

CONTRIBUTION A L'EVALUATION DU TRANSPORT SOLIDE PAR CHARRIAGE ET TOTAL AU DROIT D'UNE STATION HYDROMETRIQUE

Naoual CHENITI¹ - Boualem REMINI² - Ahmed KETTAB³

¹ Ingénieur d'état en Hydraulique – Diplôme de Magister

² Département Génie rural, Université de Blida

³ Département Hydraulique, Ecole Nationale Polytechnique

Résumé

Le présent travail présente une synthèse des études élaborées dans le domaine de la sédimentation (érosion et transport solide).

En premier lieu nous avons entrepris une étude bibliographique très approfondie sur les travaux d'évaluation de l'érosion et du transport solide, empiriques, statistiques ou mathématiques, ainsi celles effectués en Algérie.

Puis nous avons élaboré un modèle mathématique qui permet d'évaluer le transport solide au droit d'une station hydrométrique. Ce modèle fait appel à des formules mathématiques qui tiennent compte des caractéristiques de l'écoulement, du fluide et des sédiments, et du mode de transport solide (par charriage, en suspension ou total) en se basant sur la classification de Ramette.

Mots clés : Transport solide, charriage, suspension, sédiment, érosion, envasement, taux d'érosion, Du Boys, MPM, force tractrice, transport actif.

Abstract

The present work is a summary of different studies established in sediment domain (erosion and solid transport).

This study was achieved in two phases: first, a bibliography research on erosion and solid transport evaluation (using empirical, statistical and mathematical methods). Second, a mathematical model for evaluation of solid transport (bed load, suspended load or total) was developed for Algerians Oueds. This model is based on *Ramette classification*.

1. Introduction

L'érosion et le transport solide sont responsable de phénomène de très grande ampleur en milieu naturel : Envasement des ouvrages hydrauliques entraînant la diminution de leurs potentialités, ensablement des ports, rehaussement des lits de cours d'eau entraînant un accroissement des risques d'inondation et appauvrissement des terres agricoles.

L'érosion hydrique et le transport solide menacent gravement les potentialités en eau et en sol et devient de plus en plus dramatique, à titre d'exemple l'infrastructure hydraulique Algérienne est amputée annuellement d'un potentiel de réserve en eau équivalent à 20 millions de m³ du fait de l'envasement des retenues. Si on n'intervient pas rapidement et efficacement le pays est ramené vers un drame permanent.

Bien que des mesures sur le transport solide soient effectuées depuis plusieurs années, les connaissances sur ces phénomènes sont encore très partielles, les données peu fiables et beaucoup d'incertitudes subsistent.

La résolution de ce problème doit autant son importance à l'estimation efficace de l'érosion et du transport solide.

L'irrégularité et la complexité du processus érosion-transport solide-sédimentation, la multitude de paramètres mis en jeu rendent difficile l'élaboration de modèles théoriques cohérents.

De nombreuses recherches ont été effectuées pour déterminer des méthodes d'estimation et de quantification du transport sédimentaire ou de trouver une théorie de la mécanique capable d'expliquer ce phénomène. Mais à cause de la complexité de ce phénomène et des différentes variables entrant en jeu, il est toujours resté l'un des problèmes hydrauliques qui demandent plus de développement.

Les formules obtenues se basent sur des résultats expérimentaux assez limités et sont utilisées avec beaucoup de prudence et dans les conditions hydrauliques pour lesquelles chacune a été établie. Le grand nombre des formules a le caractère de la non- universalité, elles sont rares celles qui sont acceptées comme universellement adéquates.

En Algérie l'ensemble des modèles de quantification concernent seulement le transport solide en suspension, le taux de charriage dans le transport solide globale a été estimé, d'une façon approximative, à environ 50% dans les formations peu érodable jusqu'à 10-15% dans les formations très érodable [PNUD, 1987]. Notons que ces méthodes sont basées sur des modèles purement empiriques.

Ainsi, pour l'estimation des apports solides d'un cours d'eau, les ingénieurs ont toujours utilisés des formules empiriques dont la validité d'application est douteuse.

L'objectif de cette étude est la quantification ou la prévision du transport solide dans les oueds algériens en utilisant un modèle théorique qui tient compte du transport solide charrié, des caractéristiques de l'écoulement, du fluide et des sédiments.

Pour ce faire, on a devisé notre travail en deux parties principales :

La première partie du travail a consisté en une synthèse des connaissances acquises, dans ce but, nous avons entrepris une étude bibliographique très approfondie sur la théorie sédimentaire et sur les travaux antérieurs (*Du Boys, MPM, Einstein...*) concernant les méthodes de quantification du transport solide (*charriage et suspension*), et notamment en Algérie.

En second lieu, nous avons élaboré un programme informatique qui permet d'estimer le débit solide par charriage, en utilisant les critères d'utilisation de telle ou telle formule.

A la fin, nous avons exécuté le programme pour un cas réel, la station hydrométrique Pierre de chat (Oued Tafna).

2. Aperçu théorique

a. Modes de transport

Suivant les matériaux rencontrés et suivant les courants d'entraînement, nous n'observerons pas le même transport sédimentaire. En effet, il existe différents modes de transport solide : le transport actif (par charriage) et le transport en suspension.

Le charriage de fond correspond aux éléments les plus gros des alluvions transportées qui glissent ou roulent sur le lit du chenal ou sautent de la crête d'une ride à une autre si la vitesse est suffisamment grande.

La suspension correspond aux éléments plus petits que l'écoulement arrache et soulève du lit du chenal ou de ses berges (talus) et restent en suspension pendant un temps très grand et qui sont alors transportés sur plusieurs kilomètres. Pour ce cas, les vitesses des particules et celles de l'eau sont égales. Le dépôt s'opère ensuite par chute verticale qui est la décantation. Les dépôts de décantation s'effectuent lorsque la dynamique n'est plus suffisante pour maintenir les particules en suspension.

Le transport en suspension peut être conçu comme le stade avancé du transport par charriage, mais les méthodes analytiques ne permettent pas de bien d'écrire les deux modes de transport par une relation unique.

La localisation de l'interface entre la partie concernée par le charriage et celle où se situe la suspension, n'est pas très distincte et est dure à déterminer.

b. Le critère fondamental de l'érosion

Plusieurs études ont montré que dans un écoulement, un débit minimum est nécessaire pour que les particules déposées au fond puissent commencer à se déplacer.

Il n'y aura érosion donc qu'à partir d'une certaine force de courant, pour une hauteur d'eau et pour une catégorie de matériaux donnée.

- La force tractrice

Elle représente le produit du tirant d'eau par la pente hydraulique et par le poids spécifique de l'eau. Cette formule a été pour la première fois proposée par *Du Boys* en 1879, mais elle resta dans l'ombre pendant longtemps. Cette formule est l'équation de base de *la théorie de la force tractrice* : $\tau = \gamma h J$

On peut définir la *vitesse de cisaillement* due aux granulats u^* , et le *Reynolds* de grain R^* :

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \quad , \quad R^* = \frac{u^* d}{\nu}$$

u^* est similaire à une vitesse mais elle n'a pas de sens physique réel.

- La force tractrice critique

La force tractrice critique τ_c est donné comme suit : $\tau_c = A(\rho_s - \rho) g d$

Le paramètre A est déterminé expérimentalement et dépend de R^* , de la forme et de la nature des grains. Il y aura entraînement si $\tau > \tau_c$ ou $\tau^* > \tau_c^*$

c'est à dire si :

$$\frac{\rho g h J}{(\rho_s - \rho) g d} > A$$
$$\frac{h J}{(\rho_s - \rho) d} > A \quad \text{ou} \quad \frac{h J}{(s - 1) d} > A$$
$$\tau^* > \tau_c^*$$

où, τ^* et τ_c^* sont le coefficient de cisaillement adimensionnel et le coefficient de cisaillement adimensionnel critique.

Ramette a effectué une classification de début d'entraînement en fonction de τ^* :

□□	0.01 à 0.05	0.05 à 0.25	0.25 à 2.50	2.50 à 10
Mode de transport	Transport nul	Charriage prépondérant	Charriage et suspension	Suspension prépondérante

3. Formules de quantification du transport solide

Les formules de prévision du transport solide sont classées comme formules de transport solide par charriage (Formule de Du Boys, Formule de *Schoklitsch*, formule de Meyer-Peter et Muller 1948, Einstein 1942...), en suspension ou total (en suspension et par charriage).

La première formule de transport solide a été proposée par *Du Boys*, en 1879. Depuis, beaucoup de formules n'ont cessées d'apparaître.

Une des méthodes les plus utilisées pour la quantification du transport solide en suspension est la méthode statistique. C'est une méthode de quantification automatique des apports solides à partir des débits liquides. Le principe de la méthode consiste en la recherche de relation entre le débit solide et le débit liquide.

Les recherches ont aboutit à une corrélation de type puissance entre les débits solides et liquides, les deux paramètres sont déterminés à partir des séries observées [Benchabekh, 1995].

Pour le transport total du fond, il existe deux méthodes:

□ Les *méthodes indirectes* déterminent le transport total par l'addition d'une formule de transport par charriage et d'une formule de transport en suspension. Les *méthodes directes* déterminent le transport solide total directement (Formule de Laursen (1958), Formule de Colby (1964), Formule d'Engelund et Hansen (1967), Formule de Shen et Hung (1971), Formule d'Ackers et White (1973), Formule de Karim et Kennedy (1981; 1990), Formule de Van Rijn (1989) ...).

Toutes ces formules ont le défaut de la non-universilité. En effet, ces formules ne sont valables que pour les conditions spécifiques qui ont servi de base à l'établissement de leurs coefficients empiriques.

4. Méthodes de quantification de transport solide en Algérie

a. Etudes réalisées sur le transport solide et l'érosion en Algérie

De nombreuses études expérimentales avaient été consacrées au problème de l'érosion. Les principaux résultats ont permis d'appréhender, sur une base scientifique, le mécanisme de l'érosion. Les études effectuées sont :

1- Medjinger (Mars 1960) ; 2- Tixeront (Août 1960) ; 3- Capolini (1965-1969) ; 4- Sogreah (1969) ; 5- Demmak (1982) ; 6- Etude PNUD/OPE (1987)

La dernière étude (PNUD/OPE) a montré que l'érosion en Afrique du nord est essentiellement liée à l'énergie du ruissellement. Ce sont les épisodes pluvieux importants entraînant un ruissellement généralisé qui provoque les pertes en terre les plus notables et contribuent à l'essentiel des transports solides à l'exutoire des bassins.

b. Modèles de quantification de transport solide en Algérie

L'ensemble des modèles de quantification concernent seulement le transport solide en suspension, le taux de charriage dans le transport solide globale est estimé, d'une façon approximative, à environ 50% dans les formations peu érodables jusqu'à 10-15% dans les formations très érodables.

Ces méthodes sont basées sur des modèles empiriques : formule de Fournier (1960), formule de Tixeront (1960), formule Sogreah (1969), formule de Gavrilovic, formule de l'INRH (1982).

5. Elaboration du modèle mathématique

a. Formules de transport solide utilisées

Selon le mode transport, il existe dans la littérature une multitude de formules de quantification du transport solide. Dans cette deuxième partie, nous avons élaboré un programme mathématique qui permet de définir le mode de transport pour un écoulement donné et selon les caractéristiques des grains et du lit, puis de déterminer la formule appropriée à utiliser, enfin de quantifier le transport solide par charriage au droit d'une station hydrométrique.

Le modèle est basé sur la classification de Ramette, qui permet de définir le mode de transport.

Tout d'abord on introduit les données du problème puis on calcule la force de frottement et la force de frottement critique. En comparant ces deux valeurs on détermine le mode transport. Ainsi défini, l'utilisateur choisit la formule de quantification du débit solide, soit une formule de charriage soit une formule de transport solide en suspension soit une formule de transport solide total. Finalement le programme calcule le débit solide par m³/s.

Dans notre travail on a choisi la formule de Meyer-Peter et Muller, la formule de Schoklitsch et la formule Einstein – Brown pour le calcul du charriage. Et les formules d'Engelund et Hansen, Shen et Hung et la formule d'Ackers et White pour le calcul de transport total.

b. Région d'étude

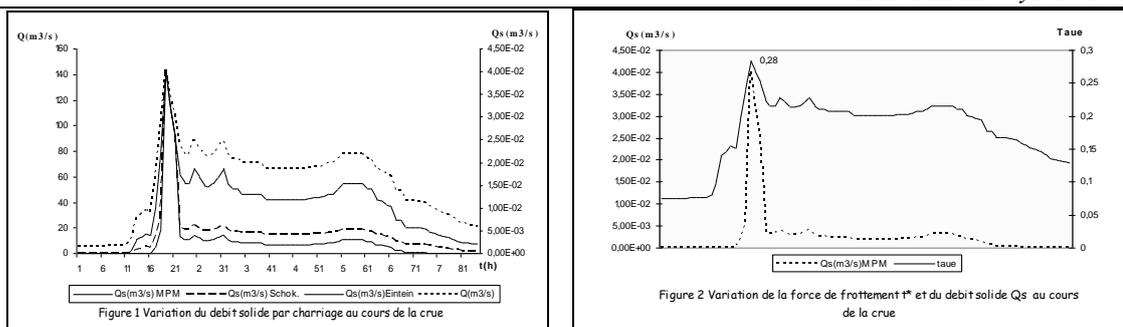
Le modèle ainsi élaboré a été appliqué au bassin versant de la *Tafna*, au droit de la station *Pierre du chat*.

c. Application du programme et discussion des résultats

Après la sélection des crues de la série débits hauteurs, on injecte ces données au programme. Nous avons exécuté le programme pour les trois formules de charriage et les trois formules de transport solide total. Les résultats ainsi obtenus sont présentés sous forme de graphes (présentés ci-après).

A partir de ces graphes, on peut remarquer que :

- Le début d'entraînement ou le débit critique de la formule d'*Einstein-Brown* est toujours inférieur à celui de la formule de *Schoklitsch* et de la formule de *MPM*.



Le débit solide évalué par la formule d'*Einstein-Brown* est plus important à celui de la formule de *Schoklitsch* et de la formule de *MPM*.

- Les formules *MPM* et *Schoklitsch* donnent des valeurs rapprochées.
- Lorsque le débit atteint une certaine valeur, le transport solide est calculé par une formule de transport solide total. Cette valeur correspond à τ^* supérieur à 0.25.

Nous avons tracé les courbes d'ajustement en puissance et linéaire de chaque formule après avoir enlevé les points correspondants aux formules de transport solide total.

La formule d'*Einstein* est mieux ajustée par une courbe en puissance, tandis que les autres formules sont plutôt ajustées par une courbe linéaire.

Pour les courbes d'ajustement en puissance, le coefficient b ne varie pas d'une façon considérable, il est pratiquement constant pour les différentes crues et pour chaque formule. Tandis que le paramètre a varie pour les formules *Schoklitsch* et *MPM*. On peut en conclure, pour ces deux formules, que le coefficient a est sensible aux caractéristiques de la crue.

Concernant les courbes de tendance linéaire pour les formules *MPM* et *Schoklitsch*, le coefficient a ne varie pas d'une façon considérable pour les crues et pour les formules. Le coefficient b a presque la même valeur pour une même formule, celui de la formule de *Schoklitsch* est inférieur à celui de la formule de *MPM*, cela est dû probablement au fait que le débit critique de la formule de *Schoklitsch* est inférieur à celui de la formule de *MPM*.

Nous avons, ensuite, exécuté le programme pour deux années hydrologiques (1974 et 1992) (tableau 2). Notons que la courbe d'ajustement linéaire est mieux adaptée que celle en puissance car son coefficient de détermination R^2 est plus grands et atteint 0.99.

Nous avons présenté la variation de τ^* au cours de dix années hydrologiques. τ^* est dans la plus part des cas, inférieur à 0.25 (il a atteint 0.63), ceci montre que le débit solide charrié est supérieure à celui en suspension, le charriage est prépondérant. Le transport solide est donc évalué par une formule de charriage et une formule de transport solide totale.

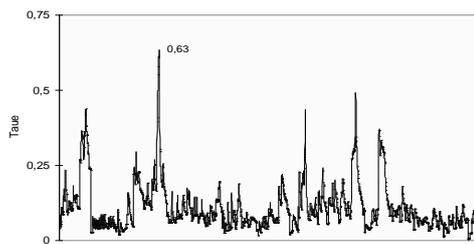
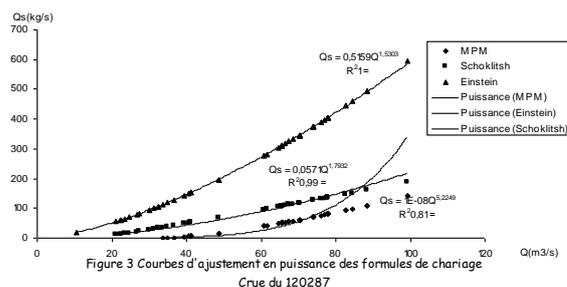


Figure-7 Variation de la force de frottement τ^* au cours des crues pendant une période de 10 ans (Qued Tafna)

- Evaluation de l'envasement moyen annuel

Pour évaluer l'envasement moyen annuel, nous avons choisi une période de 10 ans, la série comporte 4859 enregistrements correspondant à 73 crues, ensuite nous avons calculé la somme des transports solides engendrés par l'ensemble des crues de cette période.

L'envasement moyen annuel est estimé par deux formules selon le type de transport, une formule de charriage si τ^* est inférieur à 0.25, une formule de transport solide total si τ^* est entre 0.25 et 2.5 (nous avons utilisé la formule de *Shen-Hung* car elle donne des débits solides plus importants par rapport à la formule d'*Engelund-Hansen*):

a. *Schoklitsch et Shen-Hung* est : $E = 0.15 \text{ Mm}^3/\text{an}$;

b. *MPM* est : $E = 0.020 \text{ Mm}^3/\text{an}$;

c. *Einstein et Shen-Hung* est : $E = 0.166 \text{ Mm}^3/\text{an}$.

Pour le cas b. le transport solide est toujours calculé par la formule *MPM* car le τ^* corrigé est toujours inférieur à 0.25.

- Ajustement des formules par une courbe de tendance

Finalement nous avons tracé les courbes d'ajustement de la série des dix années des formules *MPM* et *Schoklitsch* correspondant à la *Tafna*.

La courbe de tendance linéaire de la formule de *MPM* présente mieux la formule, le coefficient de détermination $R^2 = 0.97$. Alors que la courbe de tendance linéaire ne présente pas la formule de *Schoklitsch*, elle a un faible coefficient de détermination $R^2 = 0.6$.

A partir des graphes, on peut remarquer que la courbe de tendance puissance de la formule de *MPM* (figure 9-a) est fiable pour des débits liquides inférieur à $700 \text{ m}^3/\text{s}$. Tandis que la courbe de tendance puissance correspondant à la formule de *Schoklitsch* est fiable pour des débits liquides inférieur à $180 \text{ m}^3/\text{s}$.

En adoptons les courbes de tendance puissance on a :

- *MPM* est présentée par : $Q_s(\text{kg/s}) = 0.0019 Q^{2.1263}$ si $Q < 700 \text{ m}^3/\text{s}$
- *Schoklitsch* est présentée par : $Q_s(\text{kg/s}) = 0.0218 Q^{1.8475}$ si $Q < 180 \text{ m}^3/\text{s}$

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des coefficients a et b des courbes de tendance.

	A				B			
	Schoklitsch		MPM		Schoklitsch		MPM	
	Puissance	linéaire	Puissance	linéaire	Puissance	linéaire	Puissance	linéaire
Crue 1	0.057	2.26	10^{-8}	2.06	1.79	40.9	5.22	81.23
Crue 2	0.028	2.25	5.10^{-7}	2.2	2.00	33.85	4.46	74.47
Crue 3	0.009	2.23	6.10^{-7}	2.16	2.28	32.95	4.4	73.26
1974	0.009	2.18	4.10^{-9}	2.14	2.0	87.03	4.58	208.2
1992	0.002	2.2	5.10^{-5}	2.49	2.64	31.36	3.36	92.42
10 ans	0.0218	2.18	0.0019	3.49	1.85	69.89	2.13	363.4

A partir de ces formules on peut calculer le débit solide annuel moyen correspondant au débit liquide moyen annuel de $82.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (tableau 3):

Tableau 3 : Débit solide annuel pour les différentes formules.

	Q_s annuel (kg/s)	Q_s annuel (Mtonnes/an)	Q_s annuel (Mm ³ /an)
Suspension ajustée	67.79	2.14	0.0807
Schoklitsch ajustée	75.53	2.38	0.0899
MPM ajustée	22.58	0.71	0.0269

Le débit solide en suspension est calculé à partir de la formule de la courbe d'ajustement en puissance de la série enregistrée des débits solide en suspension.

Le modèle d'ajustement de la formule de *MPM* donne un débit solide moyen annuel ($0.0269 \text{ Mm}^3/\text{s}$) de même ordre de grandeur de la valeur calculée précédemment ($E=0.020 \text{ Mm}^3/\text{an}$).

Le modèle d'ajustement de la formule de *Schoklitsch* (le débit charrié) donne un débit solide moyen annuel ($0.0899 \text{ Mm}^3/\text{an}$) de même ordre de grandeur du débit solide moyen annuel en suspension ($0.0807 \text{ Mm}^3/\text{an}$). La somme de ses deux valeurs donne un débit solide totale $0.1706 \text{ Mm}^3/\text{an}$ de même ordre de grandeur de la valeur calculée précédemment ($E=0.15 \text{ Mm}^3/\text{an}$).

On peut en conclure que le débit solide de la Tafna doit être estimé par une formule de charriage et une formule de transport solide total ou bien par une formule d'ajustement en puissance d'une formule de charriage plus une formule d'ajustement de la courbe des données de la suspension enregistrées.

6. Conclusion

Par le présent travail nous avons essayé de faire une synthèse des études et des recherches faite sur le phénomène de l'érosion et des transports solides, dans le monde notamment en Algérie.

A ce jour, aucune formule n'est appliquée, *universellement*, avec succès. Chaque formule donne des résultats satisfaisants que dans un domaine limité de valeurs des paramètres. Cependant elles sont rares celles qui donnent plus au moins de bons résultats dans le cas des cours d'eau naturels. Cela est dû à la complexité du phénomène au fait de la multitude et de l'interdépendance des paramètres qui entrent en jeu.

En Algérie, toutes les formules utilisées sont des formules empiriques dont leur fiabilité est douteuse. De plus elles n'estiment que le transport solide en suspension, le transport solide charrié est estimé de 10 à 50%, selon les formations, du transport solide calculé.

De ce fait, nous avons élaboré un programme informatique qui permet de calculer le transport solide charrié (dans le cas où il est prépondérant) en utilisant la formule de *Meyer-Peter et Muller* et la formule de *Schoklitsch*. Le programme permet de déterminer le mode de transport solide (par charriage, en suspension ou total) pour chaque oued, et ce, on se basant sur la classification de *Ramette*.

Les points essentiels tirés de notre étude sont :

✚ Le transport solide est un phénomène très complexe. Suivant les matériaux rencontrés et suivant les courants d'entraînement, nous n'observerons pas le même transport sédimentaire. En effet, il existe deux formes de transport sédimentaire : transport solide actif, transport solide en suspension. Mais il n'existe pas de délimitation nette entre ces deux formes de transport, alors que chaque forme de transport est basée sur une théorie différente.

✚ A leur tour, les formules de prévision de transport solide peuvent être classées comme formules de transport solide par charriage, en suspension, ou total (en suspension et par charriage), et ce selon le régime d'écoulement. Pour un régime d'écoulement donné, si $\tau^* < 0.25$, l'estimation du transport solide totale fait appel à une formule de charriage seulement.

✚ Il existe une multitude de formules de transport solide charrié, le choix adéquat d'une formule est très délicat. Ces formules ne donnent de résultats satisfaisant que dans un domaine limité. Leur application doit se faire avec beaucoup de prudence.

✚ Aucune formule mathématique n'a été appliquée dans notre pays, les formules utilisées à ce jour sont des formules empiriques dont leur résultat est peu appréciable et leur fiabilité est douteuse. De plus elles ne donnent que le transport solide en suspension.

Dans notre étude nous avons essayé de contribuer à l'estimation du transport sédimentaire avec une méthode mathématique semi universelle. Nous ne pouvant pas la qualifier comme parfaite car elle présente une simple étape d'une étude plus poussée qui demande toute une politique de recherche et à tous les niveaux.

7. Bibliographie

Allard J. Chee P., (1989). *Modélisation du charriage en écoulement fluvial*. La Houille Blanche N°3/4, p277-p280.

Belleudy Ph., (1996). *Transport solide*. Cours par Internet.

Belleudy Ph., Schuttrumpf H., (1994). *Modélisation de l'évolution morphologique du Danube et de l'Isar*. La Houille Blanche N°4, p72-p77.

Ben Slama E. et al., (1994). *TSAR : Un modèle mono-dimensionnel de simulation des évolutions des fonds alluvionnaires des rivières*. La Houille Blanche N°4, p87-p95.

Benchabekh A., (1995). *Etude générale sur les transports solides*. Rapport N°1 : Définition de la méthodologie d'approche et application au bassin versant de la Tafna, ANRH.

- Benhadj A., (1994). *Contribution à la modélisation statistique du transport solide en suspension, Projet de fin d'études*, Mémoire d'ingénieur, ENP.
- Benkhaled A., (1983). *Technologie de mesure des transports solides en suspension*, INA.
- Binni Partner, (1984). *Schéma d'aménagement des ressources en eau dans la région d'Alger-Sebao*. Rapport N E3, Barrage de Beni Amrane, Etudes des crues et de sédimentation des réservoirs, 83p.
- Boukarta, (1995). *Mise au point d'une méthode de quantification automatique des apports solides à partir des débits liquides*, Projet de fin d'études, ENP.
- Cardoso A.H. Neves G.H., (1994). *Prévision du transport solide total: Evaluation des formules existantes*, La Houille Blanche N°4, p13-p22.
- Chow, (1960). *Handbook of applied hydrology*.
- Demmak A., (1982). *Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale*. Thèse de Doctorat, Paris6.
- Gomez b., Church M., (1989). *An Assesment of bed load sediment transport formulae for gravel rivers*, WRR, vol25, N°6, p1161-1181, June 1989.
- Graf W. H., (1996). *Hydraulique fluviale T2 : Ecoulement non permanent et phénomène de transport*. Presses polytechniques et universitaires romandes, 375p.
- Harbi, (1990). *Etude du transport solide et application des techniques nucléaire*. Projet de fin d'études, ENP.
- Kassoul M. (1999) Prédétermination de la durée de vie de barrages en Algérie, La houille Blanche N°3/4, p89-p94.
- Larfi, (2001). *Etude de transport solide dans le bassin versant de oued Isser*. Mémoire de Magister, Départ. Génie rural, Université de Blida.
- Larras J., (1972). *Hydraulique et granulats*, Eyrolles, 260p.
- Larras J., (1977). *Fleuves et rivières non aménagés*, Eyrolles, 187p.
- Lebreton J.C., (1974). *Dynamique fluviale*, Eyrolles, 235p.
- Leliavsky S., (1961). *Précis d'hydraulique fluviale*. Dunod, 256p.
- Levoy F. et al, (1994). *Transport sédimentaire sous l'interaction houle-courant : Validation des formules de transport*. La Houille Blanche N°4, p29-p34.
- Nguyen T. D. et al., (1994). *Modélisation numérique du transport solide en écoulement non permanent*, La Houille Blanche N°4, p78-p86.
- PNUD, (1987). *Ressources en eau dans les pays de l'Afrique du Nord*. Guide Maghrébin pour l'exécution des études et des travaux de retenues collinaires, Partie 1 : Etude de l'érosion et du transport solide dans les zones semi-arides.
- PNUD, (1987). *Ressources en eau dans les pays de l'Afrique du Nord*. Rapport technique, Partie 1 : Etude de l'érosion et du transport solide dans les zones semi-arides, 33p.
- Rouas G., Monadier P., (1989). *La modélisation du transport solide en rivière*. La houille Blanche N°3/4, p259-p262.
- Van Rijn L. C., (1989). *Handbook Sediment transport by currents and waves*, Delft Hydrauliks, 307p.