

DIVISION DES RESSOURCES EN EAU

--§:§--

OBSERVATIONS SUR LES MESURES
DE TRANSPORT SOLIDE EFFECTUEES EN
TUNISIE

--§:§--

MAI 1972

J. CLAUDE.-
Chargé de Recherches
à l'ORSTOM

58
LA

11.268

REPUBLIQUE TUNISIENNE
---§---
MINISTERE DE L'AGRICULTURE
---§---
Direction des Ressources
en Eau et en Sol
Division des Ressources en Eau
Service Hydrologique

(()) OBSERVATIONS SUR LES MESURES
DE TRANSPORT SOLIDE EFFECTUEES EN
TUNISIE.-

M A I 1972

J. CLAUDE
Chargé de Recherches
à l'O.R.S.T.O.M.



- 6 JUIN 1972

11268

S O M M A I R E

- - - - -

	<u>P a g e</u>
I - <u>INTRODUCTION</u>	1
II - <u>METHODES DE PRELEVEMENTS</u>	2
2-1 - Prélèvements à la bouteille	2
2-2 - Autres méthodes de prélèvements	2
III - <u>METHODES DE MESURES</u>	4
3-1 - Filtration et pesée	4
3-2 - Mesures de densité	4
3-3 - Mesures du volume de matières décantées	5
IV - <u>RESULTATS DISPONIBLES - CRITIQUES</u>	6
V - <u>RESULTATS PRIS EN COMPTE-ESTIMATIONS</u>	7
VI - <u>PARAMETRES A PRENDRE EN COMPTE-SUGGESTIONS</u>	8
- CONCLUSION.	10
- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.	11

I - I N T R O D U C T I O N

La plupart des Oueds de Tunisie charrient en temps de crue d'énormes quantités de matières en suspension ; il suffit d'avoir observé une fois la couleur de l'eau d'un Oued en crue pour avoir une idée qualitative de l'importance du phénomène.

La source principale de ces matières en suspension est l'érosion qui se produit sur des sols squelettiques, mal protégés par une végétation trop clairsemée. Les conséquences de cet important charriage des Oueds sont évidentes et bien connues ; sans parler de la détérioration des terrains nous pouvons citer deux exemples spectaculaires :

- l'envasement quasi total du barrage sur l'Oued El Kébir en une trentaine d'années ;
- les énormes dépôts de sable dans la plaine de Kairouan, apportés lors des crues de 1969 par les Oueds Zéroud et Merguellil, qui ont rendu stériles plusieurs centaines de Km².

Il serait donc primordial de connaître ce phénomène en détail et de pouvoir le chiffrer, or si l'on compulse les archives et les différents rapports sur le sujet disponibles au Service Hydrologique de la D.R.E., on constate que ce problème a toujours retenu l'attention des hydrologues mais que le bilan de nos connaissances dans ce domaine reste bien maigre.

Ceci s'explique, à mon avis, par deux raisons principales :

- a) la difficulté de mettre au point et de réaliser des méthodes de mesures simples, représentatives du phénomène et peu onéreuses.
- b) le nombre et la complexité des paramètres conditionnant le processus érosion-transport (charriage de fond et matières en suspension)-envasement-alluvionnement. Il est difficile d'isoler un paramètre et de chiffrer son influence qui peut d'ailleurs ne pas être constante et être liée à d'autres paramètres.

Nous nous proposons, dans ce bref exposé, de passer en revue les méthodes employées et les résultats obtenus pour dégager certaines causes d'échec et envisager ce qu'il y aurait lieu de faire pour améliorer nos connaissances.

II - METHODES DE PRELEVEMENTS

Il est évident que la valeur d'une mesure dépend en premier lieu de la méthode utilisée et en particulier du mode de prélèvement des échantillons.

2-1 - Prélèvement à la bouteille

Pour les mesures sur les stations du réseau hydrométrique, la presque totalité des prélèvements d'échantillons a toujours été faite simplement en remplissant une bouteille d'environ 1 litre au bord de l'Oued ; ces échantillons étant d'abord destinés à l'analyse chimique ou à une simple mesure de résistivité et accessoirement à la mesure du transport solide.

Si cette méthode est simple et peu onéreuse elle présente cependant de nombreux inconvénients majeurs.

- a/ Pour les matières en solution :
même si l'on estime que l'échantillon est représentatif, la composition chimique de l'eau étant homogène dans la section, il faut procéder à l'analyse chimique rapidement après le prélèvement (risques de réduction de matières organiques, mise en solution de sels minéraux des matières en suspension).
- b/ Pour les matières en suspension :
Ce prélèvement est ponctuel sur la rive de l'Oued ce qui ne représente absolument pas les conditions de transport des matières en suspension à travers la section mouillée : influence de la profondeur et de la vitesse de l'eau, influence de l'érosion des berges...
- c/ Le charrillage de fond (gros éléments roulés au fond du lit) ou transitant par saltation) est totalement ignoré.
- d/ Il n'est pas tenu compte de la position de la section de mesures sur le cours de l'Oued (méandre d'alluvionnement ou section instable).

2-2 - Autres méthodes de prélèvements

Un certain nombre de procédés de prélèvements ont été testés en différents points du territoire et à différentes époques, mais à notre connaissance les essais n'ont jamais été poursuivis suffisamment longtemps ni comparés entre eux pour pouvoir juger de leur validité. Aucune synthèse de ces différents essais n'a été faite. Nous citerons les essais dont nous avons eu connaissance.

2-2-1 - Le saumon creux : c'est un corps lesté creux contenant une bouteille de prélèvement, deux orifices permettant l'un l'entrée de l'eau, l'autre l'évacuation de l'air. On peut commander à distance l'ouverture et la fermeture de la bouteille et faire des prélèvements ponctuels ou par intégration sur une verticale de mesure. (Certains modèles ne comportant pas de dispositif de commande à distance).

.../...

2-2-2 - La turbidisonde Neyrpic

Le principe est le même que celui du saumon creux, un ajustage spécial permet de maintenir la vitesse d'entrée dans la bouteille de prélèvement égale à la vitesse de l'eau.

(Matériel utilisé sur la Medjerda en 1959-60 (cf. Réf. Bib-5)).

2-2-3 - Rampes de bouteilles submersibles

Les bouteilles fixées à différentes hauteurs se remplissent successivement lorsque l'eau atteint certaines cotes ; elles se ferment lorsqu'elles sont pleines. Un dispositif permet de choisir le remplissage à la montée de la crue ou à la décrue (dispositif utilisé aux B.V du Djougar Cf. Réf. Bib. 1).

2-2-4 - Bacs à sédiments et pièges à graviers

Ces dispositifs ne sont utilisables que pour des bassins représentatifs ne dépassant pas quelques hectares. En général ils sont sous dimensionnés ; l'eau n'y séjourne pas suffisamment pour abandonner la majeure partie de sa charge solide. Ils sont de plus souvent mal exploités (prélèvements comparatifs à l'entrée et à la sortie, curage des fosses entre chaque crue, etc...).

De tels dispositifs ont été installés :

- au BVR de Sidi Thabet (CGR) = partiteurs, bacs à décantation
- au BVR du Bel Oussif = piège à graviers sous dimensionné.
- aux deux citernes de ruissellement de la Piste de la TRAPSA : Bacs à sédiments sous dimensionnés.

Aucun de ces dispositifs n'a pu à notre connaissance, fournir de chiffres précis sur le transport solide ou le charriage de fond.

2-2-5 - Parcelles d'érosion

Situées à la source des matières premières transportables dans les Oueds, ces parcelles devraient fournir des indications très utiles. Malheureusement nous ne disposons pas à la D.R.E. des résultats de mesures faites sur les parcelles d'érosion installées à Sidi Thabet et au Djougar - (études faites par le CREGR).

Il demeure donc, que la grosse masse de mesures de transports solides disponibles à la D.R.E. provient des prélèvements faits à la bouteille.

.../...

III - METHODES DE MESURES

Les méthodes de détermination des matières en suspension dans un échantillon ont aussi une grande influence sur les résultats. Plusieurs méthodes ont été utilisées par le Service Hydrologique de la D.R.E.

3-1 - Filtration et pesée du filtrat

C'est la méthode la plus couramment utilisée au Laboratoire. Les échantillons sont filtrés sur un simple buvard ou sur filtres plissés spéciaux, le filtrat est pesé après dessiccation à l'étuve à 105°C.

Si les mesures sont faites avec un minimum de soins les résultats sont assez précis dans la mesure où le poids du filtrat n'est pas trop petit par rapport à celui du buvard, et dans la mesure où les parties fines (< 2 microns) qui passent à travers les buvards ne sont pas trop abondantes.

Depuis 1966, certains échantillons sont filtrés dans des zones hydrologiques, et les buvards contenant le filtrat sont ramisés à Tunis pour y être pesés ; ce procédé qui évite l'encombrement du Laboratoire est parfois causé d'erreurs dans les mesures (pertes d'une partie du filtrat dans le transport, mauvaise identification de l'échantillon).

3-2 - Mesure de densité

Pendant assez longtemps (dans les années 1950 à 1960), le taux de matière en suspension était déduit d'une mesure de densité de l'échantillon, cette mesure se faisant sur tout ou partie de l'échantillon.

Le report sur deux abaques permettait, connaissant la température et le résidu sec, de déterminer la teneur en matières en suspension de l'échantillon. Cette méthode était fort peu précise surtout pour les faibles valeurs de TP et nous ne savons pas sur quelles bases étaient construits les abaques dont la forme analytique est :

$$T_p = (D - \Delta d) \times 1,833.$$

avec $\Delta d = \left[RS + \frac{(t - 10)}{4,54} \right] \times 0,833 - 1,15$

où $D = (\text{densité} - 1) \times 1000$ (en millièmes)

$\Delta d =$ correction de densité en millièmes.

RS = Résidu sec en g/l

t = température en °C

$T_p =$ poids des matières en suspension en g/l

Si l'on a une mesure sur une partie du volume seulement on suppose que l'eau enlevée était claire et que sa densité est égale à 1 (ce qui est une source d'imprécision supplémentaire) on a alors $D = \frac{(d \text{ mesurée} - 1) \times \text{volume mesuré}}{\text{volume total}}$.

3-3 - Mesure du volume de matières décantées

Les modes opératoires pour analyses sommaires destinés aux agents des zones hydrologiques (Cf. Réf. Bib 3 et 6) prévoient la mesure du volume occupé par les matières en suspension après décantation de 48 heures. L'idée de cette mesure était basée sur les vitesses de chute des particules fines (loi de Stokes). On peut en effet supposer qu'à une même station la composition et la granulométrie des matières en suspension varie peu d'une crue à l'autre et que l'on pourrait établir une corrélation assez serrée entre le volume décanté en 48 heures et la teneur pondérale des matières en suspension (ce qui éviterait les pesées de filtrats une fois la station bien connue).

Le matériel utilisé (tubes de plastique de 4 cm de diamètre, ou éprouvettes de pluviomètre) ne permet évidemment pas une grande précision. Nous n'avons pas encore étudié de série d'échantillons à une même station pour juger de la validité de la méthode qui de toute façon ne peut être précise pour de faibles valeurs du transport solide.

Notons en passant qu'aucune de ces méthodes ne tient compte des très fines particules colloïdales qui ne se décantent que très lentement ou pas du tout et peuvent passer à travers les filtres les plus fins ; si, en général, ces très fines particules ne préoccupent guère l'hydrologue de surface il faut cependant rappeler que leur action peut être très gênante dans certaines applications (alimentation en eau potable, colmatage des drains et filtres...), que, par ailleurs, la plus grande part de ces particules, dont la proportion dans les charges solides peut être importante, provient des sols cultivables et fertiles et témoigne de l'érosion des sols.

- Résultats d'analyse

Le Service Hydrologique dispose de nombreux résultats d'analyses dont les plus anciens remontent à 1946 pour les principales stations de la Medjerda.

Un certain nombre de ces analyses mentionnent une valeur du transport solide ou une mesure de densité. Le dépouillement de ces analyses entrepris à l'aide de l'ordinateur (Cf. Réf. Bib. 3) fournit sur cartes perforées et listings les résultats de mesures de transport solide. L'exploitation systématique de ces résultats n'a pas encore été commencée, mais à première vue nous pouvons faire un certain nombre de commentaires.

- 1) Les résultats sont très disparates. Pour un même échantillon analysé par différents procédés, les valeurs données peuvent varier de 1 à 10. Les corrélations entre les valeurs déterminées par filtration et celles déduites de mesures de densité sont très lâches.
- 2) Il n'existe aucun contrôle a posteriori des mesures faites et la plupart du temps nous ne sommes pas renseignés sur le mode opératoire utilisé. Il manque souvent des renseignements importants sur les conditions de prélèvement (heure, hauteur à l'échelle, montée de crue ou décrue). Aussi un doute sérieux plane sur la valeur d'un certain nombre de résultats, en particulier nous ne pensons pas que les mesures aient jamais été suffisamment précises pour détecter des charges inférieures à 100 mg/l (valeurs souvent indiquées alors que de nombreux échantillons portant la mention "eau claire" n'étaient pas filtrés).
- 3) Pour les valeurs que l'on peut juger comme acceptables les plages de variations restent très grandes ce qui n'est pas surprenant. Comme nous l'avons déjà signalé, les échantillons prélevés sont peu représentatifs de ce qui se passe dans la section et même pour les crues importantes qui ont été bien observées il semble difficile d'établir un "turbidigramme" parallèlement à l'hydrogramme et au "salinigramme", (ce qui serait bien sûr un idéal).
- 4) Pour les stations du réseau hydrométrique les paramètres influant sur le transport solide ne sont pas mesurés (il faut d'ailleurs reconnaître que pour un grand bassin versant l'influence de ces paramètres n'est pas bien connue (Cf. Réf. Bib. 1-4-8-10). aussi il ne parait pas possible, avec les seules données disponibles, de dégager des lois de variation du transport solide en fonction de ces paramètres.

De toute façon l'idée d'une relation simple entre débit liquide et débit solide est à écarter de même que toute formule générale valable universellement.

- 5) Il apparaît nécessaire de suivre l'évolution de la charge de matières en suspension au cours des crues, les grandes variations de cette grandeur font qu'il est impossible de se contenter d'un seul prélèvement ponctuel dans le temps et l'espace pour une même crue.

Cette source d'erreur est probablement plus grande que celles provenant des techniques de prélèvements et de mesures.

- 6) La granulométrie des matières en suspension est rarement étudiée; les quelques mesures faites (cf. Réf. Bib 5) montrent que la proportion de particules très fines (< 2 microns) est plus forte dans les échantillons prélevés pendant la crue que dans les dépôts abandonnés à la décrue.

L'analyse granulométrique ainsi que l'analyse chimique et minéralogique des matières charriées permettrait de différencier la provenance et le mode de transport de ces matériaux.

V - RESULTATS PRIS EN COMPTE-ESTIMATIONS
--

A défaut d'une connaissance précise et chiffrée du phénomène de transport solide il faut avoir recours à des estimations. Il faut bien constater que dans ce domaine la littérature est abondante et les quelques notes citées en référence Bibliographiques ne sont qu'indicatives.

Les sources de ces estimations sont en gros :

- 1/ Des mesures de terrain de matières en suspension dont on ne connaît pas le mode opératoires, parfois des mesures d'envasement de retenues. Ces observations présentant évidemment des lacunes sont souvent complétées par des lois générales teneurs-débits à l'échelle mensuelle.
- 2/ Des courbes établies à partir des observations ci-dessus. En général ce sont des courbes ruissellement-taux d'érosion à l'échelle annuelle. La dispersion des points expérimentaux autour de ces courbes est toujours très forte et expliquée par l'influence des nombreux paramètres à prendre en compte.
- 3/ Des formules d'hydrauliques générale permettant de calculer la charge transportable par un Oued en fonction des conditions d'écoulement.
- 4/ Des essais sur modèles réduits (Neyrpic) ou sur parcelles d'érosion. Ces essais sont rarement confirmés par des mesures in situ et les valeurs données par les mesures sur parcelles d'érosion ne permettent pas une extrapolation directe car elles ne tiennent pas compte du transport dans le lit des Oueds des matières arrachées ou abandonnées sur les berges et le fond.

Cependant on peut constater que dans l'ensemble les ordres de grandeur des valeurs retenues concordent assez bien et que ces valeurs sont assez élevées (de 20 à 100 g/l). Tous les gens qui se sont penchés sur le problème soulignent la complexité du phénomène et la difficulté d'effectuer des mesures correctes ; il est d'ailleurs rare de trouver beaucoup de détails sur les protocoles de mesures et sur les modes opératoires de prélèvement et de dépouillement des échantillons analysés. (nous parlons ici des mesures faites en Tunisie).

Les facteurs influant sur le phénomène érosion-transport solide sont nombreux et complexes nous l'avons déjà signalé. De plus ils peuvent agir les uns sur les autres et leur influence peut varier énormément comme le démontre J. TIXERONT (Réf. Bib. 8):

J. Tixeront énumère les facteurs principaux qui sont :

- le substratum géologique et la nature des sols.
- la pluviométrie et sa répartition (répartition annuelle et saisonnière, intensité des averses).
- le taux de ruissellement (à l'échelle de l'année et à l'échelle de l'épisode pluvieux).
- les facteurs climatiques (vents, humidité, températures).
- le couvert végétal.
- l'action de l'homme, la mise en valeur agricole.

On voit tout de suite qu'il est quasi-impossible de relier de façon simple tous ces facteurs entre eux.

A cela nous ajouterons les facteurs de représentativité de la station où sont étudiées les transports solides.

Les conditions hydrauliques d'écoulement à la station considérée sont très importantes. Il faut tenir compte bien sûr de la profondeur et de la vitesse de l'eau aux points où sont faits les prélèvements, mais nous savons aussi que les rivières transportent et déposent, creusent et alluvionnent leurs lits suivant les conditions de pente, de vitesse, de granulométrie des matières transportées etc... et que ces phénomènes peuvent fausser nos mesures.

Ainsi l'Oued Zéroud à Sidi Saad, lors des crues de l'automne 1969, a creusé son lit de sable sur une dizaine de mètres jusqu'à un seuil rocheux enfoui, lequel seuil a été ensuite recouvert de sable à la décrue ; cela représente des masses de sable considérables mises en mouvement qui se retrouvent probablement dans les échantillons prélevés et ce phénomène est indépendant de celui de l'érosion sur l'ensemble du bassin versant. Depuis 1969 le lit du Zéroud à Sidi Saad s'est exhaussé de plus d'un mètre lors de petites crues alors qu'après les crues de 1969 on avait constaté un abaissement de plus de 2,5 m ; on peut donc dire que cette station n'est pas stable pour les mesures de transport solide et peu représentative du phénomène d'érosion sur le bassin versant.

Nos suggestions en matière de mesures de transport solide seraient les suivantes:

- 1/ Continuer les prélèvements tels qu'ils sont pratiqués sur le réseau hydrométrique en étiage et en crue en sachant que ces mesures ne sont pas précises mais qu'elles fournissent déjà un ordre de grandeur et en espérant pouvoir les valoriser un jour à la lumière d'études à entreprendre. Ces mesures constitueront de toute façon un matériau d'observations toujours appréciable.
- 2/ Entreprendre des mesures détaillées et précises sur un nombre très réduits de stations expérimentales.
Ces mesures devraient permettre d'abord de tester le matériel et les méthodes et ensuite de les comparer entre elles, il faudrait essayer d'isoler le plus possible de facteurs influençant le phénomène et étudier séparément et dans un but différent l'érosion et le transport.
- 3/ Etudier l'érosion sur petits bassins versants représentatifs et sur parcelles d'érosion en tenant compte des expériences déjà faites en ce domaine (études du C.R.E.G.R.).
Les programmes de recherche prévus par l'ORSTOM nous semblent tout à fait entrer dans ce cadre.
- 4/ Etudier le transport solide sur une ou deux stations contrôlant un grand bassin versant. (Nous proposons la Medjerda à la Sloughia ou à Bou Salem, sous réserve d'examen des conditions hydrauliques à ces stations.)

Cette étude devrait plutôt s'orienter dans le sens des travaux de recherches engagés par M. FOURNIER qui en étudiant de grands bassins versants essaie d'intégrer le maximum de facteurs (malheureusement nous manquons de documentation sur ces travaux).

Ces mesures effectuées avec du matériel qui reste à mettre au point et à tester porteront sur de nombreux points à travers la section où seront déterminées en plus de la teneur en matières en suspension :

- la vitesse et la profondeur de l'eau
- la granulométrie des éléments transportés
- la nature des éléments (analyses chimique qui permettront éventuellement de distinguer la provenance de ces éléments).

- 5/ L'étude du charriage de fond devrait être aussi entreprise, mais les techniques de mesures en ce domaine sont encore expérimentales et le matériel à mettre en oeuvre est assez important ; nous ne pensons pas pouvoir en disposer rapidement.

.../...

Dans l'immédait nous proposons de suivre le déplacement de gros éléments sur le fond du lit en les marquant et en relevant leur position après chaque crue ; la nouvelle station de Djebel Laoudj sur la Siliana semble se prêter assez bien à ce genre d'expérimentation.

- C O N C L U S I O N

Ces quelques réflexions sur les mesures de transport solide effectuées en Tunisie ne prétendent pas faire le point de la question mais seulement clarifier les idées. On ne peut que regretter que ces mesures aient souvent été négligées et faites accessoirement sur le réseau hydrométrique.

Les études ponctuelles détaillées restent insuffisantes et n'ont pas été menées assez longtemps pour fournir des bases de calcul valables. Les propositions que nous avons faites représentent en fait un travail à long terme mais qui devrait s'avérer très utile car le manque de données de base gêne considérablement tous les projeteurs qui doivent tenir compte des phénomènes d'érosion et de transport solide.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 - BEDIOT M. : Problèmes de mesures des débits solides en suspension.
- SCET - CREGR - Note HC 89 - Décembre 1963 -
- 2 - CLAUDE J. : Note sur le mode opératoire pour les analyses sommaires de salinité et de transport solide en vue de leur dépouillement automatique.
- D.R.E.S. Tunis - Octobre 1969 -
- 3 - CLAUDE J. : Description et emploi de la chaîne des programmes de "Salinité" PBH 798 à 793.
- D.R.E.S. Tunis - Octobre 1971 -
- 4 - DURAND R. : Observations sur le charriage solide de quelques Oueds en Tunisie
- (R 37995) Neyrpic - Grenoble - Juillet 1954 -
- 5 - NEYRPIC AFRIQUE: Oued Medjerda - Campagne de mesures 1959-1960 - Note sur les crues -**Rapport** TU 75 - Tunis - Novembre 1960
" " et campagnes antérieures (1947-50).
- 6 - RAMANANTOANDRO: Salinités et Transports solides -
- BIRH - Tunis - Décembre 1966.
- 7 - TIXERONT J. : Le ruissellement en Tunisie.
- Extrait de la revue "La Tunisie Agricole" - Mars 1958 -
- 8 - TIXERONT J. : Les débits solides des cours d'eau d'Algérie et de Tunisie.
- Groupe HAR - Etudes Hydrologiques - Série II - Tunis
- 9 - TIXERONT J. : Note sur le débit solide de l'Oued Méllégué Mai 1960
- Groupe HAR - Coordination des Etudes-Tunisie Juil. 1960
- 10 - VALIRON : Influence du débit solide sur les lois d'écoulement d'un fleuve : cas particulier de la Medjerda dans la dernière partie de son cours.
- Paru dans le bulletin Economique et Social de la Tunisie N° 57) - Octobre 1951.