des eaux et la nature des obstacles qui déterminent la dimension des particules en suspension dans la nappe de débordement.

Cette étude permet en outre de souligner l'importance de la méthodologie employée pour sa réalisation en particulier au niveau des prévèvements qui doivent être systè-

matiques sur toute la partie du bassin concernée, et au niveau des dépouillements qui doivent obligatoirement passer par les méthodes statistiques qui sont les seules susceptibles d'analyser ces processus sédimentologiques très complexes car ils sont régis par des phénomènes évoluant dans chacune des trois dimensions.

REFERENCES

Claude, J., Francillon, G. et Loyer, J. Y. (1976) *Les alluvions déposées par l'Oued Medjerdah lors des crues exceptionnelles de Mars 1973*: ORSTOM-DRES Tunisie, 162 p.

Leliavsky, S. (1961) *Précis d'hydraulique fluviale*: Dunod, Paris.

Ministere de l'Agriculture –, DRES/ORSTOM (1974) *Monographie de la Medjerdah*, tomes 1 et 2, 109 p. et 426 p.: DRES/ORSTOM Tunis.