

République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement

Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Hamma Lakhdar El-Oued Faculté des



sciences et de la technologie

Département d'Hydraulique et génie civil

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme Master en Hydraulique

Option : *Conception et Diagnostic des systèmes d'AEP et d'assainissement*

THEME

**Contribution à l'étude de l'approche numérique pour
l'estimation des débits solides d'Oued Righ
– Touggourt-**

Réalisé par :

Mr. BELMESSAOUD Mohammed Chaker

Mr. MASTOUR Djounaidi

Mr. TEI Youcef

Dirigée par :

Melle Assia MEZIANI

Dr. Sayeh Moubarek Mouhammed

Dr. Melle Assia Meziani

Dr. Khater Ibtissame

Maitre de conférences A

Maitre de conférences A

Maitre de conférence A

Président

encadrer

Examineur

PROMOTION : Septembre 2022

Remerciements

D'abord, nous remercions fort bien dieu qui donne l'opportunité d'apprendre langue différente de la mienne, qui m'a permis, de rédiger ce mémoire.

Nous remercions à tous les enseignants et les étudiants du département d'hydraulique.

Plus profonde gratitude va à. Mlle Assia Meziani pour ses efforts, sa collaboration avec nous et ses conseils et orientations dans notre note de fin d'études. En fin, Nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail et ceux qui travaillent pour la science et le pays.

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail ma
chère mère, À mon père qui m'ont
toujours soutenu*

Et aidé à affronter les difficultés,

*Pour tous ce qui ont fait pour que je puisse
les Honorer, et leur patience durant ma vie.*

*A mes très chers frères et à mes chères
sœurs, à toute ma famille*

A mes chers amis.

BELMESSAOUD MOHAMMED CHAKER

MASTOUR DJOUNAIDI

TEI YOUCEF

Summaries

ملخص	10
Abstract.....	10
Résumé	11
Introduction générale.....	12
CHAPITRE I : Présentation de la région d'étude	13
1.1.Localisation de la région d'Oued-Righ :	13
1.2.Climatologie :.....	15
1-2-1-Données météorologiques de la région d'Oued-righ :	15
1-2-2-Température :	15
1-2-3-Précipitations :.....	16
1-2-4-Humidité relative de l'air :	17
1-2-5-Vents :	17
1-2-6-Evaporation :.....	18
1-2-7-Durée d'insolation :	18
1-2-8-Indiced'Emberger :	19
1-2-9-Indice d'aridité :	19
1-2-10-Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de l'Oued-Righ :	20
1-2-11-Topographie :	21
1-2-12-Hydrogéologie :.....	22
1.3.La zone d'étude.....	23
1-3-1- Description du canal.....	23
1-3-2- Caractéristiques des Stations.....	25
Conclusion :	29
CHAPITRE II : Formules d'estimation de transport solide	30
2.1.Introduction.....	30
2-1-1-La compétence :	30
2-1-2-La capacité :	31
2.2.Modes de transport :.....	31

2.3.Le formules utilisation pour calcul transport solide	33
2-3-1-les formules de transport	33
2-3-2-Principes de la modélisation et paramètres adimensionnels	33
2-3-3-LES FORMULES METTANT EN OEUVRE LA CONTRAINTE.....	35
2-3-4-LES MODELES EN DEBIT.....	36
2.4.Paramètre utilise dans la formule.....	39
2-4-1-Caractéristiques géométriques des paramètres hydrauliques.....	39
2.5.Résultats.....	43
2-5-1-Engelund et Hansen	43
2-5-2-Meyer-Peter et Mueller	43
2-5-3-Parker	44
2-5-4-Einstein Brown.....	44
2-5-5-Ackers et White.....	45
2-5-6-Recking et Al	45
2-5-7-Mizuyama.....	46
2-5-8-Schoklitsch1962	46
2.6.Interprétation de résultats.....	47
CHAPITRE III : Proposition d'une nouvelle approche numérique pour l'estimation du transport solide	49
3.1. Présentation du modèle proposé	49
3-1-1-Statistiques descriptives:	49
3-1-2-Matrice de corrélation :.....	49
3-1-3-Statistiques de multicolinéarité:	50
3-1-4-Régression de la variable Parker:.....	50
3-1-5-Coefficients d'ajustement :	50
3-1-6-Analyse de la variance:	50
3-1-7-Paramètres du modèle :.....	51
3-1-8-Equation du modèle :	51
3-1-9-Coefficients normalisés :.....	51
3-1-10-Prédictions et résidus :	52

3-1-11- Prédiction et résidu:	53
3.2. Résultat numérique	55
3.3. Validation du modèle proposé :	55
Conclusion	56
Conclusion générale	57
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	58

Liste des figures

Figure 01	Carte de situation géographique de la région d'Oued-Righ.	15
Figure 02	Températures moyennes mensuelles à la station de Touggourt (2000-2021)	17
Figure 03	Précipitations moyennes mensuelles à la station de Touggourt (2000-2021)	17
Figure 04	Humidités moyennes mensuelles à la station de Touggourt (2000-2021)	18
Figure 05	Vitesses moyennes mensuelles des vents à la station de Touggourt (2000-2021)	18
Figure 06	Evaporations moyennes mensuelles à la station de Touggourt (2000-2021)	19
Figure 07	Insolations moyennes mensuelles à la station de Touggourt (2000-2021)	19
Figure 08	Place de la région d'Oued-Righ dans le climagramme d'Emberger	21
Figure 09	Diagramme Ombrothermique de Bagnols et Gausson de la région d'Oued-Righ(2000-2021).	22
Figure 10	Trajectoire du canal d'Oued Righ [earth explore., 2022]	26
Figure 11	Schéma du canal collecteur et Stations hydrométriques	27
Figure 12	Cartes du canal collecteur et Stations hydrométriques	29
Figure 13	Diagramme de Hjulstrom	32
Figure 14	Différent type de transport solide en rivière.	33
Figure 15	Différent type de transport solide en rivière	33
Figure 16	Etapas de la modélisation du transport solide (avec ou sans calcul de la contrainte	35
Figure 17	Obtenus avec chaque formule testée	48
Figure 18	Prédictions et résidues	52
Figure 19	Efficacité du nouveau modèle 1	54
Figure 20	Efficacité du nouveau modèle 2	54
Figure 21	Efficacité du nouveau modèle 3	55
Figure 22	La comparaison des résultats du débit par modèle proposé	56

Liste des tableaux

Tableau 01	Données climatiques de la région d'Oued-Righ pour la période 2000-2021 (O.N.M. de Touggourt, 2021)	15
Tableau 02	Coordonnées géographiques (GPS) et topographie des Stations	35
Tableau 03	Principales caractéristiques des formules de transport testées utilisant la contrainte	36
Tableau 04	Principales caractéristiques des formules de transport utilisant le débit	41
Tableau 05	Les Caractéristiques géométries	42
Tableau 06	Valeur de diamètre D ₃₅ , D ₅₀ et D ₉₀	43
Tableau 07	Les résultats de calcul du débit (Engelund et Hansen)	43
Tableau 08	<i>Les résultats de calcul du débit (Meyer-Peter et Mueller)</i>	44
Tableau 09	<i>Les résultats de calcul du débit (Parker)</i>	44
Tableau 10	<i>Les résultats de calcul du débit (Einstein Brown)</i>	45
Tableau 11	Les résultats de calcul du débit (Ackers et White)	45
Tableau 12	Les résultats de calcul du débit (Reking et Al)	46
Tableau 13	Les résultats de calcul du débit (Mizuyama)	46
Tableau 14	<i>Les résultats de calcul du débit (Schoklitsch1962)</i>	47
Tableau 15	Statistiques descriptive	48
Tableau 16	Matrices de corrélation	48
Tableau 17	Statistiques de multicollinéarité	49
Tableau 18	Régression de la variable Parker	49
Tableau 19	Coefficients d'ajustement	49
Tableau 20	Analyse de la variance	49
Tableau 21	Parameters du modèle	50
Tableau 22	Coefficients normalisés	50
Tableau 23	Observation du prédictions et résidus	52
Tableau 24	Résultat numérique de chaque station par modelé proposé	54

LISTE DES PHOTO

Photo 1	La vitesse de l'écoulement de la station Boufeggoussa (2022)	23
Photo 2	Destruction des berges en sable à cause des turbulents à Boufeggoussa (2022)	24

Liste des abréviations

<i>D_i</i>	Diamètre de grain (l'indice indique « en % plus fin que »)
<i>D₅₀</i>	Diamètre médian
<i>D_m</i>	Diamètre moyen arithmétique = $\Sigma(diPi)/P$ (di diamètre, Pi poids)
<i>f</i>	Coefficient de frottement de Darcy Weisbach
<i>Fr</i>	Nombre de Froude
<i>H</i>	Profondeur de l'écoulement
<i>K</i>	Coefficient de résistance de Strickler de l'écoulement
<i>K'</i>	Coefficient de résistance de Strickler pour les grains
<i>L</i>	Largeur du lit ou du canal
<i>Q</i>	Débit
<i>q</i>	Débit unitaire (Q/L)
<i>q_{sv}</i>	Débit solide volumique unitaire
<i>Q_s</i>	Débit solide à l'équilibre
<i>q_s</i>	Débit solide unitaire ($q_s=Q_s/W$)
<i>R</i>	Rayon hydraulique
<i>Re</i>	Nombre de Reynolds
<i>Re*</i>	Nombre de Reynolds particulaire
<i>S</i>	Pente
<i>s</i>	Densité relative
<i>U</i>	Vitesse moyenne
<i>u*</i>	Vitesse de frottement
<i>w</i>	Vitesse de chute
Φ	Transport solide adimensionnel
<i>K</i>	Coefficient de Von Karman (0.4)
Θ	Paramètre de Shields
θ_c	Paramètre critique de Shields pour le début de mouvement
θ_l	Paramètre de Shields pour la transition du régime 2 au régime 3
ρ	Masse volumique de l'eau
ρ_s	Masse volumique du sédiment
τ	<i>Contrainte moyenne au fond</i>
O.N.M.	<i>Office national de météorologie</i>
GPS	<i>Système de positionnement mondial</i>

ملخص

تعتبر قناة وادي ريغ هي المسؤولة بشكل اساسي عن تصريف المياه القذرة والمنزلية والمياه الفلاحية الزائدة، وحيث انها لها تأثير على خفض المياه في الطبقة الحرة والمياه الفلاحية.

من اجل هذا قمنا بدراسة تقنية حول تكوين وأصل القناة وادي ريغ ومشكلة النقل الرواسب بهذه القناة وكذلك دراسة الظروف المناخية في هذه المنطقة من اجل الدراسة الهيدروليكية، اخترنا 10 عشر محطات على طول القناة، وهي تمثل نقاط دراسة مناسبة لحساب الخصائص الهيدروليكية التدفق، السرعة المتوسطة للجريان وكذلك نوعية التدفق وغيرها من الحسابات.

وقد استعملنا طريقة الحاسب الرقمي بواسطة برنامج الاكسل لعدة علماء في نقل الرواسب انطلاقا من دراسات سابقة عن القناة وفي الاخير وبعد دمج علاقات وجدنا علاقة متطابقة مع أحد أشهر العلماء في دراسة النقل الرواسب وكانت نتائج متقاربة جدا ان لم نقول متطابقة.

الكلمات الافتتاحية: وادي ريغ، قناة وادي ريغ، نقل الرواسب، دمج العلاقات، برنامج الإكسل.

Abstract

Oued Righ Main Channel is primarily responsible for drainage of dirty water, house water and excess agricultural water as it has effect of lowering the water level of free-layer, And peasant water.

That's why we have conducted a Technique study on the composition and origin of «OuedRigh Channel» and the problems associated with it, as well as the study of the ground geological and hydrological layers and the study of the climatic conditions of this region.

For the hydraulic study of the channel, we chose 10 stations along the channel that are suitable study points to calculate the hydraulic characteristics : (the flow, medium speed, of flow as well as flow quality. and other calculations.

We have used the numerical calculation method using the Excel program for several scientists in order to transport solids based on previous studies on the channel Finally, after integrating the relationships, we found an identical relationship with one of the most famous scientists in the study of solid transport, and the results were very close if not identical.

Keywords: Oued Righ – Oued Righ Canal – solid transport – Numerical approche- Excel program.

Résumé

Le canal principal d'Oued Righ est principalement responsable de l'évacuation des eaux d'assainissement et des eaux du drainage agricole, et donc il a pour effet de baisser le niveau de la nappe phréatique, Et l'eau paysanne ; C'est la raison pour laquelle, nous avons à une étude Technique sur la composition et l'origine du canal d'Oued Righ et les problèmes associés, l'étude des couches géologiques et hydrologiques du sol ainsi que sur les conditions climatiques de cette région.

Pour l'étude hydraulique du canal, nous avons choisis dix (10) stations le long du canal qui sont des points d'étude appropriés pour calculer les caractéristiques hydrauliques, (le débit, la vitesse moyenne, régime d'écoulement. Et d'autres calcul ont été entamés.

Nous avons élaboré une méthode de calcul numérique à l'aide d'un programme statistique pour estimer le transport solide dans ce canal.

Enfin, après intégration des relations, nous avons élaboré une approche numérique permettant l'estimation du transport solide au niveau du canal d'Oued Righ, et les résultats étaient très proches on peut dire sont presque identiques.

Mots clés : Oued Righ – Canal – transport des solides. Approche numérique- Programme Excel.

Introduction générale

De nombreux hydrauliciens ont cherché à établir des relations permettant d'estimer le débit solide d'un cours d'eau, à partir de nombreuses mesures en modèle réduit ou sur des fleuves. Ces différentes formules donnent rarement des résultats comparables, car elles ont été établies dans des conditions différentes. Il n'y a pas de formule universelle de transport solide. Des dizaines de formules ont été proposées depuis un peu plus d'un siècle de recherche active sur ce sujet, chacune d'entre elles ayant été établie pour des conditions hydrauliques bien particulières.

On a choisi Oued Righ comme la zone d'étude pour caractériser les transports solides.

Ce mémoire s'organise en trois chapitres, le premier chapitre « présentation de la zone d'étude » est consacré au site de l'étude, les contextes géographique, climatique, géologique, et topographique.

Le deuxième chapitre est destiné pour la présentation des formules d'estimation du transport solide.

Le troisième chapitre nous allons présenter le modèle proposé pour interpréter les résultats que on a obtenue.

En fin une conclusion générale.

CHAPITRE I : Présentation de la région d'étude

1.1. Localisation de la région d'Oued-Righ :

La vallée d'Oued-Righ est située au sud du massif des Aurès, à la partie Nord du Sahara septentrional, le long du grand Erg oriental.

Actuellement, la région est à cheval sur deux wilayas : El Oued, qui comprend la wilayas d'El Meghaier où débute la vallée précisément à la palmeraie d'Oum Thiour et la daïra de Djamaa, qui est le centre de la région wilayas d'El Meghaier.

Au sud par Ouargla qui comprend la daïra de Touggourt, Megarine et Temacine où se termine la région précisément à la palmeraie d'El Goug.

La vallée d'Oued-Righ s'étale sur une distance de cent cinquante (150) km de long et entre vingt (20) km et trente (30) km de large.

Elle est située géographiquement entre les latitudes 23°54 Nord et 34°9 Sud avec une longitude moyenne de 6°Est (**I.N.R.A.A, 2001**).

Cette zone dépressionnaire est bordée à l'Ouest par le plateau Mi pliocène et à l'Est par de grandes dunes de l'Erg oriental. Au Nord, elle est limitée par le plateau Still, au Sud par la région d'EL HADJIRA et le plateau grésseaux d'époque tertiaire (**I.N.R.A.A, 2001**).

De l'amont à l'aval, son altitude passe très progressivement de plus 100 m (El Goug) à moins de 27 m au milieu de chott MARROUANE, en passant par plus de 7 m à Touggourt, plus de 30 m à Djamaa et 0 m de Meghaier, de direction Sud Nord.

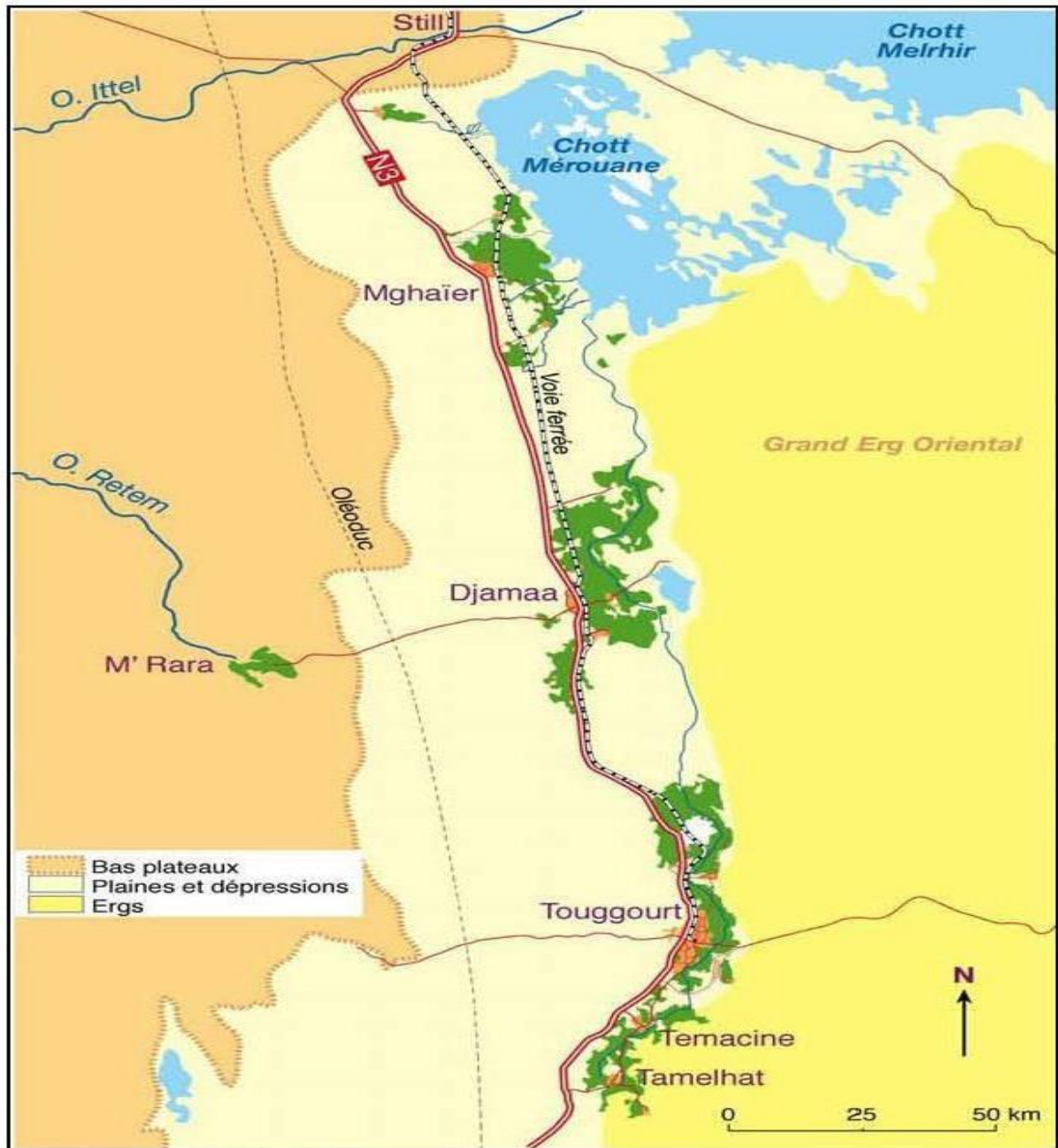


Figure 01 : Carte de la situation géographique de la région d'Oued Righ(SAYAH M,2020).

1.2.Climatologie :

1-2-1-Données météorologiques de la région d'Oued-righ :

En général, la région d'Oued-Righ est caractérisée par un climat sec et aride, accusant un écart de températures important diurne et nocturne et entre saisons (SAYAH,2020).

Les données climatiques enregistrées durant 22 ans (2000-2021), sont données dans les tableaux suivant :

Tableau 01. Données climatiques de la région d'Oued-Righ pour la période 2000-2021 (O.N.M. de Touggourt, 2021).

Paramètre mois	T Max (°C)	T min (°C)	H (%)	V (m/s)	Evap (mm)	Ins (h)	Tmoy (°C)	Préc (mm)
Septembre	27.53	31.09	39.95	10.11	227.3	266.1	29.46	6.77
Octobre	21.81	25.43	46.17	11	181.3	251.7	23.59	4
Novembre	14.88	18.42	54.35	13.43	132	225	16.4	7.14
Décembre	10.05	13.82	61.62	14.18	85.56	217.6	11.63	4.35
Janvier	9.75	12.5	59.83	14.09	82.10	225.85	10.75	9.99
Février	11.91	14.33	49.38	12.7	110.2	237.7	12.96	2.65
Mars	16.41	18.51	43.92	11.01	175.4	284.4	17.53	5.41
Avril	20.44	22.54	39.12	15.63	212.39	284.2	22.09	7.74
Mai	24.50	28.43	34.85	10.52	283.4	306.3	26.87	2.81
Juin	28.79	32.65	31.07	9.34	324.4	342.7	31.25	2.29
Juillet	32.28	36.73	27.47	9.24	347.8	356	34.62	0.45
Aout	31.83	35.80	31.24	8.90	296.7	311.5	34.30	2.27
Moy	30.85*	24.19*	43.25*	11.68*	2458.55*	275.75*	22.62*	4.65*

T M : température maximale.T m : température minimale. H : Humidité relative.

V : vents.

Ins : Insolation

T moy : Température moyennePré : Précipitation

* : Cumul

1-2-2-Température :

CHAPITRE I : Présentation de la région d'étude

La température est soumise à des variations mensuelles importantes, le mois avec 34.6°C est le plus chaud ; alors que le mois de Janvier, avec $10,7^{\circ}\text{C}$, est le plus l'année.

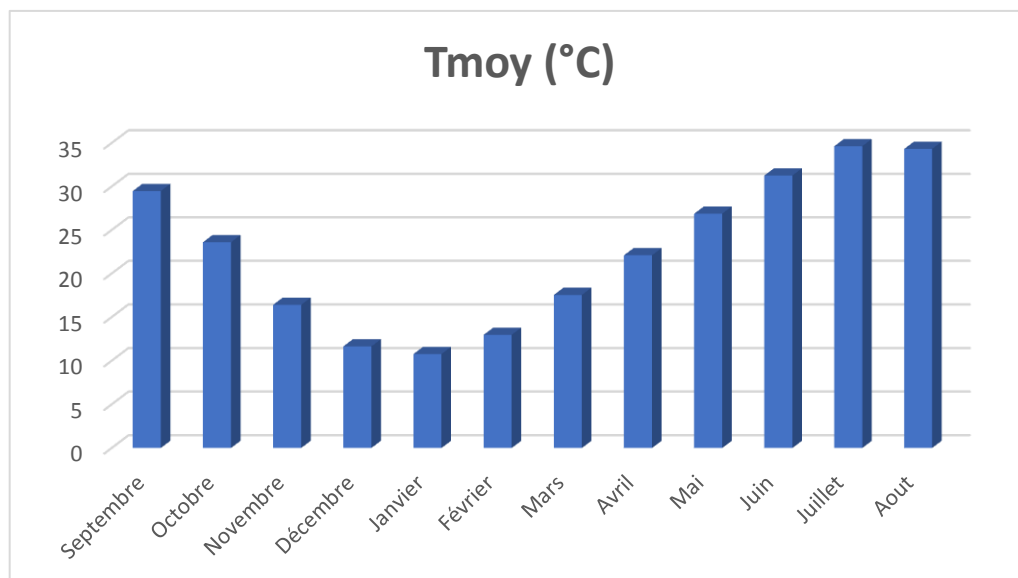


Figure 02 .Températures moyennes mensuelles à la station de Touggourt (2000-2021)

1-2-3-Précipitations :

Les précipitations sont rares et irrégulières, la moyenne annuelle, au cours de la période considérée, est de 4.65 mm.

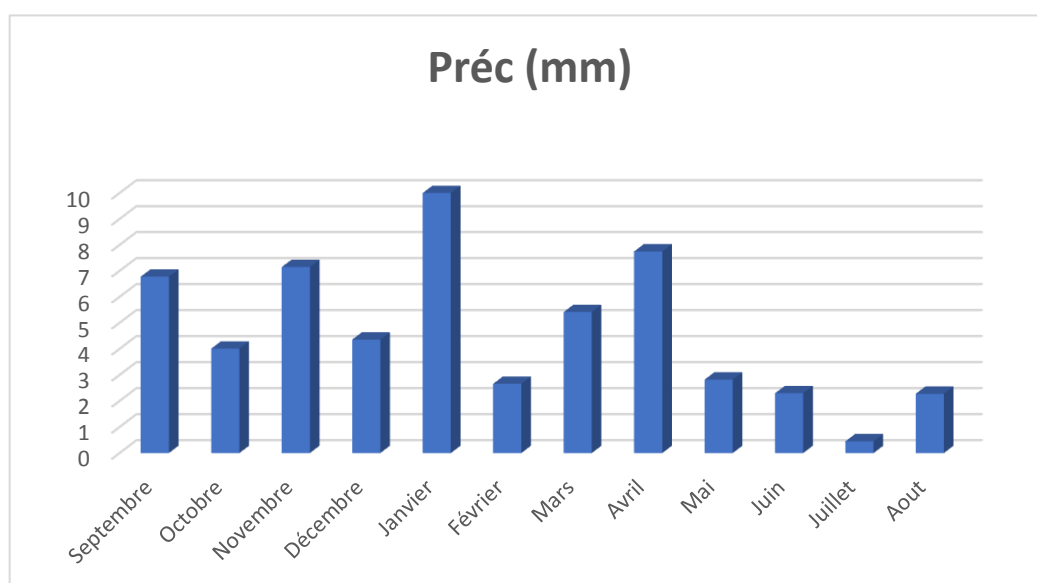


Figure 03. Précipitations moyennes mensuelles à la station de Touggourt (2000-2021)

1-2-4-Humidité relative de l'air :

L'humidité est en fonction des saisons, nous enregistrons un maximum de 61.62% au mois de Décembre et un minimum de 27.47% au mois de Juillet.

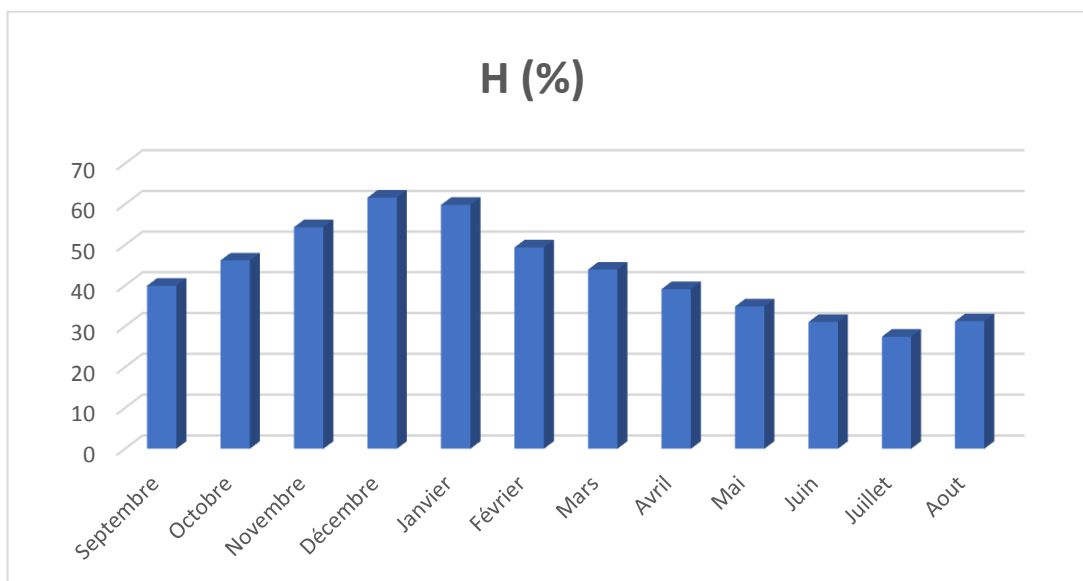


Figure 04. Humidités moyennes mensuelles à la station de Touggourt (2000-2021)

1-2-5-Vents :

Les vents dominants sont surtout ceux du printemps provenant d'Ouest au Nord-Ouest. Les vents les plus forts soufflent en fin d'hiver, début printemps. Les vents de sable arrivent pendant, le mois de Juin et parfois en Juillet (I.N.R.A.A, 2001).

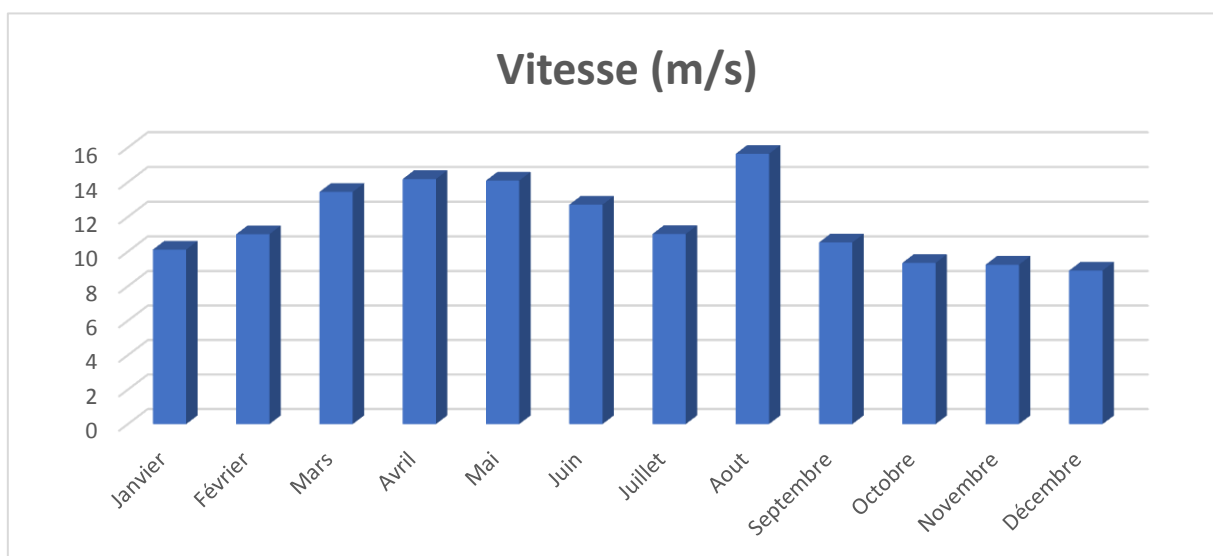


Figure 05. Vitesses moyennes mensuelles des vents à la station de Touggourt (2000-2021)

1-2-6-Evaporation :

L'évaporation est très importante surtout lorsqu'elle est renforcée par les vents chauds. Le cumul est de l'ordre de 2458,55 mm/an avec un maximum mensuel de 347,8 mm au mois de juillet et un minimum de 82,10 mm en mois janvier (tableau I.01).

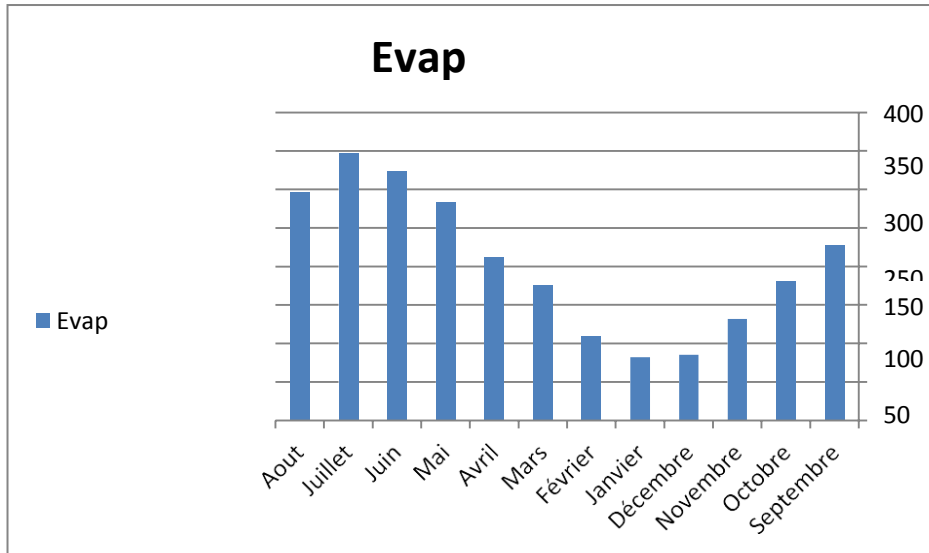


Figure 06. Evaporations moyennes mensuelles à la station de Touggourt (2000-2021)

1-2-7-Durée d'insolation :

La répartition des moyennes mensuelles d'insolation nous permet de constater que la brillance du soleil est maximum au cours du mois de juillet avec une moyenne de 356 heures, et le minimum est enregistré pendant le mois de décembre avec une moyenne de 217,6 heures. Dans la région, le rayonnement solaire est excessif (le moyen annuel est de 3309,5 h/ans) ce qui traduit par un pouvoir évaporant élevé.

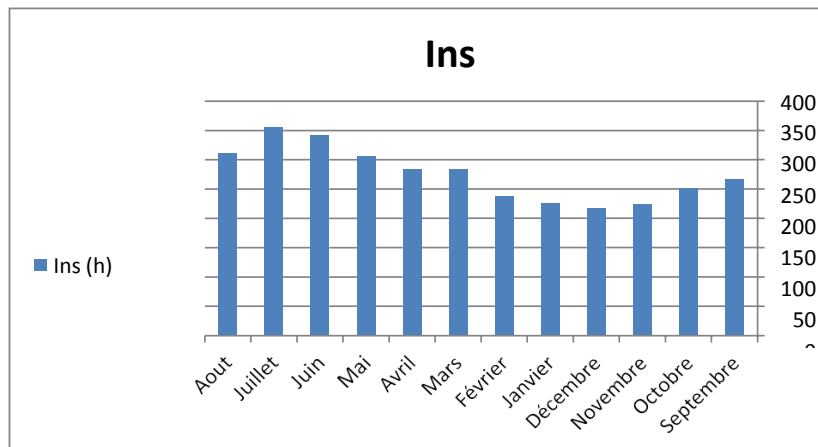


Figure 07. Insolations moyennes mensuelles à la station de Touggourt (2000-2021).

1-2-8-Indiced'Emberger :

L'indice est égal au quotient pluviométrique d'Emberger qui peut s'écrire selon STEWART, (1969) in (SAKHRI, 2000) :

Soit :

$$Q2 = 3.43 P / (M - m)$$

Q2 : quotient pluviométrique d'Emberger (1955) modifié par Stewart (1968) pour l'Algérie et le Maroc.

P : la somme des précipitations annuelles exprimées en (mm).

M : la moyenne des températures maxima du mois le plus chaud en (°C).

m : la moyenne des températures minima du mois le plus froid en (°C).

Après calcul du Q2, la région d'Oued-Righ est classée dans un étage à hiver doux (Q2 = 5.15).

D'après la figure (08), Il est remarqué que la région d'études est située dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux et son quotient thermique (Q2) est de 5.15 à Oued-Righ.

1-2-9-Indice d'aridité :

Cet indice dépend essentiellement des précipitations moyennes mensuelles en (mm) et la température annuelle en (°C), en appliquant la formule suivante :

$$I = P / T + 10$$

I : Indice d'aridité

P : Précipitation moyenne mensuelle 4.65 mm.

T : Température moyenne annuelle 22.62 (°C).

$$P = 80.09 \text{ mm} ; T = 21.6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$I = 80.09 / 21.6 + 10 = 2.53 \text{ mm}/^\circ\text{C}$$

Sur la base des fourchettes de l'indice d'aridité fixées par De Martone, nous pouvons tirer le type de climat de notre région d'étude.

$I < 5$ Climat hyper -aride

$5 \% < I < 7.5$ Climat désertique

$7.5 \% < I < 10$ Climat steppique

$10 \% < I < 20$ Climat semi-aride

$20 \% < I < 30$ Climat tempéré

Ce qui confirme que notre région est caractérisée par un climat hyper aride.

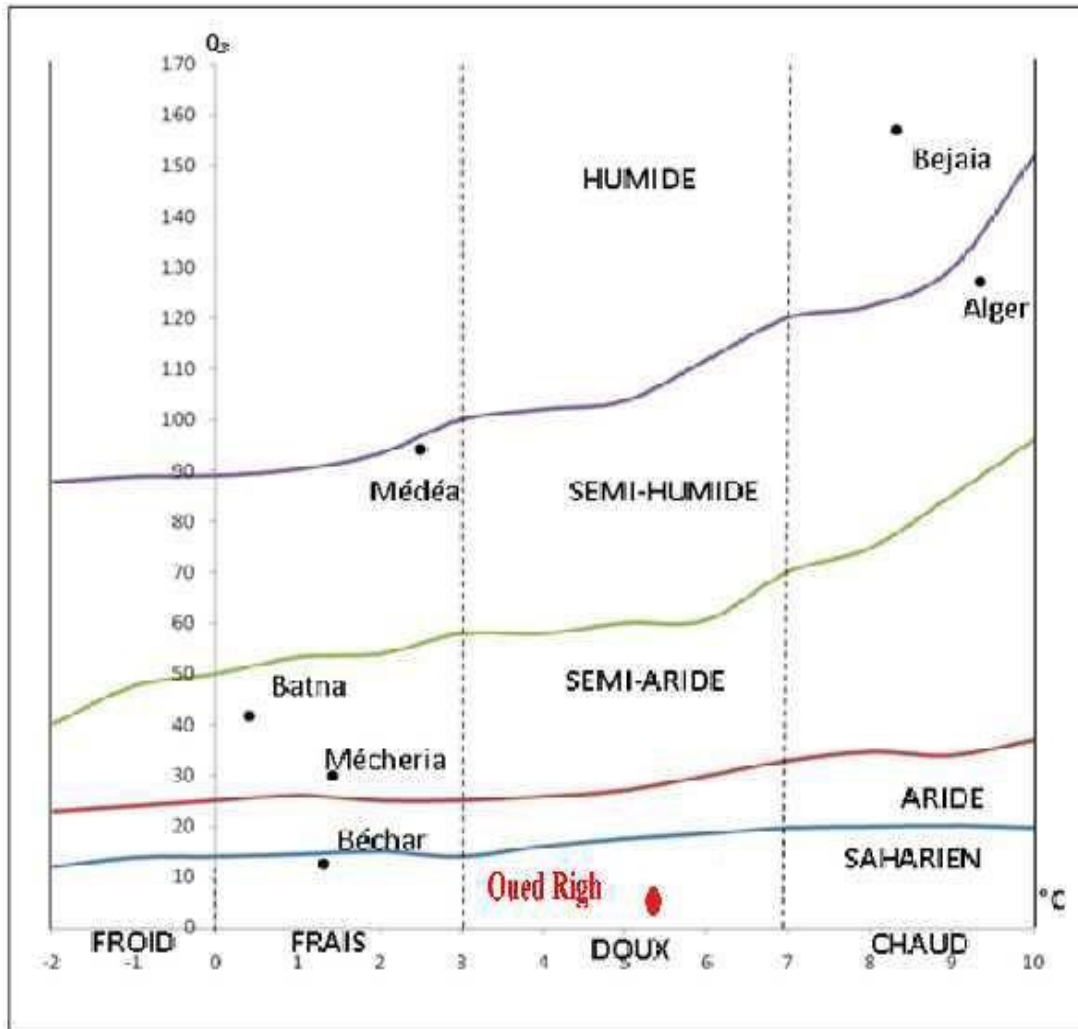


Figure 08. place de la région d'Oued-Righ dans le climagramme d'Emberger.

1-2-10-Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de l'Oued-Righ :

Le diagramme ombrothermique de Gausсен et de Bagnouls permet de calculer la durée de la saison sèche. Il tient compte de la pluviosité moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle qui sont portées sur des axes où l'échelle de la température est double de la pluviosité. La diagramme ombrothermique de Gausсен de la région d'Oued-Righ pour la période nous renseigne qu'il existe une seule période sèche qui s'étale durant toute l'année.

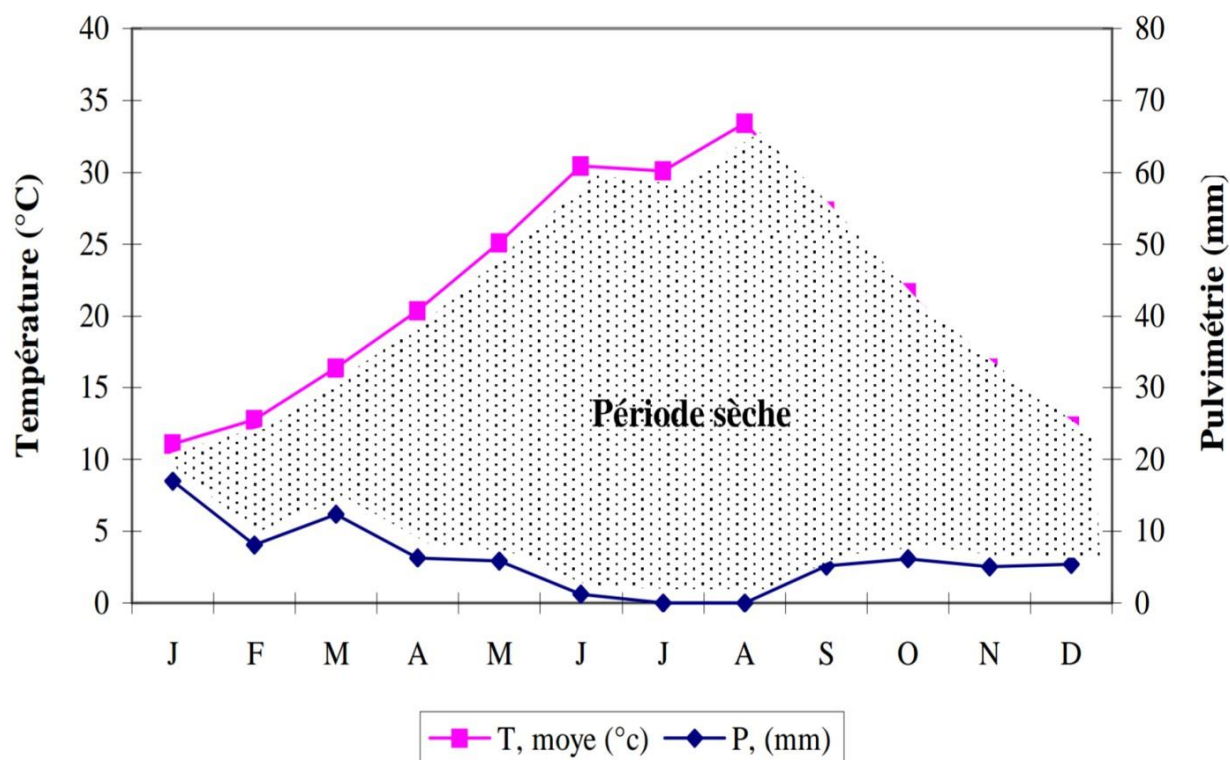


Figure 09. Diagramme Ombrothermique de Bagnols et Gausson de la région d'Oued-Righ(2000-2021).

Le diagramme Ombrothermique ci-dessus montre que, la période sèche s'étale sur toute l'année, ce qui nécessite la pratique de l'irrigation toute l'année.

1-2-11-Topographie :

Le relief de la vallée de l'Oued-Righ est de basse altitude, notamment dans la zone des chotts au Nord, où les altitudes sont inférieures au niveau de la mer, d'où son appellation 'Bas Sahara'. La caractéristique principale de cette région est son inclinaison vers le Nord ou plus particulièrement vers les grands chotts. Cette inclinaison permet aux eaux excédentaires de s'écouler vers le Nord (**Dubost, 1991**). L'orientation Sud-Nord de cette cuvette est marquée par la présence de deux oueds fossiles : l'Oued Mya venant du Tassili et l'Oued igharghar qui viendrait du massif de l'Ahaggar. Ces deux Oueds confluent à une trentaine de kilomètres au Sud de Touggourt et sont prolongés par l'Oued-Righ, qui connaît une pente très nette, de la côte 100 à Touggourt et 10 au chott Merrouane. L'Oued-Righ ne connaît plus de crues mais il reçoit d'inféoflux de ses deux branches supérieures qui lui donnent des possibilités en eau particulières (**Perennes, 1979**).

1-2-12-Hydrogéologie :

Le bassin artésien de l'Oued-Righ est un des plus importants du monde déclare F. Paix cité par Perennes (1979). En effet, dans cette région l'alternance de couches imperméables et de couches aquifères d'une part, l'existence d'un fossé de subsistances d'autre part, ont permis la formation de nappes souterraines superposées.

En raison de cette stratigraphie, l'Oued-Righ bénéficie du jaillissement de nappes artésiennes principales :

- La première nappe, contenue dans des couches sableuses du mi pliocène, atteinte une profondeur entre 20 et 50 mètres selon les endroits :
- La deuxième nappe, dite du "complexe terminal", est atteinte entre 60 et 100 mètres.
- La "nappe des calcaires" se trouve entre 100 et 200 mètres environ.
- La "nappe albienne", dite du "continental intercalaire" a été atteinte en 1954 à 1957, à la faveur des forages pétroliers. Cette nappe est à 2000 mètres de profondeur au Nord de l'Oued-Righ, elle est caractérisée par une pression de 20 kg au cm², une température entre 46° à 60°C et un débit de 1500 m³/heure.

Qualitativement, ces eaux sont des eaux sulfatées calco-magnésiennes à faciès chloruré plus ou moins prononcé, donnent un résidu sec à l'évaporation allant de 3,3 à 8,6 grammes de sel par litre d'eau et des températures relativement élevées : 50°C en moyenne pour l'Albien et entre 20 et 25°C pour les autres nappes. Ces données constituent des contraintes aux cultures, ce qui exige des irrigations abondantes et un drainage performant (**Perennes, 1979**).

D'après Côte (2005), la vallée de l'Oued-Righ est constituée de quatre étages aquifères : la nappe supérieure comprend elle-même trois nappes localisées, de haut en bas, dans les sables gris (entre El Goug et Touggourt) à environ 20 à 40 m sous la surface, les sables gris des puits arabes (entre El Goug et El Arfiane), à environ 50-80 m de profondeur, et les sables rouges, fins argileuses, sur l'ensemble de l'Oued-Righ, à environ 100-130 m de profondeur ; la deuxième nappe dans les grès, sables et petits graviers de l'ensemble de l'Oued-Righ, à 140- 180 m de profondeur à l'amont et 180-220 m à l'aval. La nappe des calcaires sur l'ensemble de l'Oued-Righ, profonde de 160m et plus à l'amont, 240 m et plus à l'aval ; enfin le deuxième niveau éocène calcaro-marnaux.

1.3.La zone d'étude

1-3-1- Description du canal

Le canal de l'Oued de Righ commence du village de Goug et se termine au chott Mérouane à El- Meghaïer. La distance totale est d'environ 131 kilomètres. Les trois premiers kilomètres du canal sont des conduites enterrées en béton armé de diamètre 1000 mm. Le reste du canal est à ciel ouvert et de forme trapézoïdale d'une pente moyenne de 0,83 ‰.

Ce canal passe par deux wilayas : la wilaya Touggourt, et wilaya El-Meghaïer qui est entourées à leur tour par les palmeraies.

Afin d'éviter la destruction des rives et des berges du canal, des pneus ont été placés sur ces berges notamment à Ranou sur 250m (Pk 24+250 et Pk 24+500) et 100m (Pk 26+708 et Pk 26+808) et à la zone de Tinedla.



Photo 1. La vitesse de l'écoulement de la station Boufeggoussa est élevée en provoquant des turbulences (2022).

Le passage de ce canal dans les zones chotteuses ou sableuses provoque la destruction des berges notamment à Témacine, Kerdache, Sidi Slimane, Bourkhis et Boufeggoussa. Les zones où la pente est élevée des turbulences provoquent de la destruction des berges à Sidi Slimane et Boufeggoussa.



Photo 2. Destruction des berges en sable à cause des turbulents à Boufeggoussa (2022)

Dans les endroits où le canal passe par les palmeraies notamment au niveau des rejets d'assainissement il y a une forte formation de roseau grâce aux matières organiques créant des bouchons. Le curage de ces bouchons entraîne la diminution de la largeur des pistes au niveau des rives.

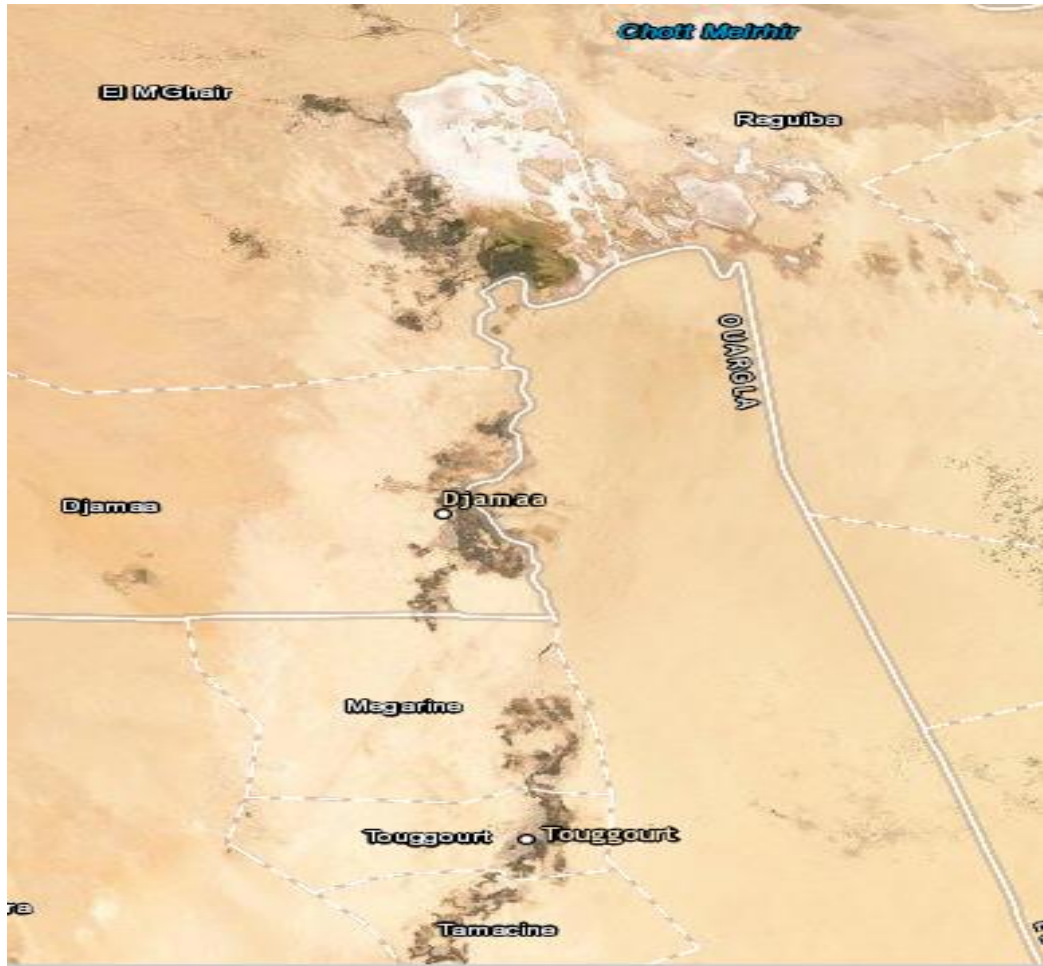


Figure 10. Trajectoire du canal d'Oued Righ [earth explore., 2022]

1-3-2- Caractéristiques des Stations

Nous avons choisi dix (10) stations hydrométriques qui représentent les points les plus favorables pour prendre les mesures des paramètres hydrauliques du canal en aval des grandes agglomérations et palmerais de l'Oued Righ. Il s'agit des stations : Kerdache, Ranou, Zaouia-Labidia, Sidi Slimane, Bourkis à Oued Righ Sud zone de touggourt et Sidi Amrane, Zaouiet Riab, Tinedla Amont, Tinedla Aval, Boufeggoussa à Oued Righ Nord zone de Djamaa et El Meghair.

- 1)- Station de Kerdache :** en amont du canal il réunit les drains et les rejets de Beldet amor
- 2)- Station de Ranou :** en amont aussi du canal il réunit les drains et les rejets de Temacine et Beldet Amor .
- 3)- Station de Zaouia-El abidia :** contrôle les rejets et les drains de Touggourt .
- 4)- Station de Bourkhis :** contrôle les rejets et les drains de Mégarine et de Touggourt .
- 5)- Station de Sidi Slimane :** contrôle les rejets et les drains de wilayat de Mégarine et de Touggourt.
- 6)- Station de Sidi Amrane :** Premier point dans la région de Djamaa.

- 7)- **Station de Zaouiet Riab** : rassemble ceux de Djamaâ.
- 8)- **Station de Tinedla amont** : rassemble ceux de la daïra de Djamaâ.
- 9)- **Station de Tinedla aval** : rassemble ceux de la daïra de Djamaâ, ses villages et ses palmeraies.
- 10)- **Station de Boufeggoussa** :(exutoire) : englobe tous les rejets et tous les drains.



Figure 11. Schéma du canal collecteur et Stations hydrométriques(SAYAH,2020).

Tableau 02. Coordonnées géographiques (GPS) et topographie des Stations (NARH)

N°	Station	Cordonnées			La pent I (‰)	Longueur cumulée (Pk) (km)
		X	Y	Z (m)		
01	Kerdache	05°58'59''	32°59'05''	83	0,85	12
02	Ranou	06°03''38''	33°02'48''	69	1,072	24,5
03	Zaouia-Labidia	06°06'14''	33°08'16''	52	2,39	34,5
04	Bourkhis	06°06'28''	33°14'23'	51	0,28	50
05	Sidi Slimane	06°04'42''	33°17'73''	37	0,48	55,92
06	Sidi Amrane	06°04'22''	33°30'21''	17	1,20	68
07	Zaouiet Riab	06°00'20''	33°35'59''	15	0,65	100
08	Tinedla Amont	06°02'45''	33°39'00''	15	0,2	111,25
09	Tinedla Aval	06°03'41''	33°42'46''	14	0,2	114
10	Boufeggoussa	06°01'41''	33°51'31''	0	1	125

Avec :

X, Y : coordonnées géographiques des stations.

Z : Altitude (m).

I : pente (‰) [ENHYD. ,2003]

Par l'application de logiciel (surfer) on a obtenu la carte suivante :

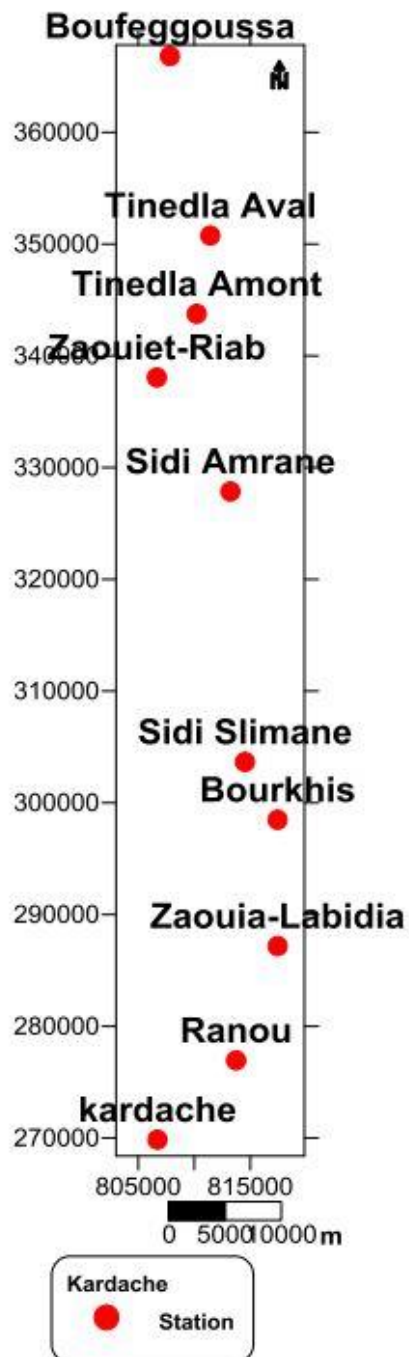


Figure 12 cartes du canal collecteur et Stations hydrométriques par l'application de logiciel surfer. (SAYAH M,2020).

L'établissement des cartes de répartition spatiale et topographique, s'est réalisé par interpolation triangulaire, en utilisant le logiciel Surfer 13(Golden software, 2013).

Dans la présente étude, 10 stations de mesure ont été recensées et représentées de toute la zone d'études a été utilisé pour l'établissement la carte topographique.

Selon la (**Figure 12**) L'analyse de la carte topographique des stations de mesure permet de définir les courbes de niveaux ; et de déterminer la pente qui est un paramètre important dans l'estimation des apports latéraux. L'observation de la morphologie de la carte topographique permet de constater que l'abaissement des courbes de niveaux se fait, en général, de Nord vers le Sud. Dans la plupart de la zone d'études, les courbes de niveaux se trouvent espacées suite à une pente faible.

Conclusion :

Le climat de l'Oued-Righ de se caractérise comme toutes les régions sahariennes par un climat continental froid en hiver (période courte) et chaud en été (période très longue) exigeant l'irrigation durant toute l'année. Cette zone phoenicécicole renferme de grandes réserves d'eau souterraine mais elles sont très mal exploitées. Notons que les forages du C.I, sont onéreux et exigent un refroidissement avant leur utilisation. Quant au C.T, il connaît de sérieux problèmes de rabattement exigeant des restrictions en matière de réalisation. La nappe phréatique est trop salée d'où son inutilisation.

A partir des traitements des données climatiques enregistrées dans la station de Touggourt, on a constaté que :

- La température moyenne est de 17.09°C avec un maximum de 34.6 °C au mois de juillet et un minimum au mois de janvier 11.66°C. Les températures annuelles moyennes sont de l'ordre de 22.62 °C.
- La température moyenne est de 17.09°C avec un maximum de 34.6 °C au mois de Juillet et un minimum au mois de janvier 11.66°C.
- Les précipitations annuelles moyennes de la région sont faibles (4.66 mm) avec la quantité d'eau précipitée diminue en allant du Nord vers le Sud. L'année la plus pluvieuse est celle de 2009.

CHAPITRE II : Formules d'estimation de transport solide

2.1.Introduction

On appelle transport solide d'un cours d'eau tous les matériaux, des boues les plus fines aux rochers les plus grossiers, que le courant peut entraîner [1]. Le transport solide dans un cours d'eau constitue la seconde phase de l'érosion. Il est la conséquence partielle de la perte en terre des sols au niveau du bassin versant. Il est, cependant, la cause directe de la sédimentation dans les ouvrages hydrauliques. [2]

Le transport des sédiments par un écoulement à surface libre joue un grand rôle dans de nombreux domaines. Dans la nature, il affecte la morphologie des cours d'eau, des estuaires et du littoral. Il agit également par les matières en suspension sur tout l'écosystème aquatique (atténuation de l'énergie lumineuse en particulier). Son impact sur les ouvrages hydrauliques est de première importance. Il est responsable du comblement des retenues, du déchaussement d'ouvrages dû à l'abaissement du lit on peut citer que ces effets. [3]

Le transport solide est un phénomène complexe, en particulier, la chute des vitesses à l'entrée de la retenue qui entraîne par la diminution de sa capacité du transport, un dépôt immédiat des alluvions grossiers, par contre les éléments fins, plus légers pour suivent leurs chemins en suspension jusqu'à se déposer en eaux mortes où ils décantent lentement. La dynamique des matériaux arrachés au sol et transportés par le réseau d'écoulement dépend essentiellement de la vitesse d'écoulement et de la granulométrie. [4]

Ce phénomène est limité par la quantité de matériaux susceptible d'être transportée (selon la fourniture sédimentaire). Il est régi par deux propriétés du cours d'eau :

2-1-1-La compétence :

Elle est mesurée par le diamètre maximal des débris rocheux que peut transporter le cours d'eau. Cette caractéristique est fonction de la vitesse d'eau comme le montre le diagramme de Hjulstrom qui divise le transport solide en trois phases : la sédimentation, le transport avec une fonction croissante qui est toujours au-dessous de celle d'arrachement des particules (l'érosion).

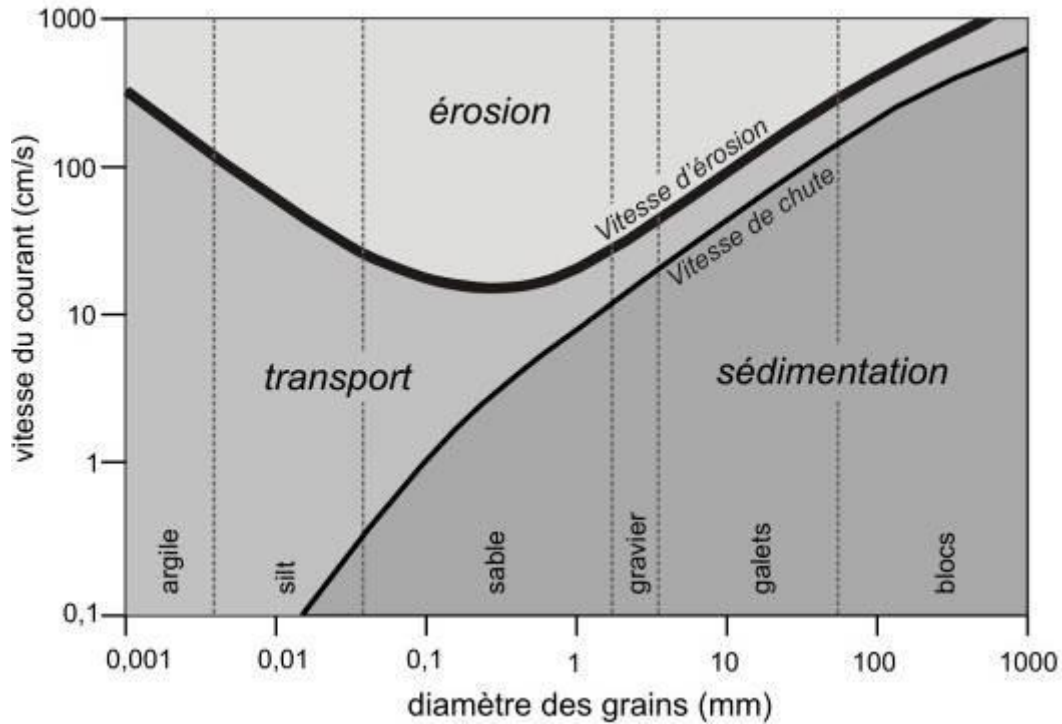


Figure 13. Diagramme de Hjulstrom (Hjulstrom, 1935).

2-1-2-La capacité :

C'est la quantité maximale de matériaux solides que peut transporter en un point et à un instant donné le cours d'eau. Elle est fonction de la vitesse de l'eau, du débit et des caractéristiques de la section (forme, rugosité, etc...). [5]

2.2.Modes de transport :

Il existe différents modes de transport solide dans les cours d'eau, ils dépendent essentiellement de la morphologie du cours d'eau et des terrains traversés.

Il s'agit de trois types de mouvements dans les cours d'eaux :

- **Transport en charriage au fond du lit.**
- **Transport par saltation.**
- **Transport en suspension.**

La figure suivante schématise les types de transport solide, rencontrés dans le bassin versant

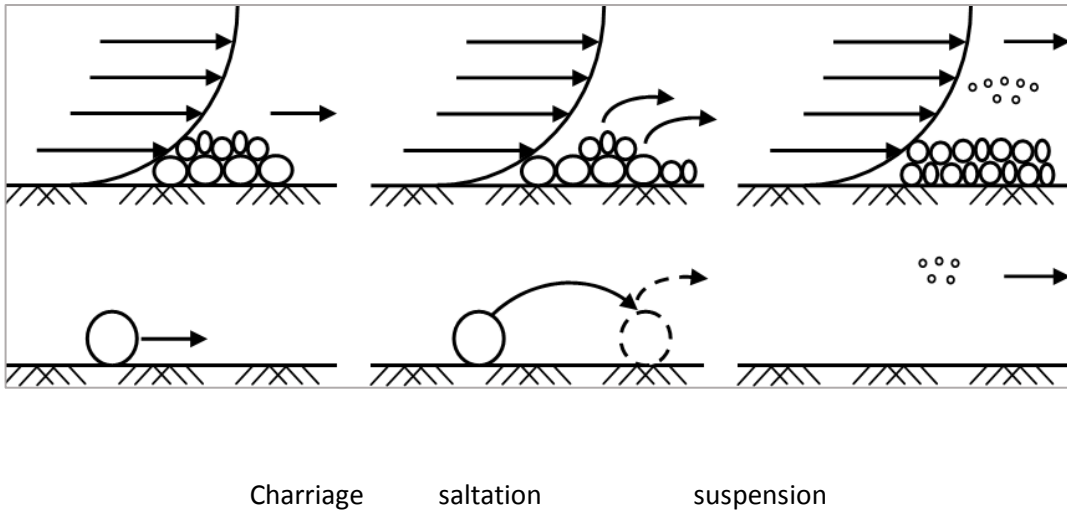


Figure 14. Différent types de transport solide en rivière. [6]

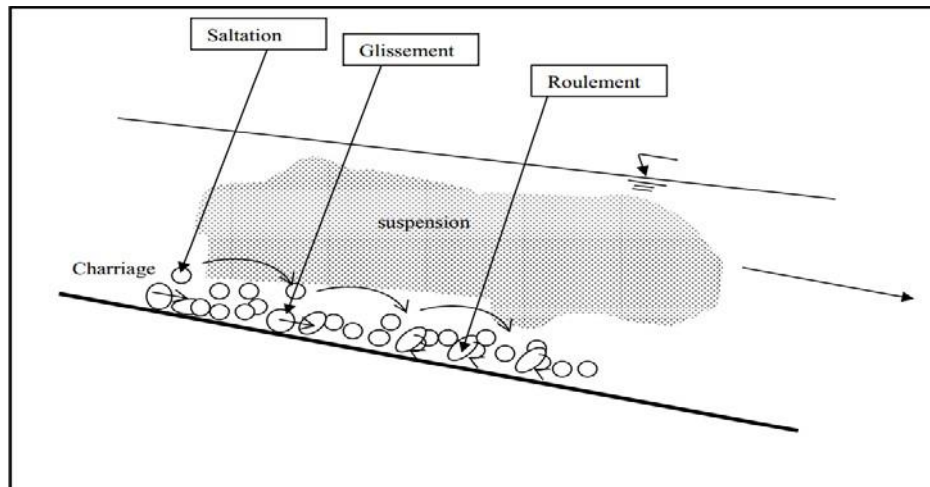


Figure 15. Différent types de transport solide en rivière

2.3. Le formules utilisation pour calcul transport solide

2-3-1-les formules de transport

Plusieurs dizaines de formules ont été proposées pour prédire soit le charriage seul, soit le charriage et la suspension. La plupart d'entre elles ont été établies pour estimer le transport solide moyen, cependant, depuis quelques années, plusieurs auteurs ont cherché à établir des formules donnant le transport solide fractionné, c'est-à-dire les valeurs de transport associées à chaque diamètre en présence. Ce type de formule est très compliqué à utiliser, et surtout, nécessite une analyse très fine de la granulométrie (avec distinction en général des sédiments de surface et de subsurface), généralement non disponible. C'est pourquoi, dans ce chapitre, nous nous sommes limités à l'utilisation des formules donnant le débit solide moyen. Nous allons parler de 08 formules sélectionnées à partir de leur intérêt « historique » ou « local » : Meyer-Peter et Müller (1948), Einstein-Brown (1950), Schoklitsch (1962), Engelund et Hansen (1967), Ackers-White (1973), Mizuyama (1977), Parker et al. (1982), Recking (2006),

2-3-2-Principes de la modélisation et paramètres adimensionnels

Pour modéliser le transport solide on ne dispose en général que d'un nombre limité d'informations. Trois paramètres doivent au minimum être connus (**Figure 15**) : le débit Q , la pente du lit S et le diamètre caractéristique D du mélange sédimentaire. A partir de la connaissance de ces paramètres la plupart des approches proposent au préalable un calcul de la contrainte grâce à une loi de frottement (force exercée par le fluide sur les grains), puis un calcul du flux généré par cette contrainte (τ) à partir d'une loi de transport adaptée (soit deux équations nécessaires). Une seconde approche consiste à calculer directement le débit solide à partir de Q , S et D (une seule équation nécessaire).

$$\tau = \gamma y^{1,6} d \dots \dots \dots \text{formule (01)}$$

τ : La contrainte exercée sur le grain.

i : la pente de la rivière

y : la profondeur du lit mineur

d : diamètre du grain

Notons que pour un débit solide :

- ✓ $Q_s \text{ sortant} = Q_s \text{ entrant}$: Equilibrai
- ✓ $Q_s \text{ sortant} < Q_s \text{ entrant}$: dépôt
- ✓ $Q_s \text{ sortant} > Q_s \text{ entrant}$: Erosion

Pour les contraintes suivantes :

$\tau > 0.047$: charriage

$\tau < 0.062$: charriage sur un fond plat

$\tau < 0.025$: charriage par dunes

Ainsi pour :

$\tau > 0.25$: suspension

$\tau < 0.25$: dune et suspension

$\tau < 0.25$: suspension et fond plat

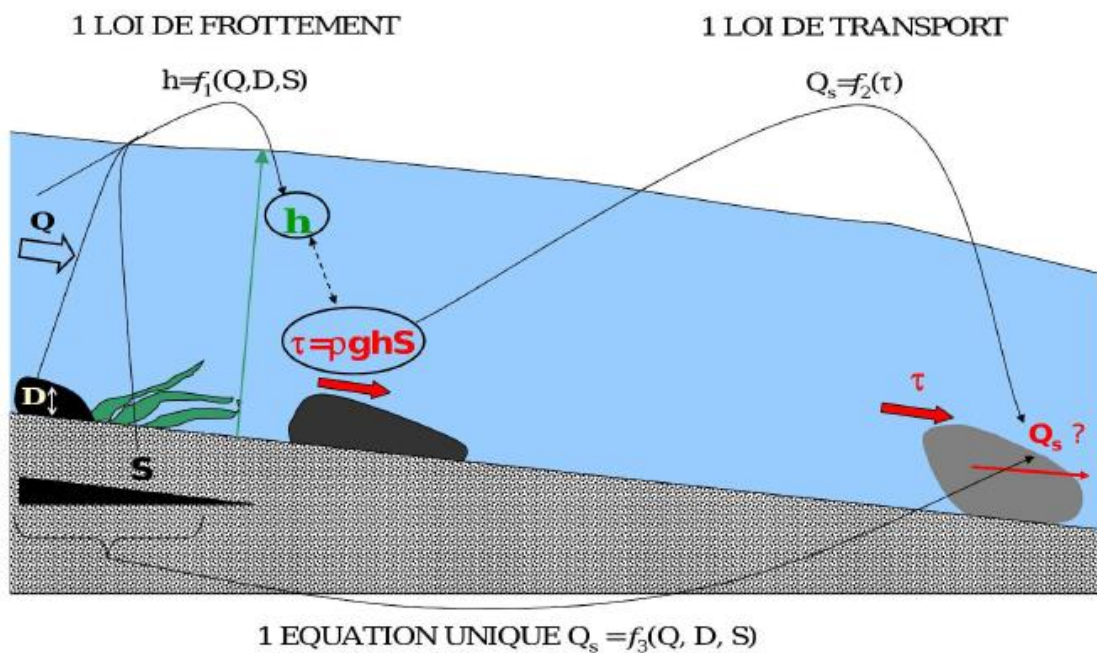


Figure 16. Etapes de la modélisation du transport solide (avec ou sans calcul de la contrainte).

Beaucoup de formules utilisent des grandeurs adimensionnelles, afin de permettre leur utilisation dans des configurations autres que celles qui ont prévalu lors de leur établissement (par exemple la géométrie du canal d'écoulement). Les deux principales grandeurs utilisées sont le nombre de Shields et le paramètre d'Einstein.

[Shields, 1936] a proposé d'dimensionnaliser les forces motrices (contrainte hydraulique τ exercée x la surface du lit) par les forces stabilisatrices (poids de la particule). Le nombre obtenu est appelé « nombre de Shields », noté τ^* ou θ :

$$\theta = \frac{\tau}{g(\rho_s - \rho)D} = \frac{R}{D} \frac{S}{(s-1)} \dots\dots\dots \text{formule (02)}$$

Shields a également déduit de ses expériences que les grains posés au fond du lit étaient mis en mouvement lorsque ce nombre adimensionnel dépassait une valeur critique θ_c égale à 0.06.

[Einstein, 1950] a quant à lui proposé d'adimensionnaliser le transport solide de la manière suivante :

$$\Phi = \frac{q_v}{\sqrt{g(s-1)D^3}} \dots\dots\dots \text{formule (03)}$$

Où q_v est le débit solide volumique spécifique ($m^3/s/m$) et $s=\rho_s/\rho$ est la densité relative.

2-3-3-LES FORMULES METTANT EN OEUVRE LA CONTRAINTE

Beaucoup de travaux ont cherché à mettre en relation Φ et θ . La plupart des formules produites sont basées sur un excès de contrainte ($\theta - \theta_c$) plutôt que sur la contrainte seule, en faisant l'hypothèse que le transport solide est un phénomène à seuil, comme l'avait suggéré Shields. Pour cette étude, nous avons choisi d'utiliser les formules présentées dans le **Tableau**.

Tableau 03. Principales caractéristiques des formules de transport testées utilisant la contrainte

Formule	Calculs Intermédiaires	Données nécessaires	Conditions expérimentales et domaine de validité
[Meyer-Peter et Mueller.1948]	θ, K, Kr	$U, R, D_{50}, D_{90}, S, L$	Données de laboratoire $0.4 < S < 2.4\%$. $0.4 < D < 29$ mm
[Engelund et Hansen.1967]	θ, f	R, U, D_{50}, S, L	Transport total (charriage + Suspension) Laboratoire. Lit à sable. Transport important. Lits plats et dunes. $0.15 < D < 1.6$ mm, Pentes faibles
[Ackers et White 1973]		Q, U, D_{35}, H, S, L	Transport solide total. Données de laboratoire. Pour des $Fr < 0.8$ (rivières de Plaine) , $0.4 < D < 14$
[Parker.1979]	θ	R, D_{50}, S, L	Donnée de labo et de terrain
[Mizuyama.1977]	θ, θ_c	R, D_{50}, S, L	Données de laboratoire $3 < S < 20\%$. $2 < D < 10.5$ mm
Brown-Einstein	θ	R, D_{50}, S	Laboratoire, sables et

CHAPITRE II : Formules d'estimation de transport solide

(1950)			<i>graviers</i> $0.3 < D < 29 \text{ mm}$
[Recking, et al., 2008b]	θ, θ_c	Q, D_{50}, D_{84}, S, L	<i>Données de laboratoire,</i> $0.1\% < S < 20\%$, $0.4 < D < 44 \text{ mm}$

Une des grandes difficultés à utiliser ce type de formule, est qu'il faut en préalable calculer des paramètres intermédiaires, et en particulier la contrainte, ce qui nécessite de connaître le rayon hydraulique R . Le rayon hydraulique (ou la hauteur d'eau) associé à un écoulement résulte de la résistance que le lit oppose à cet écoulement, pour un débit et une pente donnée. On comprendra aisément que, toutes choses étant égales par ailleurs, un lit localement entravé par un obstacle (embâcle...) produira une hauteur d'eau supérieure au même lit non obstrué. Donc si une telle mesure est utilisée pour calculer la contrainte qui s'exerce sur le fond du lit, cela conduira inévitablement à une surestimation de cette dernière, et donc du débit solide transporté.

2-3-4-LES MODELES EN DEBIT

Etant donné la difficulté liée au calcul de la contrainte, plusieurs auteurs ont recherché une relation empirique donnant directement le débit solide Q_s en fonction du débit liquide total Q ou spécifique $q=Q/L$. Ces formules sont très simples à utiliser et ne nécessitent aucune itération.

Tableau 4. Principales caractéristiques des formules de transport utilisant le débit

Formule	Calculs Intermédiaires	Données nécessaires	Conditions expérimentales et domaine de validité
Schoklitsch (1962)	q_c	Q, D_{40}, S, L	Ajustement de données de laboratoire et terrain, $S < 1\%$ (a priori D_{40} , référé à la granulométrie de subsurface [Bathurst 2007])

Parker [1979] :

$$q_s [m^3 / s / m] = 11.2 \sqrt{g(s-1)} D_{50}^3 \frac{(\theta - 0.03)^{4.5}}{\theta^3} \dots \dots \dots \text{formule (04)}$$

Recking et al. [2008] :

$$q_v [m^3 / s / m] = 15.6 \sqrt{g(s-1)D_{50}^3} (\theta - \theta_c)^2 \quad \text{si } \theta < 0.65S^{0.41}$$

$$q_v [m^3 / s / m] = 14 \sqrt{g(s-1)D_{50}^3} \theta^{2.45} \quad \text{si } \theta > 0.65S^{0.41}$$

Avec
 $\theta_c = 0.15S^{0.275}$

..... **formule (05)**

$$\theta = \frac{R}{D_{50}} \frac{S}{(s-1)}$$

R étant calculé par itération avec :

$$\frac{Q(W - 2R)}{RW^2 \sqrt{gRS}} = 6.25 + 5.75 \log \left(\frac{R}{\alpha_{RL} \alpha_{BR} D_{84}} \right)$$

où $\alpha_{RL} = 4 \left(\frac{R}{D_{84}} \right)^{-0.43}$ avec $1 \leq \alpha_{RL} \leq 3.5$

$$\alpha_{BR} = 7S^{0.85} \frac{R}{D_{84}} \text{ avec } 1 < \alpha_{BR} \leq 2.6$$

Ackers et White [1973]: Transport slide total

$$q_{st} [m^3 / s / m] = 0.025 \frac{qD_{35}}{H} \left[\frac{F_{gr}}{0.17} - 1 \right]^{1.5}$$

..... **formule (06)**

Avec $F_{gr} = \frac{1}{\sqrt{g(s-1)D_{35}}} \left[\frac{U}{\sqrt{32} \log \left(\frac{10H}{D_{35}} \right)} \right]$

..... **formule (07)**

Cette s'applique pour des nombres de Froude $Fr < 0.8$, c'est à dire plutôt pour des rivières de plaine.

Einstein Brown [1950]:

Proposé par Brown (1950) à partir d'un lissage de l'abaque d'Einstein (1950)

$$q_v [m^3 / s / m] = \sqrt{g(s-1)D^3} \left[\sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36v^2}{g(s-1)D^3}} - \sqrt{\frac{36v^2}{g(s-1)D^3}} \right] f(\theta) \quad \dots \quad \text{formule (08)}$$

$$f(\theta) = 2.15e^{-0.391/\theta} \quad \text{si } \theta < 0.18$$

$$f(\theta) = 40\theta^3 \quad \text{si } \theta > 0.18$$

v est la viscosité cinématique du fluide (10-6 m²/s à 20°C)

1. Engelund et Hansen [1967]:

Equation déduite du concept de puissance de l'écoulement de Bagnold [1966] et du principe de similarité :

$$q_v [m^3 / s / m] = \frac{0.1}{f} \sqrt{g(s-1)D_{50}^3} \theta^{5/2} \quad \dots \quad \text{formule (09)}$$

Le facteur de rugosité f étant défini par $f = 2gRS/U^2$

Meyer-Peter et Mueller [1948] :

$$q_v [m^3 / s / m] = 8\sqrt{g(s-1)D_{50}^3} \left(\left(\frac{K}{K'} \right)^{3/2} \theta - 0.047 \right)^{3/2} \quad \dots \quad \text{formule (10)}$$

Avec $\rho_s = 2650 \text{ kg.m}^{-3}$, $\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$ et $s = 2.65$. Le ratio K/K' est le ratio entre le coefficient de Strickler de l'écoulement K et le Strickler du grain K' , et permet de corriger la contrainte totale pour ne tenir compte que de la contrainte appliquée au grain. Le terme K est donné par :

$$K = U/S^{1/2} R^{2/3} \quad \dots \quad \text{formule (11)}$$

et le terme

K' est calculé avec l'équation de *Strickler* [1923] :

$$K' = 26 / D_{90}^{1/6} .$$

Mizuyama [1977] :

$$q_s [m^3 / s / m] = \sqrt{g(s-1)D_{50}^3} \left[\frac{12 - 24\sqrt{S}}{\cos(\text{atan}(S))} \theta^{(1.5-\sqrt{S})} \left(1 - \alpha^2 \frac{\theta_c}{\theta} \right) \left(1 - \alpha \sqrt{\frac{\theta_c}{\theta}} \right) \right]$$

avec :

$$\alpha = \sqrt{\frac{0.85 - 3.25S}{1 - 1.625S}}$$

..... **formule (12)**

$$\theta_c = 0.04 \times 10^{1.72S}$$

$$\theta = \frac{R}{D_{50}} \frac{S}{(s-1)}$$

2.4. Paramètre utilise dans la formule

2-4-1- Caractéristiques géométriques des paramètres hydrauliques

2-4-1-1- Détermination la section mouillée (Sm)

Elle est définie par la largeur du plan d'eau et le fond du lit. Elle s'exprime en m². Grâce à la position et la grandeur des verticales nous pouvons tracer cette section mouillée. On reporte sur le graphe les abscisses et les profondeurs réduites de chaque verticale. En joignant ensuite chaque extrémité des verticales nous obtenons la section en travers de l'oued qui arrêtée au plan d'eau donne la section mouillée.

2-4-1-2- Détermination périmètre mouillé (Pm)

C'est la longueur du fond du lit en contact avec l'eau. Il s'exprime en mètres.

Ce périmètre mouillé est fonction de la hauteur à l'échelle limnométriques et l'on peut tracer la courbe pm = f (h).

2-4-1-3- La vitesse moyenne (Vm)

Elle est exprimée en (m/s)

$$V_m = Q / S_m$$

Avec :

Q : le débit (m³/s).

S_m : Section mouillée (m)

2-4-1-4-Rayon hydraulique (Rh)

Il est défini comme étant le rapport de la section mouillée au périmètre mouillé

Il s'exprime en mètre

$$R_h = S_m / P_m$$

Avec :

S_m : section mouillée (m²).

P_m : périmètre mouillé (m).

Il fait donc intervenir implicitement d'une manière simplifiée mais parfois assez représentative les caractéristiques géométriques d'une section.

2-4-1-5-Profondeur moyenne (Hm)

La profondeur moyenne est définie comme étant le rapport entre la section mouillée (S_m) et la largeur au miroir (L)

$$H_m = S_m / L$$

Avec

L : la largeur au miroir (m)

2-4-1-6-Nombre de Froude (FR)

Le nombre de Froude d'un écoulement à surface libre représente donc le rapport de la vitesse moyenne du courant à la vitesse de propagation d'une onde superficielle infiniment petite le long du courant considéré.

$$F_R = \frac{V_m}{\sqrt{g \cdot H_m}}$$

Avec :

V_m : Vitesse moyenne d'écoulement (m/s).

g : l'accélération de la pesanteur (m/s²).

H_m : Profondeur moyenne (m).

Remarque

F_r > 1 régime torrentiel.

$F_r < 1$ régime fluvial.

$F_r = 1$ régime critique

Tableau 5. Les Caractéristiques géométries

N°	Station	Débit m ³ /s	V _m m/s	H (m)	S _{mouillée} m ²	P _{mouillé} m	R _h m	Fr
01	Kerdache	0,132	0,24	0,137	0,549	4,07	0,134	0,20 7
02	Ranou	0,856	0,179	0,79	4,76	7,16	0,66	0,06 4
03	Z – El abidia	1,47	0,27	0,742	5,27	7,6	0,69	0,1
04	Bourkhis	1,68	0,349	0,82	4,808	6,52	0,73	0,12
05	Sidi Slimane	2,10	0,517	1,01	4,06	5,5	0,73	0,16
06	Sidi Amrane	1,91	0,396	0,708	4,82	7,75	0,62	0,15
07	Z – Riab	3,47	0,39	0,73	8,84	12,3	0,718	0,14
08	Tinedla Amont	4,22	0,498	0,666	8,46	13,4	0,63	0,19
09	Tinedla Aval	5,32	0,488	0,795	10,9	14,6	0,746	0,17
10	Boufeggoussa	3,24	0,51	0,78	6,31	8,8	0,71	0,18

Les diamètres des grains de notre sol entre 0,1 – 5 mm la classification des sols de notre station sont sable moyen et grossier

Tableau 6. Valeur de diamètre D₃₅, D₅₀ et D₉₀

N ^o	Station	Diamètres		
		D ₃₅ (mm)	D ₅₀ (mm)	D ₉₀ (mm)
01	Kerdache	0,22	0,26	1,23
02	Ranou	0,19	0,21	0,33
03	Zaouia-Labidia	0,18	0,28	2,4
04	Bourkhis	0,125	0,16	2,7
05	Sidi-Slimane	0,155	0,25	2,9
06	Sidi-Amrane	0,17	0,28	3,3
07	Zaouiet Riab	0,16	0,2	1,2
08	Tinedla Amont	0,28	0,42	1,8
09	Tinedla Aval	0,1	0,13	0,31
10	Boufeggoussa	0,11	0,15	0,29

2.5.Résultats

Après avoir utilisé les formules pour estimer le transport solide, nous obtenons les résultats suivants :

2-5-1-Engelund et Hansen

Tableau 7.les résultats de calcul du débit (Engelund et Hansen)

N	Station	q (m ³ /s/m)	Q (m ³ /s)
1	Kerdache	0.0000081	0.097
2	Ranou	0.0000067	0.165
3	Zaouia-Labidia	0.0000204	0.703
4	Bourkhis	0.0000176	0.878
5	Sidi-Slimane	0.0000493	2.757
6	Sidi-Amrane	0.0000359	2.443
7	Zaouiet Riab	0.0000285	2.851
8	Tinedla Amont	0.0000403	4.487
9	Tinedla Aval	0.0000301	3.435
10	Boufeggoussa	0.0000504	6.298

2-5-2-Meyer-Peter et Mueller

Tableau 8.les résultats de calcul du débit (Meyer-Peter et Mueller)

N	Station	q (m ³ /s/m)	Q (m ³ /s)
1	Kerdache	0.00000165	0.020
2	Ranou	0.00000074	0.018
3	Zaouia-Labidia	0.00000538	0.186
4	Bourkhis	0.00000415	0.208

CHAPITRE II : Formules d'estimation de transport solide

5	Sidi-Slimane	0.00001276	0.713
6	Sidi-Amrane	0.00001081	0.735
7	Zaouiet Riab	0.00000564	0.564
8	Tinedla Amont	0.00000485	0.539
9	Tinedla Aval	0.00000342	0.390
10	Boufeggoussa	0.00000731	0.914

2-5-3-Parker

Tableau 9.les résultats de calcul du débit (Parker)

N	Station	q (m ³ /s/m)	Q (m ³ /s)
1	Kerdache	0.0000144	0.172
2	Ranou	0.0003626	8.883
3	Zaouia-Labidia	0.0013289	45.845
4	Bourkhis	0.0000502	2.510
5	Sidi-Slimane	0.0001146	6.406
6	Sidi-Amrane	0.0003838	26.097
7	Zaouiet Riab	0.0001884	18.835
8	Tinedla Amont	0.0000126	1.404
9	Tinedla Aval	0.0000306	3.494
10	Boufeggoussa	0.0003718	46.476

2-5-4-Einstein Brown

Tableau 10.les résultats de calcul du débit (Einstein Brown)

N	Station	q (m ³ /s/m)	Q (m ³ /s)
1	Kerdache	0.000006	0.076
2	Ranou	0.001802	44.156
3	Zaouia-Labidia	0.017856	616.033
4	Bourkhis	0.000051	2.572
5	Sidi-Slimane	0.000190	10.632
6	Sidi-Amrane	0.001640	111.499
7	Zaouiet Riab	0.000536	53.565

CHAPITRE II : Formules d'estimation de transport solide

8	Tinedla Amont	0.000457	50.792
9	Tinedla Aval	0.000022	2.488
10	Boufeggoussa	0.002223	277.862

2-5-5-Ackers et White

Tableau 11.les résultats de calcul du débit (Ackers et White)

N	Station	q (m ³ /s/m)	Q (m ³ /s)
1	Kerdache	0.000000124	0.001
2	Ranou	0.000000063	0.002
3	Zaouia-Labidia	0.000000327	0.011
4	Bourkhis	0.000003356	0.168
5	Sidi-Slimane	0.000010545	0.590
6	Sidi-Amrane	0.000006346	0.432
7	Zaouiet Riab	0.000005934	0.593
8	Tinedla Amont	0.000027758	3.088
9	Tinedla Aval	0.000031840	3.630
10	Boufeggoussa	0.000022099	2.762

2-5-6-Recking et Al

Tableau 12.les résultats de calcul du débit (Reking et Al)

N	Station	q (m ³ /s/m)	Q (m ³ /s)
1	Kerdache	0.00001490	0.179
2	Ranou	0.00074399	18.228
3	Zaouia-Labidia	0.00352388	121.574
4	Bourkhis	0.00006978	3.489
5	Sidi-Slimane	0.00016365	9.151
6	Sidi-Amrane	0.00070736	48.100
7	Zaouiet Riab	0.00032971	32.971
8	Tinedla Amont	0.00001440	1.602

CHAPITRE II : Formules d'estimation de transport solide

9	Tinedla Aval	0.00004122	4.699
10	Boufeggoussa	0.00089274	111.593

2-5-7-Mizuyama

Tableau 13.les résultats de calcul du débit (Mizuyama).

N	Station	q (m ³ /s/m)	Q (m ³ /s)
1	Kerdache	0.000018	0.216
2	Ranou	0.000339	8.312
3	Zaouia-Labidia	0.001144	39.475
4	Bourkhis	0.000053	2.669
5	Sidi-Slimane	0.000118	6.590
6	Sidi-Amrane	0.000360	24.479
7	Zaouiet Riab	0.000184	18.424
8	Tinedla Amont	0.000021	2.374
9	Tinedla Aval	0.000033	3.813
10	Boufeggoussa	0.000346	43.198

2-5-8-Schoklitsch1962

Tableau 14.les résultats de calcul du débit (Schoklitsch1962)

N	Station	q (m ³ /s/m)	Q (m ³ /s)
1	Kerdache	0.00000259	0.031
2	Ranou	0.00002764	0.677
3	Zaouia-Labidia	0.00015867	5.474
4	Bourkhis	0.00000721	0.361
5	Sidi-Slimane	0.00002027	1.133
6	Sidi-Amrane	0.00007323	4.979
7	Zaouiet Riab	0.00002916	2.916
8	Tinedla Amont	0.00001076	1.197
9	Tinedla Aval	0.00001388	1.583

CHAPITRE II : Formules d'estimation de transport solide

10	Boufeggoussa	0.00009476	11.845
----	--------------	------------	--------

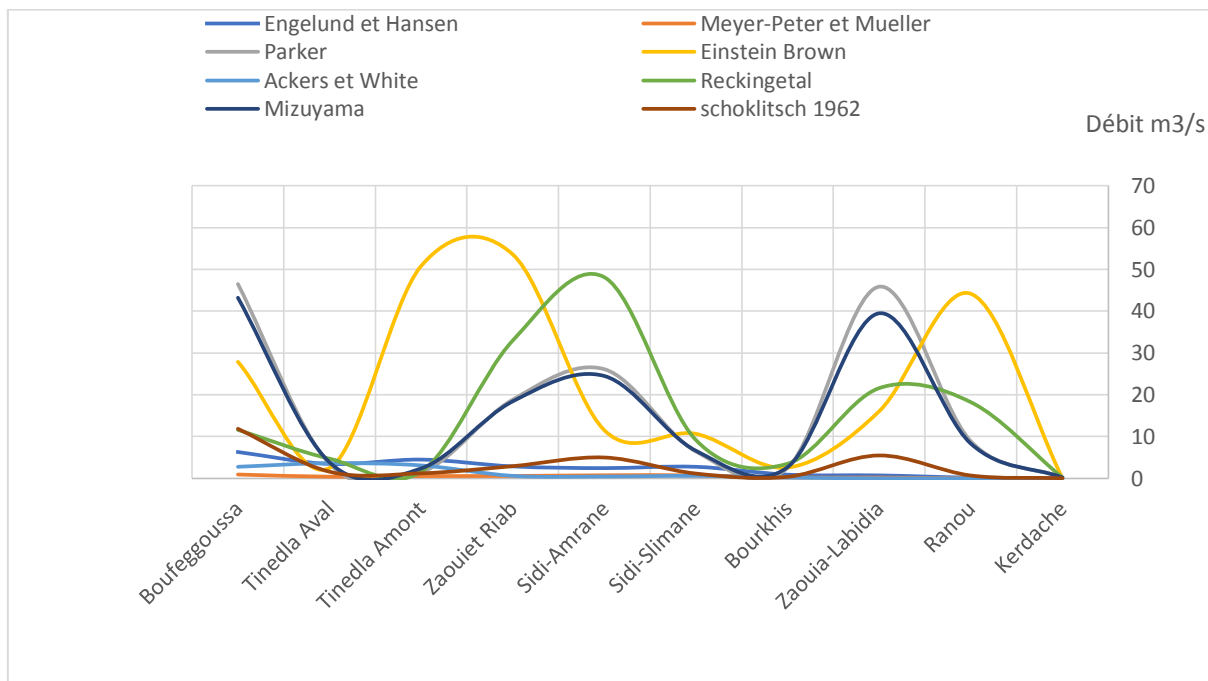


Figure 17. la comparaison des résultats de débit de chaque station

2.6. Interprétation de résultats

Les résultats que nous avons obtenus ont montré que les formules qui donnent des résultats proches d'elles-mêmes sont citées dans le tableau :

Tableau 14. formules adaptées pour l'estimation du transport solide

N	Station	Parker (m ³ /s)	Recking et al (m ³ /s)	Mizuyama(m ³ /s)
1	Kerdache	0.17	0.18	0.22
2	Ranou	8.88	18.23	8.31
3	Zaouia-Labidia	45.85	21.57	39.47
4	Bourkhis	2.51	3.49	2.67
5	Sidi-Slimane	6.41	9.15	6.59
6	Sidi-Amrane	26.10	48.10	24.48
7	Zaouiet Riab	18.84	32.97	18.42
8	Tinedla Amont	1.40	1.60	2.37
9	Tinedla Aval	3.49	4.70	3.81
10	Boufeggoussa	46.48	11.59	43.20

CHAPITRE II : Formules d'estimation de transport solide

CHAPITRE III : Proposition d'une nouvelle approche numérique pour l'estimation du transport solide

Introduction :

Une nouvelle approche ou modèle numérique a été élaboré on se basant sur les formules adéquates existantes.

3.1. Présentation du modèle proposé

Pour créer notre modèle nous utilise Xlstat est un outil très utile pour le traitement de données hydrauliques du canal étudié.

Dans notre étude, nous avons utilisé un modèle de **régression linéaire** est un modèle de régression qui cherche à établir une relation linéaire entre une variable, et nous avons choisi trois relations (Parker,Recking et al,Mizuyama). Pour choisir la relation appropriée pour une zone d'étude.

3-1-1-Statistiques descriptives:

Tableau 15. Statistiques descriptives.

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Parker	10	0	10	0.172	46.476	16.012	17.870
Recking et al	10	0	10	0.179	48.100	15.159	15.476
Mizuyama	10	0	10	0.216	43.198	14.955	15.869

3-1-2-Matrice de corrélation :

Voici la matrice de corrélation

Tableau 16. Matrice de corrélation

Variables	Recking et al	Mizuyama	Parker
Recking et al	1.000	0.504	0.492
Mizuyama	0.504	1.000	0.998
Parker	0.492	0.998	1.000

3-1-3-Statistiques de multicollinéarité:

Voici les statistiques de multicollinéarité

Tableau 17. Statistiques de multicollinéarité

Statistique	Recking et al	Mizuyama
Tolérance	0.746	0.746
VIF	1.340	1.340

3-1-4-Régression de la variable Parker:

Synthèse de la sélection des variables :

Tableau 18. Régression de la variable Parker

Nb. de variables	Variables	MCE	R ²	R ² ajusté	Cp de Mallows	AIC de Akaike	SBC de Schwarz	PC d'Amemiya
2	Recking et al Mizuyama	1.272	0.997	0.996	3.000	4.840	5.748	0.004

R2 coefficient de détermination linéaire de Pearson, noté R2 est une mesure de la qualité de la prédiction d'une régression linéaire.

3-1-5-Coefficients d'ajustement :

Tableau 19. Coefficients d'ajustement

Observations	10.000
Somme des poids	10.000
DDL	7.000
R ²	0.997
R ² ajusté	0.996
MCE	1.272
RMCE	1.128
DW	1.128

Notre cas (R2=0.99) R est approximativement égal à 1.

Nous confirmons une excellente convergence de notre modèle proposé.

3-1-6-Analyse de la variance:

Tableau 20. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	2	2865.269	1432.635	1126.136	< 0,0001
Erreur	7	8.905	1.272	/	/
Total corrigé	9	2874.175	/	/	/

3-1-7-Paramètres du modèle :

Tableau 21. Paramètres du modèle

Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr > t	Borne inférieure (98%)	Borne supérieure (98%)
Constante	-0.672	0.549	-1.225	0.260	-2.317	0.973
Recking et al	-0.017	0.028	-0.590	0.573	-0.101	0.068
Mizuyama	1.132	0.027	41.293	< 0,0001	1.050	1.215

3-1-8-Equation du modèle :

la formule proposée de Type ML est la suivante :

$$\text{modèle proposé} = -0,67191 - (0,01660 * (15,6 * \sqrt{g * (S - 1) * D_{50}^3} (\theta_c - \theta_c)^2) + 1,13246 * (\sqrt{g * (S - 1) * D_{50}^3} * \left[\frac{12 - 24\sqrt{S}}{\cos(\text{atan}(S))} \theta_c^{(1,5 - \sqrt{S})} (1 - e^{2 \frac{\theta_c}{\theta}}) (1 - \sqrt{\frac{\theta_c}{\theta}}) \right]) \quad (04)$$

Avec:

$$\theta_c = 0.15S^{0.275}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{0.85 - 3.25S}{1 - 1.625S}}$$

$$\theta = \frac{R}{D_{50}} \frac{S}{(s - 1)}$$

$$\theta_c = 0.04 \times 10^{1.72S}$$

$$\theta = \frac{R}{D_{50}} \frac{S}{(s - 1)}$$

3-1-9-Coefficients normalisés :

Tableau 22. Coefficients normalizes

Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr > t	Borne inférieure (98%)	Borne supérieure (98%)
Reckingetal	-0.014	0.024	-0.590	0.573	-0.087	0.059
Mizuyama	1.006	0.024	41.293	< 0,0001	0.933	1.079

3-1-10-Prédictions et résidus :

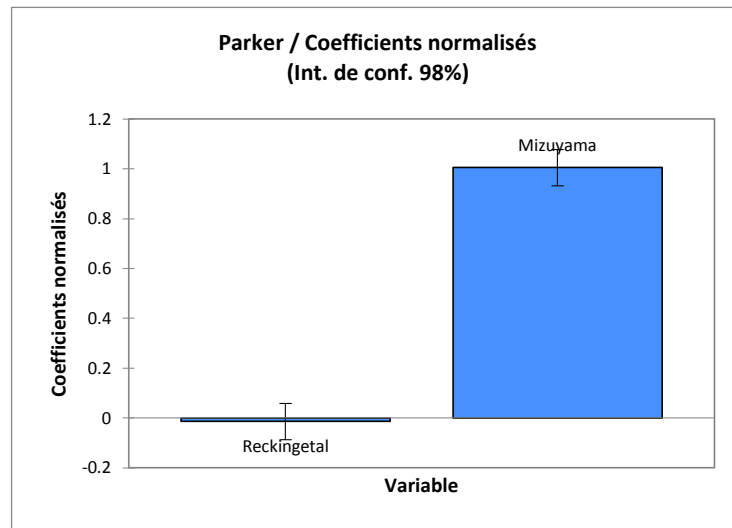


Figure 18. Prédictions et résidus

3-1-11- Prédiction et résidus:

Tableau 23. Observation du prédictions et résidus

Observation	Poids	Parker	Préd (Parker)	Résidu	Résidu std.	Résidus studentisés	Ecart-type sur la préd. (Moyenne)	Borne inférieure 98% (Moyenne)	Borne supérieure 98% (Moyenne)	Ecart-type sur la préd. (Observation)	Borne inférieure 98% (Observation)	Borne supérieure 98% (Observation)
Obs1	1	0.172	-0.431	0.603	0.535	0.611	0.545	-2.064	1.202	1.252	-4.186	3.325
Obs2	1	8.883	8.438	0.445	0.395	0.427	0.429	7.153	9.723	1.207	4.820	12.056
Obs3	1	45.845	43.674	2.172	1.926	2.455	0.700	41.575	45.772	1.327	39.694	47.654
Obs4	1	2.510	2.293	0.217	0.192	0.213	0.487	0.833	3.753	1.229	-1.391	5.977
Obs5	1	6.406	6.639	-0.233	-0.206	-0.222	0.412	5.405	7.873	1.201	3.039	10.239
Obs6	1	26.097	26.251	-0.154	-0.136	-0.226	0.900	23.553	28.949	1.443	21.925	30.578
Obs7	1	18.835	19.645	-0.810	-0.718	-0.838	0.582	17.899	21.391	1.269	15.839	23.451
Obs8	1	1.404	1.990	-0.587	-0.520	-0.583	0.509	0.464	3.517	1.237	-1.720	5.701
Obs9	1	3.494	3.568	-0.074	-0.066	-0.072	0.465	2.173	4.964	1.220	-0.090	7.227
Obs10	1	46.476	48.056	-1.580	-1.401	-2.338	0.903	45.348	50.764	1.445	43.724	52.388

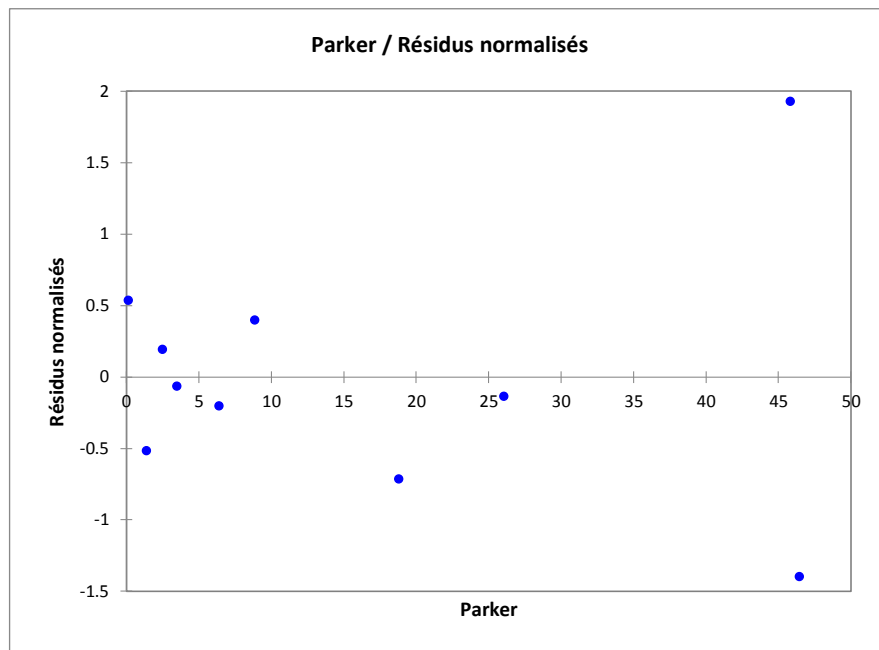


Figure 19. Efficacité du nouveau modèle 1

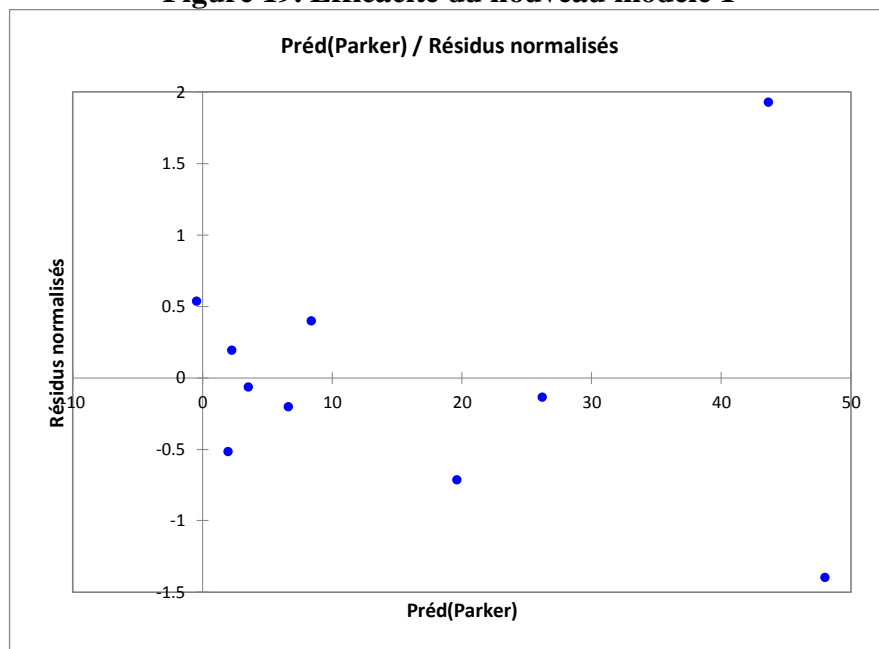


Figure 20. Efficacité du nouveau modèle 2

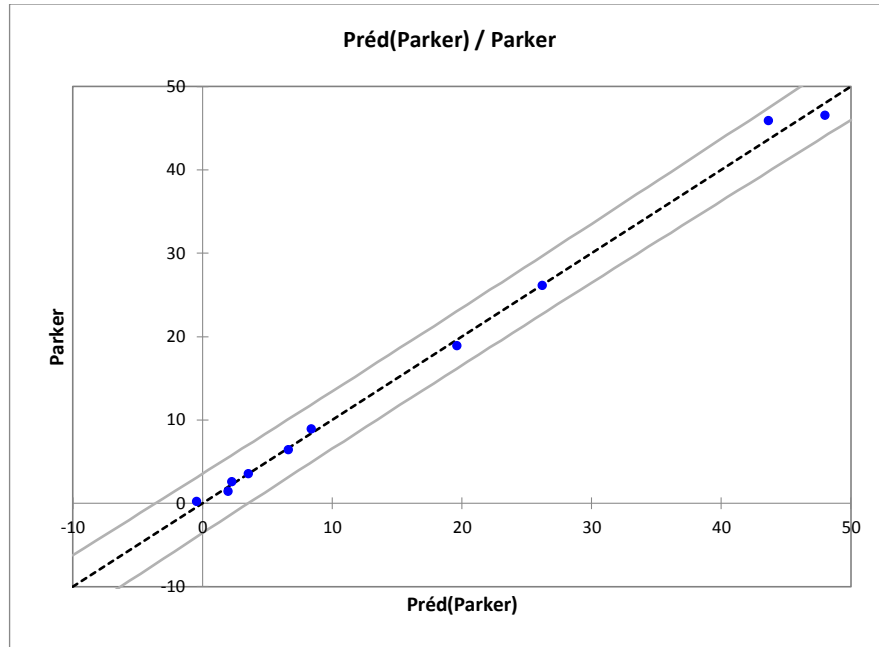


Figure 21. Efficacité du nouveau modèle 3

3.2. Résultat numérique

Tableau 24. Résultat numérique de chaque station par modèle proposé

N	Station	Parker	Recking et al	Mizuyama	Modèle Proposé
1	Kerdache	0.17	0.18	0.22	0.43
2	Ranou	8.88	18.23	8.31	8.44
3	Zaouia-Labidia	45.85	21.57	39.47	43.67
4	Bourkhis	2.51	3.49	2.67	2.29
5	Sidi-Slimane	6.41	9.15	6.59	6.64
6	Sidi-Amrane	26.10	48.10	24.48	26.25
7	Zaouiet Riab	18.84	32.97	18.42	19.65
8	Tinedla Amont	1.40	1.60	2.37	1.99
9	Tinedla Aval	3.49	4.70	3.81	3.57
10	Boufeggoussa	46.48	11.59	43.20	48.06
	SOMME	160.12	151.59	149.55	160.12

3.3. Validation du modèle proposé :

Afin de valider notre modèle, les critères statistiques suivants ont été calculés:

Critère de Nash, RMSE, MBE, R², RSR.

les résultats obtenus sont comme suit:

Nash =1.0 ; RMSE=0,86; MBE=0,25 ; RSR=0.02

nous constatons que notre modèle est parfait puisque nash est de l'ordre 1 et le RSR inférieur à 0,5.

Nash: critère de Nash,

RMSE: L'écart quadratique moyen (RMSE) est l'écart-type des résidus (erreurs de prévision).

MBE: l'erreur quadratique moyenne.

RSR :Le rapport de la somme des rangs "The Rank Sum Ratio ".

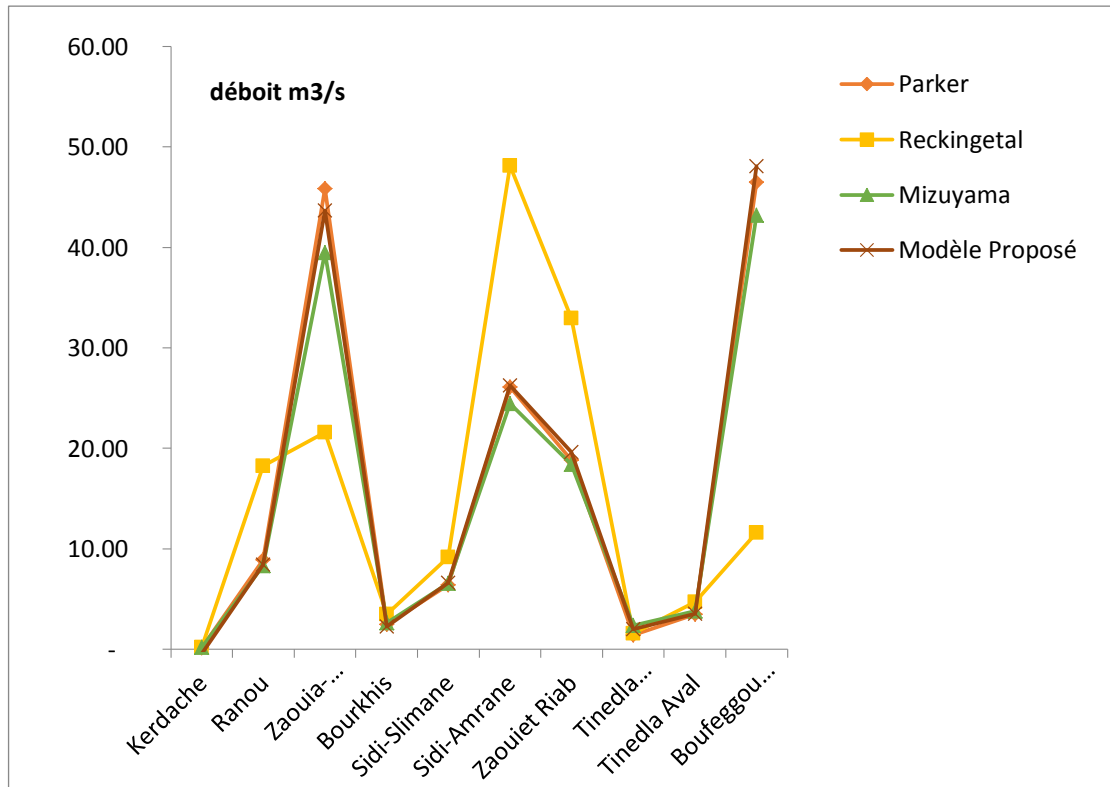


Figure 22.la comparaison des résultats du débit par modèle proposé. graphiquement, nous constatons une très bonne convergence avec d'autres modèles.

Conclusion

le modèle proposé montré est excellente performance selon les critères de validation.

le critère de Nash est de l'ordre 1, le RSR est très inférieur à 0,5 et une erreur minimale de l'ordre 0,86.

ces résultats confirment la fiabilité du modèle proposé.

graphiquement, on constate que le tracé de notre modèle s'aligne très bien avec les autres modèles adéquats

Conclusion générale

Les problèmes de mesure, d'analyse et de prédétermination des différents paramètres du transport solide des oueds des zones semi-arides sont d'actualité et nécessitent des approches des solutions adéquates quant à la quantification plus précise des charges solides nécessaires au dimensionnement des ouvrages d'aménagements hydrauliques de mobilisation et de protection contre les inondations.

Les principales formules de transport solide utilisées en ingénierie ont été testées sur différents jeux de données correspondant à des mesures intégrées sur différentes échelles de temps.

C'est pourquoi une nouvelle formule de transport a été recherchée. Les tests réalisés sur les données disponibles semblent confirmer une nette amélioration de la prédiction du transport avec ce nouveau modèle.

Le modèle proposé confrime sa fiabilité du fait que les critères statistiques montrent une très bonne performance.

Nash =1,00 ; RMSE=0,86 ;MBE=0,25; R²= 1,00 et RSR= 0,02.

alors que, le tracé graphique du modèle est presque identique aux tracés des modèles adéquats .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **M. Henri PELLERAY**, Etude sommaire des transports solides dans un petit bassin du nord — Cameroun, Service Hydrologique de l'ORSTOM au Cameroun
- [2] **Ben aicha .A**, Etude des processus des transports solide et leur impact sur l'alluvionnement des barrages, Mémoire de Magister en Hydraulique, Option : Simulation Numérique Des Ecoulements Polyphasiques, université de Batna.
- [3] **FREY.P** , ,1991 Etude expérimentale et simulation numérique du transport turbulent de particules solides dans un décanteur, Docteur, spécialité : Mécanique, L'école centrale de Lyon.
- [4] **Bouchelkia .A** , 2009 , Etude du transport solide dans un bassin versant et son impact sur l'envasement des barrages —cas du bassin versant de chellif-doctodat en Hydraulique, université de Tlemcen.
- [5] **Baloul D**, 2012, Développement, interprétation et évaluation de la précision de la relation entre la concentration des sédiments en suspension et le débit liquide. Etude de cas : sous bassin versant de l'Oued Tafna et d'Oued Isser, Magister : Option Ecoulement et transport solide, université de Tlemcen.
- [6] **Komercu. M, Onsoy. H, Kankal. M, Karasu. S**, Etude des transports solides en vue de gestion des ouvrages hydrauliques dans la région de la mer noire, Est en Turquie.
- [7] **(I.N.R.A.A, 2001)**. *Agence nationale des ressources hydrauliques (secteur de Touggourt)*.
- [earth explore 2022]**
- [8] **Perennes, 1979** *Structures agraires et décolonisation les oasis de l'oued Righ (Algérie) Professeur à L'ITPEA d'Alger Editions l'Harmattan. ISB N° 345 - Septembre, 372pages.*
- [9] **ENHYD. ,2003** *Etude topographique du canal Oued Righ*
- [10] **Ackers, P., and W. R. White (1973)**, Sediment transport; new approach and analysis, *Journal of then Hydraulics Division*, 99, 2041-2060.
- [11] **Einstein, H. A. (1937)**, *Bed load transport as a probability problem, PhD thesis, Federal Institute of echnology, Zurich*
- [12] **Einstein, H. A. (1950)**, The bed-load function for sediment transportation in open channel flows, 71 pp, United States Department of Agriculture - Soil Conservation Service, Washington.
- [13] **Einstein, H. A., and N. L. Barbarossa (1952)**, River Channel Roughness, *American Society of Civil Engineers, Paper N°2528*, 1121-1146.
- [14] **Einstein, H. A., and N. Chien (1953)**, Transport of sediment mixtures with large ranges of grain sizes, 49 pp, MRD Sediment Series No.2, U.S. Army Engineer Division, Missouri River, Corps of Engineers, Omaha, Neb.
- [15] **Engelund, F., and E. Hansen (1967)**, *A monograph on sediment transport in alluvial streams, 62 pp, Technical University of Denmark.*

- [16] **Mizuyama, T. (1977)**, Bedload transport in steep channels, 118 pp, PhD thesis Dissertation, Kyoto University, Kyoto.
- [17] **Mueller, E. R., et al. (2005)**, Variation in the reference Shields stress for bed load transport in gravelbed streams and rivers, *Water Resources Research*, 41, W04006 (04001-04010).
- [18] **Parker, G. (1978)**, Self-formed straight rivers with equilibrium bank and mobile bed. Part 2 : the gravel river, *Journal of Fluid mechanics*, 89, 127-146.
- [19] **Parker, G. (1979)**, Hydraulic geometry of active gravel rivers, *Journal of Hydraulic Engineering (ASCE)*, 105, 1185-1201.
- [20] **Parker, G., et al. (1982)**, Bedload and size distribution in paved gravel-bed streams, *Journal of the Hydraulics Division (ASCE)*, 108, 544-571.
- [21] **Parker, G., et al. (2007)**, Physical basis for quasi-universal relations describing bankfull Hydraulic geometry of single thread gravel-bed rivers, *Journal of Geophysical Research Earth Surface*, *subm.*
- [22] **Recking, A. (2009)**, Theoretical development on the effects of changing flow hydraulics on incipient bedload motion, *Water Resources Research*, 45, W04401, 16.
- [23] **Recking, A. (2010)**, A comparison between flume and field bedload transport data and consequences for surface based bedload transport prediction, *Water Resources Research*.
- [24] **Recking, A., et al. (2009)**, An experimental investigation of mechanisms responsible for bedload sheet production and migration, *J. Geophys. Res.*, 114, F03010,.
- [25] **Recking, A., et al. (2008a)**, Bedload transport flume experiments on steep slopes, *Journal of Hydraulic Engineering*, 134, 1302-1310.
- [26] **Recking, A., et al. (2008b)**, Feedback between bed load and flow resistance in gravel and cobble bed
- [27] **Schoklitsch, A. (1962)**, *Handbuch des Wasserbaus (in German)*, Springer Verlag (3rd edition), Wien.
- [28] **Seitz, H. R. (1976)**, Suspended - and bedload- sediment transport in the Snake and Clearwater rivers in the vicinity of Lewiston, Idaho (August 1975 through July 1976), Boise, Idaho.
- [29] **Shields, A. (1936)**, Anwendung der Aehnlichkeitsmechanik und der turbulenzforschung auf die geschiebebewegung, Technischen Hochschule, Berlin.