Chapitre IV

IV.1 Apports liquides

IV.1.1 Formule de SOGREAH

Sogreah a mené son étude sur une zone comprenant les bassins de l'oued Kebir Rhumel **N°(10),** de l'oued Seybouse **N° (14)** et les petites bassins côtières situés entre Bejaia et la frontière tunisienne (n° 03), soit une superficie de 26000 Km2 équipée de 86 *stations* (équivalent à 1 pluviomètre pour 300 Km2), et de 15 pluviographes (équivalent à 1 pluviographe pour 1700 Km2 en moyenne).

Le traitement des données de cette région montre que la relation pluie (Pa)-lame écoulé (E) à l'échelle annuelle peut se formuler sous la forme suivante:

$$\mathbf{E = 720\left(\frac{P_a - P_0}{1000}\right)^{1.85}} \quad \mathbf{si\ P_a > P_0 + 68} \qquad \text{…..(IV.01)}$$

$$\mathbf{E = 5\ mm \quad si \qquad P_a < P_0 + 68} \qquad \text{…..(IV.02)}$$

Avec:

P_a: pluie annuelle

E : lame écoulée annuelle

P_0 : seuil (250 **mm** dans le nord, 150 **mm** sur les hautes plaines).

SOGREAH (1989).

IV.1.2 La formule de SAMIE

Les corrélations entre les débits et leurs hauteurs de pluies ont conduit SAMIE (dans ces études sur 12 stations hydrométriques ; dont les hauteurs des pluies s'échelonnent entre 300 et 400 mm) a établir la formule suivante :

$$\mathbf{Le = \overline{p^2}\left(293 - 2.2\sqrt{S}\right)} \qquad \text{…..(IV.03)}$$

$$\mathbf{\overline{A} = L_e . S . 10^3}\ (10^6\ m^3) \qquad \text{…..(IV.04)}$$

Ou :

L_e : lame d'eau écoulée en (mm).

P : pluie moyenne annuelle en (m).

S : superficie du bassin en (Km^2).

$\bar{A}$: Apport moyen annuel (10^6 m^3).

LABRI T. (1986)

IV.1.3 Formule de TURC

Cette formule est donne la lame d'eau écoulée d'un bassin à partir de la pluie moyenne annuelle et de sa variable thermique. Elle s'écrit :

$$\mathbf{L_e = \overline{P} - \frac{\overline{P}}{\sqrt{0.9+\frac{P^2}{V^2}}}} \qquad \text{.....(IV.05)}$$

Ou: Le : lame écoulée moyenne (mm)

P : pluie moyenne annuelle (mm)

V : variable thermique

$V=300+25T+0.05T^3$

T : température moyenne du B.V. (°C)

SARVARY I. (1978)

IV.1.4 Formule de MEDINGUER*:*

Cette formule est donne la lame d'eau écoulée d'un bassin à partir de la pluie moyenne annuelle. Elle s'écrit :

$$\mathbf{L_e = 1.024\left(P_{moy} - 0.26\right)^2} \qquad \text{.....(IV.06)}$$

Le : Lame d'eau écoulée en (mm)

$\mathbf{P_{moy}}$: Pluie moyenne annuelle en m.

RATIAT A. (2006)

IV.1.5 Formule de MALLET-GAUTIER :

Cette formule est donne la lame d'eau écoulée d'un bassin à partir de la pluie moyenne annuelle. Elle s'écrit :

$$\mathbf{L_e = 0.6.P_{moy}\left(1 - 10^{-0.36.P_{moy}^2}\right)} \quad \text{…..(IV.07)}$$

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle en (m)

Le : Lame d'eau écoulée en m.

$\bar{A} = L_e.S.10^{-3}$

KEMOUKE S. (2008)

IV.1.6 Formule dite ALGERIENNE :

C'est une formule qui vient de l'Algérie, la lame d'eau écoulée moyenne annuelle est donnée par la relation :

$$\mathbf{L_e = \overline{P_0}\left(1 - 10^{-k..\overline{P_0^2}}\right)} \quad \text{…..(IV.08)}$$

Le : lame d'eau écoulée en m

P0 : Pluie moyenne annuelle en m

S : surface du bassin versant en km2.

K : coefficient dépendant de la surface du bassin versant

$$\mathbf{k = 0,18 - 0,01.\ Lg10}\ (S) \quad \text{…..(IV.09)}$$

k = 0,18-0,01.Lg10 (1456) = **0.148**

$$\mathbf{\overline{A} = L_e.S.10^{-3}}$$

BELLOULA M. (2008)

IV.1.7 Formule d'ANRH:

Cette formule est donne directement l'apport moyen d'un bassin à partir de la pluie moyenne annuelle et de sa superficie. Elle s'écrit :

$$\mathbf{A_0 = 0.513.P_{moy}^{2.683}.D_d^{0.5}.S^{0.842}} \qquad [10^6 m^3] \qquad \text{.....(IV.10)}$$

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle [m].

S : Superficie du bassin versant [Km^2].

D_d : Densité de drainage [km/km^2].=3.55

BELLOULA M. (2008)

IV.1.8 Formule de l'DERY I :

La formule de DERY I donne directement l'apport moyen d'un bassin à partir de la pluie moyenne annuelle et de sa superficie. Elle s'écrit :

$$\mathbf{\bar{A} = 0.915 \times P^{2.684}.S^{0.842}} \qquad \text{.....(IV.11)}$$

P : Pluie moyenne annuelle (m).

S : Superficie du bassin versant (Km^2).

LABRI T. (1991)

IV.2 Apports solides

IV.2.1 Processus de l'érosion dans les bassins versants :

Généralités :

L'érosion en général est l'ensemble des phénomènes physiques et chimiques d'altération ou de dégradation des reliefs. L'action des agents érosifs sur les reliefs conduit à la production et au transport d'une certaine quantité de sédiments. Les sols et les roches sont arrachés, transportés et déposés, générant un flux de sédiments sur les versant et thalwegs, dont la dynamique est encore mal connue. Les processus érosifs et de déposition qui peuvent se développé sur les bassins versants sont

différenciés selon l'agent érosif : vent, pluie, ruissellement, ou selon la source de sédiments : rigoles, ravines, berges, plaines d'inondation.

IV.2.2 Les type d'érosion

L'érosion hydrique c'est l'ensemble des phénomènes complexes et interdépendants qui provoquent le détachement et le transport des particules de sol. Elle se défini comme la perte du sol due à l'eau qui arrache et transporte la terre vers un lieu de dépôt. Les sédiments ainsi arrachés à cause de l'effet des gouttes d'eau et des eaux de ruissellement se déposent généralement à l'aval dans les retenues et les estuaires. Ce phénomène devient encore plus grave si l'on sait que 85% des surfaces cultivables, sont situées dans les zones les plus sensibles à l'érosion. **Bouanani (2004).**

IV.2.2.a Érosion en nappe

Elle est caractérisée par une eau de ruissellement sans griffes ou rigoles visibles. Sous l'effet de l'impact des gouttes de pluies (effet splash), les particules sont arrachées et restent maintenues en suspension par la turbulence. Dans un premier temps, c'est l'énergie cinétique des gouttes qui va arracher les particules. La battance des gouttes de pluie va envoyer des gouttelettes dans toutes les directions, sous l'effet de la gravité, l'ensemble des gouttelettes auront une vitesse moyenne qui se dirige de l'amont vers l'aval. À partir de là, il y aura formation de flaques et débordement de l'eau non infiltrée d'une flaque à l'autre ce qui entraînera un ruissellement en nappe. L'érosion en nappe dépend de :

- L'intensité maximale des pluies qui déclenchent le ruissellement.
- L'énergie cinétique des pluies qui détachent les particules.
- La durée des pluies et/ou l'humidité avant les pluies.

Les signes qui permettent de caractériser l'érosion en nappes sont l'apparition de plages de couleur claire aux endroits les plus décapés et la remontée de cailloux à la surface du sol. Les conséquences de l'érosion en nappe sont:

- le nivellement de la surface du sol.
- La squelettisation des horizons superficiels.
- Le décapage entraînant l'apparition de taches claires.

En Algérie, les pertes en sol par ce type d'érosion est de l'ordre de 0,1 à 20 t/ha/an. **BOUANANI (2004).**

IV.2.2.b Érosion linéaire

Ce type d'érosion succède l'érosion en nappe. Elle se manifeste par la concentration du ruissellement dans les creux en formant des lignes d'écoulement limitées dans l'espace apparaissent selon la ligne de plus grande pente : selon la profondeur de ces lignes, le vocabulaire employé est différent.

Tableau (32) Appellation des lignes d'écoulement (d'après Roose, 1994)

Profondeur	Appellation
Quelques centimètres	Griffes
>10 cm	Rigoles
10 à 20 cm Quelques mètres de large	Nappe Ravinant
>50 cm	Ravines

IV.2.3 Facteur influençant l'érosion

- **Le climat**

Le climat est un facteur important qui influe sur l'érosion hydrique par la nature des précipitations et des températures. Un climat agressif comme celui des régions aride et semi-arides est caractérisé par des pluies de grandes intensités pendant un temps court et des longues périodes de sécheresse. Les deux éléments accentuent remarquablement l'érosion, les températures élevées permettent d'assécher et de fissurer le sol ce qui augmente sa vulnérabilité à l'érosion et les fortes pluies viennent avec des énergies cinétiques élevées pour détacher et emporter un maximum de sol déjà très faible.

- **Le sol**

Il est caractérisé par son type, sa texture et son état. En saison sèche l'humidité du sol est presque nulle, dans cet état le sol perd toute sa cohésion, il présente a cet effet une texture détachée des grains. Ce qui favorisera l'érosion hydrique lors des premières pluies. Il influe de même sur le ruissellement par ses capacités d'infiltration et de rétention.

- **La végétation**

Il s'agit du facteur primordial dans la lutte contre l'érosion, la présence du couvert végétal sur le sol augmente sa résistance contre l'érosion :

- l'interception des gouttes de pluie permet une meilleure dissipation d'énergie cinétique, ce qui limite le « splash ».

- La partie radiculaire maintient le sol stable et permet aux plantes de freiner le ruissellement, ce qui limite l'arrachage et le transport des sédiments.

- L'apport en matière organique permet d'améliorer la structure du sol et sa cohésion.

- **Les labours inadaptés**

Le travail du sol présent deux effets antagonistes vis-à-vis l'érosion hydrique; d'une part il limite l'érosion en augmentant la perméabilité et la capacité de rétention du sol et d'autre part il la favorise en diminuant la cohésion et la stabilité structurelle du sol. Pour les faibles pluies (ou les premières phases des grosses pluies), un labour bien fait limite considérablement le phénomène de l'érosion hydrique. **HEDJAZI A. (2009).**

IV.2.4 Le Transport solide :

Généralités :

Le transport solide dans un cours d'eau constitue la seconde phase de l'érosion. La dynamique des matériaux arrachés du sol et transportés par l'écoulement dépend essentiellement de la vitesse d'écoulement et de la granulométrie.

L'eau trouve la puissance nécessaire pour ce transport dans la perte de la charge qu'elle subit. Le champ d'exploitation de vitesse varie tout au long du profil de l'oued de l'amont en aval

L'eau met en jeu deux types de mécanismes : le charriage et la suspension qui sont les principaux types de transport solide

La capacité de charriage est liée à la nature granulométrique des matériaux et varie dans le temps et dans l'espace avec le débit liquide

La répartition entre le charriage et la suspension dépend essentiellement de la dimension des matériaux rapportés à la vitesse de l'eau et la turbulence de l'écoulement. En tout point d'une rivière d'alimentation, le débit solide est défini par les caractéristiques hydrologiques de son bassin versant.

IV.2.5 Méthode de prévision des apports solides :

Généralité :

Pour prévoir le transport solide, plusieurs méthodes sont utilisées, la plupart d'entre elles se fondent, soit directement soit indirectement sur des mesures par prélèvement d'échantillons, ou sur des levés topographiques dans les retenues. Ces méthodes sont classées en trois types :

1. Méthode empirique
2. Méthode d'application des équations du transport solide.
3. Méthode par modélisation.

IV.2.5.a Méthode de quantification de l'apport solide en Algérie :

En Algérie, le problème de transport solide a été l'objet de plusieurs recherche (*Tixeront 1960*, *Sogreah 1969* …).

Les études de quantification traitent en général les différentes relations existantes entre toutes les caractéristiques qui rentrent dans l'identification de la région étudiée.

V.2.5.a.1 Formules Tixeront(1960)

Cette formule est Basée sur les données recueillies de 32 bassins d'Algérie et 9 bassins de Tunisie (dont 4 alimentant des barrages réservoirs). Les superficies varient de 890 à 22.300 Km^2 et les observations portant sur durée variant de 2 à 22 ans.

Après avoir regroupée les bassins en trois classes suivant un critère régional, Tixeront propose trois relations ;

- **$A = 354 * R^{0.15}$** (bassins Tunisiens)
- **$A = 92 * R^{0.21}$** (bassins de l'Est algériens) } …..(IV.12)
- **A= 2.000** (région centre Algérie)

Avec :

A= apports solides spécifique moyens annuels (t/Km^2/an)

R= écoulement annuel total (mm)

Lottl. C. (1987).

V.2.5.a.2 Modèle de SOGREAH (1969) :

Cette étude est Basée sur les données recueillies dans 27 bassins d'Algérie (dont 16 alimentant des barrages réservoirs) totalisant 282 années-stations. Les superficies varient de 90 à 22.300 Km2.

Les relations de Sogreah, inspirées des relations Tixeront, donnent les apports solides spécifiques A(t/Km2/an) en fonction du ruissellement annuel de crue (mm) et de la perméabilité des bassins, elles s'écrivent comme suit :

- Pour une Perméabilité élevée **$A= 8.5*R^{0.15}$**
- Perméabilité moyenne a élevée **$A= 75*R^{0.15}$**
- Perméabilité faible a moyenne **$A= 350*R^{0.15}$**
- Perméabilité faible **$A= 1.400*R^{0.15}$**
- imperméables **$A= 3.200*R^{0.15}$**

}.....(IV.13)

Lottl. C. (1987).

V.2.5.a.3 Formule fournier

cette formule est basée sur les données recueilles dans 104 bassins de superficie supérieure à 2000 Km2 appartenant à différentes régions du globe, la formule fait intervenir la notion de contraste et d'abondance pluviométrique ainsi que l'orographie des bassins.

$$\mathbf{E} = \frac{1}{36}\left(\frac{\mathbf{P_m^2}}{\mathbf{P_{an}}}\right)^{\mathbf{2.65}}\left(\frac{\mathbf{h^2}}{\mathbf{S}}\right)^{\mathbf{0.46}} \qquad \text{..... (IV.14)}$$

Où

E : Apports solides spécifiques moyens annuels(t/Km2/An)

Pm : pluie mensuelle moyenne du mois le plus pluvieux (mm)

Pan: Pluie moyenne annuelle (mm)

h : dénivelée moyenne = $\overline{H} - H_{min}$(m)

S : superficie du bassin (Km2)

Lottl. C. (1987).

V.2.5.a.4 Formule de l'ANRH :

Cette formule est Élaborée à partir des données recueilles dans 30 bassins versants d'Algérie, de superficie comprise entre 100 et 3000 Km2, soumise à une pluviométrie comprise entre 300 et 1000 mm.

$$\mathbf{Tss\ (T/km^2/an) = 26.62\ IL + 5.07\ IP + 9.77\ CT - 593.56} \quad \text{…..(IV.15)}$$

Tss : transport solide spécifique moyenne annuel (t/Km2/an)

Il : indice lithologique = superficie des formations marneuses et argileuses du crétacé supérieur et tertiaire exprimé en pourcentage de la superficie totale du bassin

IP : indice des précipitations érosives (fait intervenir le pourcentage des précipitations annuelles tombées sous forme des pluies journalières supérieures à 20 mm et le nombre annuel de ce type de précipitations).

CT : coefficient de torrentialité = Dd*F1

Dd : densité de drainage (longueur du réseau fluviatile par unité de surface)

F1 : fréquence des thalwegs élémentaires.

Lottl. C. (1987).

V.2.5.a.5 Formule de Gavrilovic

Mise au point en Yougoslavie et utilisée en Algérie dans le cadre d'un projet régional.

La formule est basée sur 2 fonctions :

Une fonction donnant la production annuelle de sédiment.

$$\mathbf{P_e = TH_m\pi\sqrt{Z^3}} \quad \textbf{…..(}\text{IV.16}\textbf{)}$$

P_e : production moyenne annuelle de sédiment, en suspension et de charriage ($m^3/Km^2/an$)

H_m : Pluie moyenne annuelle (mm)

T : coefficient de température = $\sqrt{\frac{t^\circ}{10}} + \mathbf{0.1}$ **…..(**IV.17**)**

t° : Température moyenne annuelle (°C)

Z : coefficient empirique lié à l'érosion du bassin :

- Érosion excessive *Z de 1.00 à 1.50*
- Erosion intense *Z de 0.70 à 1.00*
- Erosion moyenne *Z de 0.40 à 0.70*
- Erosion faible *Z de 0.20 à 0.40*
- Erosion très faible *Z de 0.70 à 1.00*

1. Une fonction déterminant le taux de rétention (R_m) des sédiments produits par le bassin en tenant compte des discontinuités spatio-temporelles dans le flux des matériaux arrachés.

$$\mathbf{R_m = \frac{\sqrt{P_e}\bar{H}}{0.2(L+10)}} \quad \textbf{…..(}\text{IV.18}\textbf{)}$$

P_e : périmètre du bassin versant (Km)

$\bar{H}$: Altitude moyenne (Km)

L : longueur du thalweg principal (km)

La dégradation spécifique est donnée ($m^3/Km^2/an$)

$$\mathbf{Ds = P_e \times R_m} \quad \textbf{…..(}\text{IV.19}\textbf{)}$$

L'intérêt de cette méthode est d'introduire la notion de transfert qui complète la notion de production prenant en charge ainsi le phénomène de discontinuité, généralement passé sous silence.

On ignore cependant les conditions d'établissement de cette formule qui donne les apports solides en volume ($m^3/Km^2/an$), ce qui rend difficile la comparaison avec les résultats des autres méthodes qui fournissent les apports solides en $t/Km^2/an$,

Lottl. C. (1987).