

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
التعليم

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة خميس مليانة
Université Khemis Miliana
Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre
Département de: Biologie.



Mémoire de fin d'étude

*En vue de l'obtention d'un diplôme de **Master** en*

***Domaine** : Sciences de la Nature et de la Vie*

***Filière** : Ressources en Sol, Eau et Environnement*

***Spécialité**: Eau et Bioclimatologie*

Développement d'un logiciel pour l'Estimation des Pertes en Sol Cas du Bassin Versant oued Harraza

Présenté par :

M^r Benhammar Mohamed Amine.

M^r Meziane Maamar.

Soutenu le: 09Juin 2015, Devant le jury composé de :

Président : Mme Bouaichi I (MAA).

Promotrice : Mme Hallouz F(MCB).

Co promoteur: Mr Ali Rahmani S (Doctorant).

Examineur: Mr Amrani R(MAA).

Examineur: Mr Kadir M (MAA).

Année universitaires: 2014/2015

Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah, notre créateur pour nous avoir donné de la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce modeste travail.

Nous adressons le grand remerciement à notre encadreur : Mme Hallouz Faiza qui a proposé le thème de ce mémoire, pour ses conseils et ses dirigés du début à la fin de ce travail. Et Mr Salah el dine Ali Rahmani L'E CO PROMOTEUR pour sa disponibilité, sa rigueur, ses encouragements et ses critiques ainsi que pour ses conseils.

Nous remercions également toutes les personnes qui nous ont aidés, de près ou de loin pour la réalisation de ce travail en particulier.

Mes vives gratitude s'adressent à Madame Bouaichi Ilham qui a bien voulu présider nos jurys. Je le remercie pour sa disponibilité et son aide précieuse.

Nous tenons à remercier aussi les membres du jury. Mr Kadir Mokran et Mr Amrani Rachid pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger notre travail.

Nous leurs doit un grand respect.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A ma très chère mère qui a si souffert pour me soutenir.

A mon père.

A mes chères sœurs et ses enfants. A mon cher frère Tadj dine.

Et a tous mes amis surtout Mohamed et Hichem.

*A tous mes amis de la promotion 2014/2015 Eau et
Bioclimatologie*

*A tous les étudiants des l'université de Djilali Bounaama
Khemis Miliana.*

Mohamed Amine

Dédicace

Avec l'aide de dieu tout puissant on a pu ce Modest travail que je dédie

A mon père et ma mère le grand cœur sur la terre de m'avoir aidé avec leurs conseils et leurs soutien moral, en espérant que dieu leur donne la santé.

A mes frères

A mes sœurs

A tous ceux qui portent le nom de famille Meziane

A ma promotion d'E-B-2015-

Mes amis et tous qui m'aiment spécialement

Maamar

يعتبر انجراف التربة مشكل كبير في الجزائر. يصبح خطير إذا تجاوز العتبة المسموحة، شدته تتغير من منطقة إلى أخرى. شدة انجراف التربة النوعي بلغ أكبر قيم في شمال الجزائر. النقل الصلب في المجرى المائي هو المرحلة الثانية من الانجراف المائي. هو النتيجة المؤدية إلى فقدان التربة على مستوى الحوض الساكب. الكثير من الأعمال أنجزت على انجراف التربة والنقل الصلب من أجل تقييم فقدان التربة. الحمولة الصلبة تستنتج عموما ابتداء من قياسات مباشرة أو على أساس معادلات النقل الصلب. اخترنا أن نركز هذا العمل في استعمال معادلات التقييم في برنامج يسمح بقياس النقل الصلب. دلفي يقدم كل الأدوات الضرورية من أجل تطوير برنامجنا، من أجل تجربة العمل الجيد لبرنامجنا نفذنا تطبيق للبرنامج في الحوض الساكب لواد حرازا الذي أعطى قيم فقدان التربة لا تتجاوز 10طن/هكتار/سنة.

: الانجراف المائي، النقل الصلب، حوض الساكب واد حرازا.

Résumé

En Algérie l'érosion est un problème majeur. Elle devient dangereuse dès qu'elle dépasse le seuil tolérable et son intensité varie d'une zone à l'autre. Le taux d'érosion spécifique atteint les valeurs les plus élevées d'Algérie du Nord.

Le transport solide dans un cours d'eau constitue la seconde phase de l'érosion hydrique. Il est la conséquence partielle de la perte en terre des sols au niveau du bassin versant. Plusieurs travaux ont été effectués sur l'érosion et le transport solide pour estimer les pertes en sol. La charge solide est déduite généralement à partir des mesures directes ou à base des équations du transport solide.

Nous avons choisi de focaliser ce travail sur l'utilisation des formules d'estimation dans un logiciel permettant de quantifier le transport solide. Delphi fournit tous les outils nécessaires pour développer notre application 'EPS', en effet, pour tester le bon fonctionnement de notre logiciel 'EPS' on a effectué un exemple dans le bassin versant de l'oued Harraza et qui a donné des valeurs de pertes en sol ne dépassant pas 10t/ha.an.

Mots Clés : Erosion Hydrique, transport Solide, EPS, Bassin Versant de l'oued Harraza.

Abstract

In Algeria erosion is a major problem. It becomes dangerous when it exceeds the tolerable threshold and its intensity varies from one area to another. The specific erosion rates reached the highest values of North Algeria.

Sediment transport in a river is the second phase of water erosion. It is the partial result of the loss of soils in the watershed. Several studies were conducted on erosion and sediment transport to estimate soil loss. The solid charge is generally deduced from direct measurements or based on equations of sediment transport.

Then we chose to focus this work on the use of estimation formulas in software to quantify sediment transport. Delphi provides all the necessary tools to develop our application 'EPS', in fact, to test the operation of our software 'EPS' an example was conducted in the watershed of Wadi Harraza which had given values of soil loss not exceeding 10t / ha/an.

Keywords: Hydraulic erosion, Sediment Transport, EPS, watershed of Wadi Harraza.

Table des matières

المخلص

Résumé

Abstract

Remerciements

Liste des photos

Liste des figures

Liste des tableaux

Glossaire

Référence

Annexe

Introduction générale

Chapitre I : Erosion Hydrique.

I. 1. Introduction	4
I. 2. Définition d'érosion hydrique.....	4
I. 3. Formes d'érosion hydrique.....	4
I. 3.1. Erosion en nappe (Sheet érosion).....	4
I. 3.2. Erosion linéaire (micro-Channel ou Rill érosion).....	5
I. 3.2.1. Erosion en griffes et rigoles.....	5
I. 3.2.2. Erosion en ravine.....	6
II. Origine et Mécanisme de l'érosion hydrique.....	6
I. 4.1. Détachement.....	6
I. 4.1.1. Pluie.....	6
I. 4.1.2. Ruissellement.....	8
I. 4.2. Transport.....	9
I. 4.3. Sédimentation.....	9
I. 5. Facteurs de l'érosion hydrique.....	10
I. 5.1. Climat.....	10
I. 5.2. Etat de surface des sols.....	10
❖ Encroûtement de surface.....	11
❖ Rugosité.....	12
❖ Autres caractéristiques de surface.....	13
I. 5.3. Couvert végétale.....	13
I. 5.4. Topographie.....	14
I. 5.5. Facteur d'origine anthropique.....	14
I. 6. Conclusion.....	14

Chapitre II: Transport solide.

II.1. Introduction.....	16
II.2. Définition.....	16
II. 3. Mode de transport solide.....	17
II 3.1. Charge En Suspension (suspended load).....	18
II. 3.1.1. Définition.....	18
II. 3.1.2. Description du phénomène.....	18
II. 3.2. Charge de fond (bed load).....	19
II. 3.2.1. Définition.....	19
II. 3.2.2. Description du phénomène.....	19
II. 3.3. Saltation.....	20
II. 3.3.2. Description de phénomène.....	20
II. 5. Quelques travaux effectués sur le transport solide en Algérie.....	21
II. 5. Quelques données sur le transport solide en Algérie.....	25
II. 6. Conclusion.....	26

Chapitre III: Outils de Développement.

III.1. Introduction.....	28
III.2. Formules pour l'estimation des Pertes en Sol.....	28
III.2.1. Mesures directes.....	28
III .2.2. Formules existantes.....	28
III.2.2.1. Modèle Universelle de Wischmeier	28
III.2.2.1.1. a. Indice d'érosivité des pluies R.....	29
III. b. Erodibilité du sol, K.....	30
III. c. Facteur topographique SL.....	31
III. d. Couvert végétal C.....	31
III. e. Facteurs des aménagements antiérosifs $P_{ér}$	32
III .2.2.2. Formule de Fournier.....	33
III.2.2.3. Formule de Tixeront.....	33
III .2.2.4. Formule de SOGREAH.....	33
III.3. Langage de programmation.....	34
III.3.1. Langage Pascal.....	34
III.3.2. PROGRAMME DELPHI	34
III.3.3. Environnement DELPHI Intégré	35
III.3.3.1. Projets et programmes.....	36
III.4. Conclusion.....	39

Chapitre IV: Contexte géographique

IV.1. Situation géographique de la wilaya d'Ain Defla.....	41
IV.2. Situation du bassin d'étude.....	41
IV.3. Présentation de Barrage de Harreza.....	42
IV.4. Caractéristique hydro-climatique.....	43
IV.4.1. Pluviométrie.....	43
IV.4.2. Température.....	44
IV.4.3. Vent.....	45
IV.4.4. Evapotranspiration.....	45
IV.4.5. Grêles et neiges.....	46

IV.5. Analyses climatiques.....	46
IV.5.1. Diagramme Ombrothermique de Gauss.....	46
IV.5.2. Indice d'aridité de Demartonne.....	47
IV.6. Caractéristiques hydrographique.....	48
IV.7. Géologie.....	49

Chapitre V: Réalisation de Programme numérique.

V. 1. Introduction.....	51
V. 2. Étapes de préparation de notre programme 'EPS'.....	51
IV.2. Programme d'estimation des pertes en sol 'EPS'.....	55
IV.3. Interfaces de Notre application.....	55
IV.3.1. Menu principal.....	56
IV.3.1.1. Commande Fichier.....	56
IV.3.1.2. Commande Calculer.....	58
IV.3.1.3. Commande Comparaison.....	60
IV.3.1.4. Commande Aide.....	62
IV.3.1.5. Informations sur le programme.....	62
IV.4. Application par le programme.....	63
IV.4.1. Données d'accès.....	63
IV.4.2. Résultats.....	64
IV.4.3. Discussion.....	65
IV.5. Conclusion.....	65

Conclusion générale

Liste des Photos

I. 1. Erosion en nappe (Unité de Recherche de Science du Sol d'Orléans PDF).....	5
I. 2. Erosion linière (Unité de Recherche de Science du Sol d'Orléans PDF).....	5
I. 3. Illustration de l'érosion par effet splash. (F. Darboux).....	7
I. 4. Croûte de battance. (F. Darboux).....	8
II. 5. Interface de programme Delphi 7.....	35
III. 6. Gestionnaire de projet.....	36
III. 7. Fichier de projet.....	36
III. 8. Modèle et Experts proposent par Delphi	37
III. 9. Boite de Dialogue, Nouveau éléments.	38
III. 10. Modèles de boites de dialogue préfabriquées.....	38
III. 11. Modèles d'application de projet.....	39
IV. 12. Présentation du bassin d'étude.....	42
IV. 13. Barrage Harraza.....	42
IV. 14. Carte d'occupation du sol.....	48
IV. 15. Coupe interprétative transversale de la plaine du Haut Cheliff.....	49
V. 16. Inspecteur d'objets.....	52
V. 17. Editeur des codes.....	52
V. 18. Développement de Menu dans l'EPS.....	53
V. 19. Interface principale.....	54
V. 20. Interface d'accueil a notre programme.....	55
V. 21. Fenêtre du menu principale.....	56
V. 22. Commande Fichier.....	56
V. 23. Anglets d'information et des formules (Commende Nouveau Projet).....	57
V. 24. Commende Ouvrir.....	57
IV. 25. Boite de Dialogue 'Ouvrir'.....	58
IV. 26. Commende Calculer.....	58
IV. 27. Représentation des résultats sous forme d'un tableau.....	59
IV. 28. Commendes Cumul et Graph.....	59
IV. 29. Représentation des résultats sous une forme de graph.....	60
IV. 30. Commande Comparaison.....	60
IV. 31. Interface de Comparaison.....	61
IV. 32. Représentation des résultats de comparaison sur un même graph.....	61

IV. 33. Graph de Comparaison.....	64
-----------------------------------	----

Liste des figures

I. 1. Origine et Mécanisme de l'érosion hydrique.....	6
I. 2. Processus élémentaire de la désagrégation et de la mise en mouvement (Leguédois 2003).....	9
I. 3. Influence de couvert végétale sur les pluies (F. Darboux).....	13
II. 4. Diagramme érosion, transport, sédimentation (Hjulström, 1930).....	17
II. 5. Modes de transport solide dans un cours d'eau (D. Baloul, 2012).....	18
II. 6. Critères de suspension (Van Rijn, 1984).....	19
IV. 7. Variation des précipitations mensuelles.....	44
IV. 8. Variation des températures moyenne mensuelles.....	44
IV. 9. Variation de l'évapotranspiration moyen mensuel.....	45
IV. 10 : Diagramme Ombrothermique de Bagnoles et Gausсен 1987-2012.....	46
V. 11. Organigramme de l'EPS.....	54

Liste des tableaux

Tableau 1 : Formes de l'érosion linéaire.....	6
Tableau 2 : Classification des faciès (Le Bissonais, 2005).....	11
Tableau 3 : Evaluation de la rugosité de la surface du sol (Ludwig et al, 1995).....	12
Tableau 4 : Quelques données Transport solide en Algérie.....	25
Tableau 5 : Quelques estimations de la dégradation spécifique en Algérie.....	26
Tableau 6: Code des perméabilités différentes facies Source: Adapté par Stone et Hilborn (2000).....	30
Tableau7: Influence du couvert végétal sur l'érosion en Afrique de l'ouest (Roose, 1977).	32
Tableau8 : Facteur « pratiques anti érosives » en Afrique de l'ouest(Roose.1977).....	32
Tableau 9 : Valeurs de α pour différentes perméabilités.....	33
Tableau10 : Caractéristiques du barrage Harraza.....	43
Tableau11 : précipitation moyenne mensuelle en (mm) période (1981-2012) (ANRH).....	43
Tableau12 : Température de la station de barrage Harraza.....	44
Tableau13 : Evapotranspiration en (mm/mois) de la station de barrage Harraza.....	45
Tableau 14: Les calcules de l'indices de Demartonne.....	47
Tableau 15: Les limites de climat d'après l'indice de Martonne.....	47
Tableau16 : Données d'accès pour l'application.....	63
Tableau 17 : Résultats obtenus par le programme pour bassin versant Harraza.....	64

Glossaire:

- : Coefficient dépendant de la perméabilité du sol ;
- **a** : Pourcentage de matière organique ;
- **A.N.R.H** : Agence National de Ressource Hydrique ;
- **ANBT** : Agence Nationale des Barrages et Transfert ;
- **As** : Apport solide spécifique moyen annuel (tonne/Km²/an) ;
- **b** : Code de structure du sol utilisé dans la classification ;
- **C** : Concentration des sédiments en suspension (g/l) ;
- **cp** : Classe de perméabilité du profil ;
- **C_v** : Couvert végétal ;
- **DLL** : Dynamic Link Library (Dynamique bibliothèque lien) ;
- **E** : Ecoulement annuel (mm) ;
- **Ec** : Energie cinétique (joules) ;
- **EDI** : Environnement de Développement Intégré de Delphi ;
- **D_p** : Masse des terres détachée (Kg) ;
- **Es** : Perte potentielle du sol ;
- **Fp**: Acteur de pente ;
- **h** : Dénivelée moyenne (m) ;
- **I** : Intensité moyenne de la pluie (mm/h) ;
- **I_m** : Pente moyenne du bassin versant ;
- **K** : Erodibilité du sol ;
- **lp** : Longueur de la pente (m) ;
- **L** : Facteur de longueur de pente ;
- **M** : Produit du pourcentage de limon ;
- **m** : Masse de goutte de pluie (Kg) ;
- **MDI** : Multiple Document Interface ;
- **ONID** : Office National d'Irrigation et de Drainage ;
- **Pam** : Précipitations annuelles (mm) ;
- **Pér** : Facteur des aménagements antiérosifs ;
- **P**: Pente (%) ;
- **Pm** : Précipitations moyennes mensuelles du mois le plus pluvieux (mm) ;
- **Pi** : Précipitations mensuelles ;

- **Ql** : Débit liquide (m^3/s) ;
- **Qs** : Débit solide en suspension (kg/s) ;
- **RAD** : Rapid Application Development ;
- **R** : Indice d'érodibilité des pluies ;
- **S** : Superficie de bassin versant (km^2) ;
- **SDI** : Single Document Interface.
- **V** : Vitesse (m/s) ;

Introduction

général

Introduction générale

L'érosion hydrique est un phénomène géologique naturel qui a façonné la surface de la terre au cours des âges géologiques [1].

En Algérie, l'érosion est un problème majeur. Elle devient dangereuse dès qu'elle dépasse le seuil tolérable et son intensité varie d'une zone à l'autre. Elle a été reconnue comme un problème environnemental dans l'année 1930 par les colons et les agronomes [2]. En 2004 et dans le cadre de la protection des bassins versants alimentant les barrages en réalisation et en exploitation, l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT) a réalisé une étude pour identifier et préciser les mesures à mettre en œuvre pour lutter adéquatement contre l'envasement des retenues de barrages.

En Algérie, le taux d'érosion spécifique atteint les valeurs les plus élevées d'Afrique du Nord. Selon Demmak (1982), ceux-ci dépassent $2000 \text{ tonnes.km}^{-2}.\text{an}^{-1}$ dans les bassins versants de l'Atlas Tellien. Les concentrations des sédiments en suspension dans les cours d'eau dans les régions semi-arides où l'on pratique une agriculture intensive sont élevées. Il n'est pas rare de trouver des concentrations de 200 grammes par litre à certains endroits pendant ou immédiatement après des pluies abondantes [3].

L'intérêt de l'estimation et de la quantification du transport solide s'est accrue depuis les années 70 pour diverses raisons [4] telles que l'évaluation de l'érosion et de la perte en sol, l'évaluation de l'impact environnemental, le traitement des eaux et l'association des polluants aux particules sédimentaires ainsi que l'estimation des volumes morts des retenues de barrages et leur influence sur la sous ou la sur estimation des capacités de ces dernières [5].

Face à ce problème, plusieurs études de quantification de l'érosion à diverses échelles, ont été menées par des chercheurs sur des parcelles d'une centaine de m^2 ou des micro-bassins de quelques hectares, à de grands bassins versants de milliers de km^2 [6].

La charge solide est déduite généralement à partir des mesures directes ou à base des équations du transport solide. Quoique les mesures directes restent le moyen le plus fiable, elles sont très coûteuses et non disponibles au niveau de tous les cours d'eau. Elles sont difficiles à opérer lors des événements importants, peu fréquents et imprévisibles [7] lorsqu'ils caractérisent les régions arides et semi-arides. D'autre part les équations du transport solide nécessitent des informations sur les caractéristiques des particules et sur l'écoulement. Elles doivent tenir compte des conditions morphologiques et hydro-climatiques de la région d'étude [8].

Tout d'abord, précisons que nous avons volontairement choisi de focaliser ce travail pour rassembler les formules d'estimation dans un programme numérique permettant de quantifiera déférentes échelles (parcelle, sous bassins, etc.).

Un programme est la traduction d'un algorithme dans un certain langage de programmation. Il faut savoir qu'à chaque instruction d'un programme correspond une action du processeur [9].

Delphi représente une nouvelle façon de développer des applications sous Windows. Il associe la vitesse et la convivialité d'un environnement de développement visuel à la puissance d'un langage objet, au compilateur le plus rapide au monde et à une technologie de base de données de pointe.

Avec Delphi, nous avons maintenant la possibilité de construire des applications Client/serveur en un temps record.

Nous pouvons créer des applications Microsoft Windows très efficaces, avec un minimum de codage manuel. Delphi fournit tous les outils qui vous sont nécessaires pour développer, tester, déboguer et déployer des applications.

Ce mémoire est composé de deux parties.

- Une première partie consacrée à une étude bibliographique qui comporte deux chapitres:
 - Généralité sur l'érosion hydrique (formes, origine, mécanisme et les facteurs) ;
 - transport solide, les mécanismes et les méthodes de quantification ainsi qu'une synthèse bibliographique sur l'ampleur du phénomène.
- Une deuxième partie focalisée sur la présentation, matériels utilisé pour l'élaboration et méthode de fonctionnement et un exemple dans le bassin versant de l'oued Harraza par notre programme 'EPS' Estimateur des Pertes en Sol.

Ce mémoire est entamé par une introduction générale et se termine par une conclusion générale.

Chapitre I :
Erosion Hydrique.

I. 1. Introduction :

Le sol constitue le support des cultures. C'est une entité dynamique qui s'approfondit sous l'action des processus de pédogénèse et s'amincit sous l'action de l'érosion [10].

Le mot érosion vient du verbe latin « erodere » qui signifie ronger, l'érosion défini comme un processus qui concerne l'arrachement, le transport et la sédimentation des particules par l'eau, le vent ou la gravité [11].

Il représente l'ensemble des phénomènes qui contribuent, sous l'action d'un agent climatique, notamment l'eau, à modifier les formes de relief. L'érosion hydrique est une des causes majeures de la dégradation des sols dans le monde [12]. Ce phénomène affecte aussi la qualité des eaux et la capacité de stockage des barrages.

« Au sens large, l'érosion est un phénomène géologique de tout temps et de tout lieux » [13].

I. 2. Définition d'érosion hydrique :

Le phénomène d'érosion hydrique est le résultat de l'action combinée de plusieurs processus dont le détachement, le transport et le dépôt de particules, sous l'action de la pluie et du ruissellement [14].

I. 3. Formes d'érosion hydrique :

I. 3.1. Érosion en nappe (Sheet érosion) :

L'érosion en nappe est le stade initial de la dégradation des sols par l'érosion. Elle entraîne la dégradation du sol sur l'ensemble de sa surface. De ce fait, elle est peu visible d'une année à l'autre [15].

L'importance de l'érosion en nappe dépend à la fois :

- de l'intensité maximale des pluies qui déclenchent le ruissellement ;
- de l'énergie des pluies qui détachent les particules susceptibles de migrer ;
- de la durée des pluies et de l'humidité du sol avant les pluies [16].



Photo 1 : de l'érosion en nappe [56].

I. 3.2. Érosion linéaire (micro-Channel ou Rill érosion) :

Cette forme d'érosion se manifeste dès que les filets d'eau diffus se concentrent sur des lignes de plus forte pente et exercent ainsi sur le sol une force de cisaillement permettant de creuser des formes de plus en plus profondes dans le sol en arrachant des particules de plus en plus grosses: graviers, cailloux voir des blocs [17], de petits canaux naissent que l'on peut diviser en trois types : griffes (quelques centimètres de profondeur), rigoles (la profondeur dépasse 10 cm), ravines (quelques mètres).



Photo 2: Erosion linière [18].

I. 3.2.1. Erosion en griffes et rigoles :

L'écoulement se concentre davantage pour créer son passage sous forme de griffes d'abord ensuite l'eau de ruissellement vient renforcer l'agrandissement de cette forme par des incisions bien définies faisant apparaître des rigoles quoique petite à la surface de la terre [19].

I. 3.2.2. Érosion en ravine :

L'érosion en ravine c'est la dissection de la surface du sol par un chenal profondément découpé dans les terres se formant à l'aval d'un bief non incisé et créant ainsi une rupture de pente brutal [20].

Tableau 1 : Formes de l'érosion linéaire [15].

Formes	Tracé	Longueur	Largeur	Profondeur
Griffe	Sinueux	<1 m	<10 cm	5-6 cm
Rill	Rectiligne	Centaine de m	10-20 cm	5-10 cm
Rigole	Sinueux	Dizaine de m	5-7 cm	10-30 cm
Ravine	Peu sinueux	Centaine de m	50 cm à 1 m	30-50 cm
Petite ravin	Peu sinueux	Centaine de m	50 cm à 1 m	50-200 cm

I. 4. Origine et Mécanisme de l'érosion hydrique :

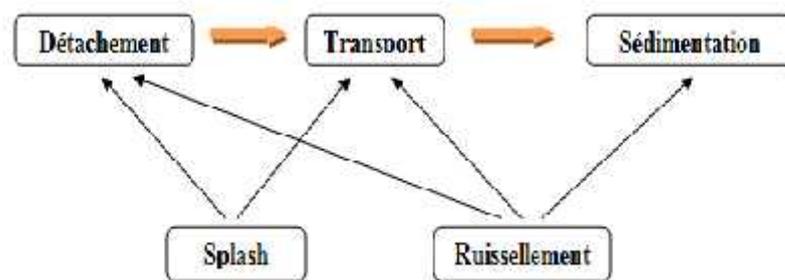


Fig.1 : Origine et Mécanisme de l'érosion hydrique.

I. 4.1. Détachement :

Les principaux mécanismes conduisant au détachement sont :

I. 4.1.1. Pluie :

L'érosion hydrique s'initie lorsque, sous l'impact des gouttes de pluie, les agrégats de sols se brisent et sont mis en mouvement [21].

Les premières gouttes de pluie qui arrivent au sol y pénètrent proportionnellement à son ameublissement et sa porosité. Cette première phase s'accompagne d'un déplacement de particules et d'un tassement du sol. Puis la couche superficielle s'humidifie, et l'on assiste au développement quasi simultané de trois processus : la désagrégation de la structure ; la

formation d'une pellicule de battance et l'érosion par "splash" ou érosion par rejaillissement [22].

L'impact direct des gouttes de pluie provoque non seulement le délitage et la fragmentation des agrégats du sol, mais également l'entraînement et la projection des particules dans toutes les directions. Ce rejaillissement peut être important. Plusieurs chercheurs ont essayé de quantifier cette masse de sol détachée (D_p) expérimentalement. Les relations obtenues sont en général de la forme [23].

$$D_p = a \cdot E_c^b \quad (1)$$

Où : D_p est la masse détachée et E_c l'énergie cinétique de la pluie. Les coefficients **a** et **b** dépendent essentiellement de la texture et de la structure du sol.

Les études réalisées par Wischmeier et Smith (1958) puis Fedoroff (1965), concernant les mécanismes de l'érosion pluviale, permettent d'établir deux conclusions importantes sur l'effet de l'intensité de précipitation sur l'infiltration et l'érosion :

- ❖ L'agressivité de la pluie est proportionnelle à son énergie cinétique, elle dépend non seulement de la durée et l'intensité de la pluie, mais aussi du diamètre des gouttes.

La désagrégation de la structure et le détachement des particules sous l'impact des gouttes de pluie résultent du "travail" exercé par les gouttes à la surface du sol. Il est donc lié à l'énergie cinétique des gouttes E_c .

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot V^2 \quad (2)$$

Où : **m** est la masse de la goutte (kg) et **V** : vitesse (m/s), **E_c** : l'énergie cinétique (joules).

L'évaluation de l'énergie cinétique des gouttes reste un bon critère d'évaluation de l'agressivité des pluies.

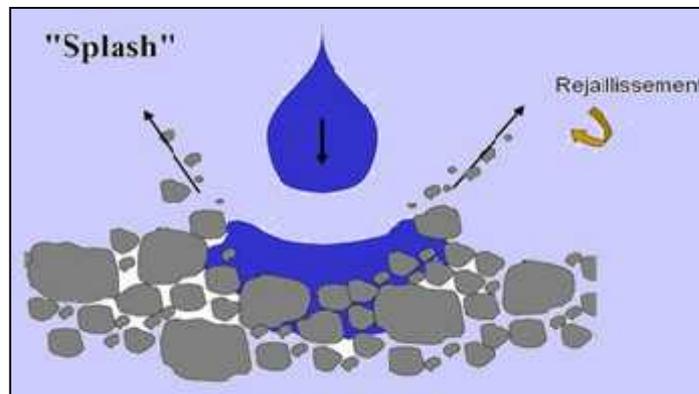


Photo 3 : Illustration de l'érosion par effet splash. La goutte de pluie arrache des particules et rejaillit, exportant des particules détachées à la matrice du sol [9].

- ❖ Les gouttes de pluies constituent un élément important de l'érosion pluviale des sols et elles entraînent une décomposition mécanique des agrégats et la formation de la croûte de battance qui imperméabilise la surface du sol et augmente le ruissellement.

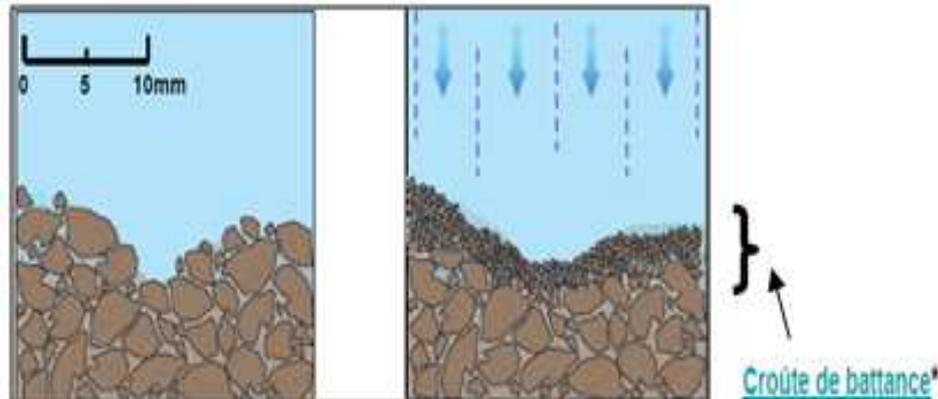


Photo 4 : Croûte de battance [9].

La croûte de battance diminue la porosité du sol donc la capacité d'infiltration ce qui provoque l'imperméabilisation de la surface.

I. 4.1.2. Ruissellement :

Peut avoir différentes origines :

- * le dépassement de la capacité d'infiltration du sol par des pluies de très fortes intensités. Son importance dépend en particulier des facteurs suivants : la nature du sol, l'infiltration, la rétention superficielle et rugosité du sol, la pente et longueur de pente, le couvert végétal.
- * la saturation en eau des surfaces. Le ruissellement ne débute qu'après un cumul pluviométrique journalier de 18 à 20 mm [24] sur sol sec même si les pluies sont intenses ou après un cumul de 4 mm sur sol humide et compact [25]. Mais ce sont les épisodes pluvieux durables avec des événements de forte intensité répétitifs qui occasionnent la dégradation la plus forte, avec en particulier le passage du ruissellement en nappe au ruissellement en griffes et rigoles [26].

Dans les deux cas, le ruissellement entraîne le détachement de particules de la surface du sol et donc un début d'érosion.

I. 4.2. Transport :

Déplacement des particules de sol à partir de leur localisation d'origine. Est assuré par l'eau de ruissellement entraînant les particules produites par l'effet splash ainsi que les particules fines produites par le travail du sol. Les distances de transport par rejaillissement (effet splash) sont très faibles [27]. Le transport par ruissellement est lié à la taille des particules, à la vitesse de l'écoulement mais aussi à la résistance de l'interface entre l'écoulement et le sol [28].

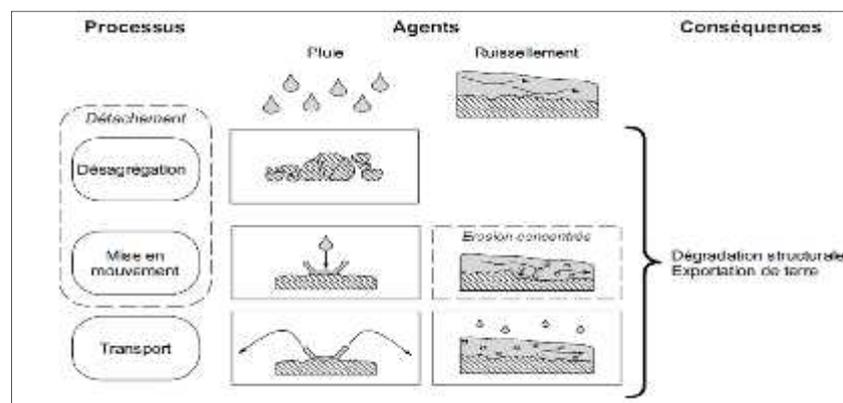


Fig.2 : Processus élémentaire de la désagrégation et de la mise en mouvement des fragments de terre [21].

I. 4.3. Sédimentation :

Les particules arrachées sont déposées à différents endroits entre le lieu d'origine et le bassin de sédimentation [29]. Le dépôt des apports sédimentaires s'effectue lorsque l'énergie cinétique du courant, qui déplace les matériaux issus du détachement, diminue ou s'annule [30]. Les particules se déposent entre le lieu d'origine et l'aval en fonction :

- De leur dimension.
- De leur densité.
- De la capacité de transport du ruissellement ou du cours d'eau.

Les particules se déposent dans l'ordre suivant :

- Sable.
- Sable fin.
- Limon.
- Les argiles et l'humus colloïdal sont généralement transportés jusqu'à l'embouchure de cours d'eau où il se dépose soit après évaporation de l'eau, soit après floculation [31].

I. 5. Facteurs de l'érosion hydrique :

I. 5.1. Climat :

Le climat est l'élément moteur de l'érosion. Les changements de température, l'intensité et la hauteur de précipitation ainsi que le vent ont des effets prépondérants sur la désintégration de la roche. Ailleurs les variations saisonnières des orages, leur localisation, leur fréquence et le régime des vents exercent une influence sur l'érosion des sols [20].

Les paramètres pluie liés à l'érosion :

- ✓ la hauteur des précipitations est peu liée à l'importance de l'érosion.
- ✓ L'intensité est le facteur principal de l'érosion. Plus l'intensité est grande, plus l'effet de battage du sol est prononcé.

L'érosivité d'une pluie est donc fonction de ses caractéristiques physiques :

Le diamètre des gouttes ;

La vitesse d'impact des gouttes.

I. 5.2. Etat de surface des sols :

L'état de la surface du sol, à savoir l'encroûtement de surface, la rugosité, la couverture végétale ou les résidus ont une influence importante sur les taux d'infiltration, de ruissellement et l'érosion [32].

Pour étudier les phénomènes de pertes en sols, en plus de la pente et du type de sol, qui sont des caractéristiques permanentes au cours d'une saison pluvieuse, les caractéristiques dynamiques les plus pertinentes pour décrire et classer ces unités en ce qui concerne l'érosion en nappe sont [33]:

L'encroûtement de surface (les faciès), la rugosité de surface, et autres caractéristiques de surface.

❖ **Encroûtement de surface :**

« L'état de surface du sol » désigne l'état structural, hydrique et micro-topographique de la surface. Trois grandes étapes de la formation de croûtes ont été distinguées par [34] : l'étape initiale fragmentaire (F0), l'existence d'une croûte structurale (F1) et d'une croûte sédimentaire (F2). Chaque étape peut être subdivisée en classes. Ces types morphologiques de croûtes se différencient par la combinaison des sous-processus impliqués dans leur formation [35]

* Dans un premier temps, le travail du sol (labour et préparation des semis) conduit à un faciès fragmentaire initial (F0) ouvert, poreux et meuble. Il correspond à un sol fraîchement travaillé où les agrégats sont libres.

* Suite aux précipitations intervenant après le semis, les particules détachées par les mécanismes de désagrégation colmatent les interstices de la surface. Elle présente alors un faciès altéré (F1) correspondant à la fermeture de la surface du sol par une croûte structurale de quelques millimètres d'épaisseur.

* Lorsqu'un excès d'eau se forme en surface, les particules détachées sont transportées par le ruissellement qui exerce un tri granulométrique en fonction de sa vitesse. Lorsque le flux ralentit, les particules se déposent, aboutissant à la formation de microstrates quasi-imperméables. La surface présente alors un faciès continu, avec une forte couverture en croûte sédimentaire (F2) [36].

Dans la classification donnée par Le Bissonnais [37], qui constitue un compromis entre la précision de la description et la robustesse de la classification (Le tableau 2).

Tableau 2 : classification des faciès [35].

Notation	Description
F0	Structure fragmentaire initiale, toutes les particules peuvent être distinguées.
F1	
F1.1	Etat fragmentaire avec croûte structurale.
F1.2	Etat transitionnel, apparence locale avec croûte de dépôt.
F2	Faciès continu avec une couverture en croûte sédimentaire.

❖ **Rugosité :**

La rugosité de surface est une propriété qui influe sur plusieurs processus en relation avec le sol tels que l'infiltration, la capacité de stockage temporaire, le dépôt ou le détachement de particules. Elle évolue rapidement sous l'influence du travail du sol et des précipitations [38].

Dans le contexte des sols limoneux, grâce à des observations quantitatives et qualitatives faites sur le terrain, ont distingué plusieurs classes de rugosité. Cette classification est basée sur la mesure des différences d'altitude entre le fond des dépressions et leurs exutoires de sortie. Ces différences d'altitude caractérisent la connectivité entre les dépressions. Cette classification a été affinée par Ludwig B., et al [39] pour caractériser la rugosité du sol dans le sens de travail du sol (RR), ainsi que dans le sens perpendiculaire au travail du sol (OR) (Tableau 3).

RR : Random Roughness ; OR : Rugosité périodique.

Tableau 3 : Évaluation de la rugosité de la surface du sol [39].

Grade	Indice de rugosité	Situation agricole typique
R0	0-1cm	Semis recouvert de croûtes sédimentaires Chantier de récolte tassé
R1	1-2cm	Semis frais très affiné Semis battu
R2	2-5cm	Semis motteux peu battu Déchaumage sans résidus
R3	5-10cm	Déchaumage avec résidus
R4	>10cm	Champs labourés

❖ Autres caractéristiques de surface :

Plusieurs caractéristiques peuvent influencer le ruissellement et l'érosion parmi eux, on cite :

- la présence de macropores.
- les facteurs biologiques notamment la faune qui augmente le nombre de macropores et ainsi conduit à plus d'infiltration ;
- la présence d'algues dans la croûte qui peuvent rendre celle-ci hydrophobe ou hydrophile et ainsi retenir ou laisser passer l'eau ;
- la pierrosité de surface qui augmente l'infiltration en réduisant l'impact des gouttes de pluies et empêche la formation des croûtes ;
- la présence de traces de roues d'engins agricoles (Le Bissonnais, 2005), ou de pistes de routes ou de sentiers d'animaux, qui constituent des surfaces imperméables, augmentent le volume ruisselé et réduisent le volume infiltré [15].

I. 5.3. Couvert végétale :

C'est un facteur primordial de protection du sol contre érosion. L'interception des gouttes de pluie dissipe l'énergie cinétique et donc diminue l'effet Splash. Son système racinaire maintient le sol et favorise l'infiltration.

L'érosion est une fonction décroissante de la couverture végétale qui est elle-même fonction croissante de la pluie [40].

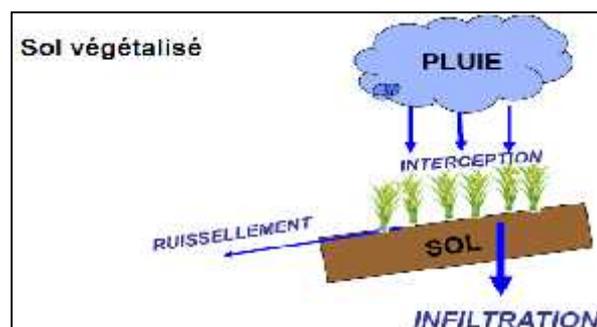


Fig.3 : l'influence de couvert végétale sur les pluies [18].

La végétation intercepte une partie de la pluie, limitant l'effet splash.

L'eau qui atteint le sol a moins d'énergie cinétique et peut s'infiltrer le long des racines.

Le réseau de racines maintient la structure du sol.

I. 5.4. Topographie :

Plusieurs chercheurs ont mis en évidence l'effet de la topographie sur l'érosion. Nombreux sont ceux qui ont montré que la topographie agit sur le ruissellement et les pertes en sol par deux composantes [41]:

- la longueur de la pente car plus la pente est longue, plus les eaux ont tendance à se concentrer graduellement dans les fissures ou rainures, ce qui entraîne un apport considérable en eau et en sédiments.
- le degré de la pente car plus le degré de l'inclinaison des versants est important, plus l'énergie cinétique de l'écoulement et le détachement des particules du sol sont importantes.

I. 5.5. Facteur d'origine anthropique :

Les activités humaines qui ont la plus grande influence sur l'érosion des sols sont l'agriculture, l'élevage, les exploitations minières, l'abattage du bois, la construction de routes et l'urbanisation.

Les activités de construction peuvent avoir l'effet le plus important à cause à la fois de la suppression de la végétation, des modifications topographiques et de la destruction de l'équilibre du sol. Des actions anthropiques non contrôlées telle que les incendies, le défrichage, la déforestation, le surpâturage sont à l'origine de processus aggravant l'intensité de l'érosion des terres [42].

Pour estimer les pertes en sol Il existe plusieurs formules qui relient les facteurs qui causent l'érosion et ceux qui minimisent le phénomène.

La quantification peut se faire par : mesure direct et a l'aide des formules existants. (Voir Troisième partie).

I. 6. Conclusion :

Les deux agents principaux de l'érosion hydrique sont les précipitations et le ruissellement superficiel. Néanmoins d'autres facteurs liés au climat, à la morphologie du site, au couvert végétal et l'état hydrique initial du sol sont à prendre en considération dans la description du phénomène.

Chapitre II:
transport Solide

II. 1. Introduction :

Le transport solide dans un cours d'eau constitue la seconde phase de l'érosion. Il relève essentiellement du ruissellement et met en jeu diverses formes d'écoulement de l'eau dans la nature [43].

Le transport de matériaux par les écoulements se fait de différentes façons. Selon les caractéristiques physiques (taille et forme des particules, poids spécifique, etc.), la composition granulométrique des sédiments et les conditions de l'écoulement (vitesse, profondeur), les matériaux peuvent se mouvoir par saltation, roulage ou glissement sur ou près du fond, ou bien ils peuvent être soulevés et maintenus en suspension.

En général les différentes formes de transport de matériaux se produisent simultanément dans les cours d'eau naturels et il n'y a pas de délimitation bien nette entre elles [44].

II. 2. Définition :

Le transport solide est le phénomène qui permet le déplacement d'une masse solide composée d'éléments granulaires (sédiments fins, sables, galets, etc.) sous l'action de l'écoulement de l'eau [45].

Il est régi par deux propriétés du cours d'eau:

-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 Hjulström 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).

-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.) [46].

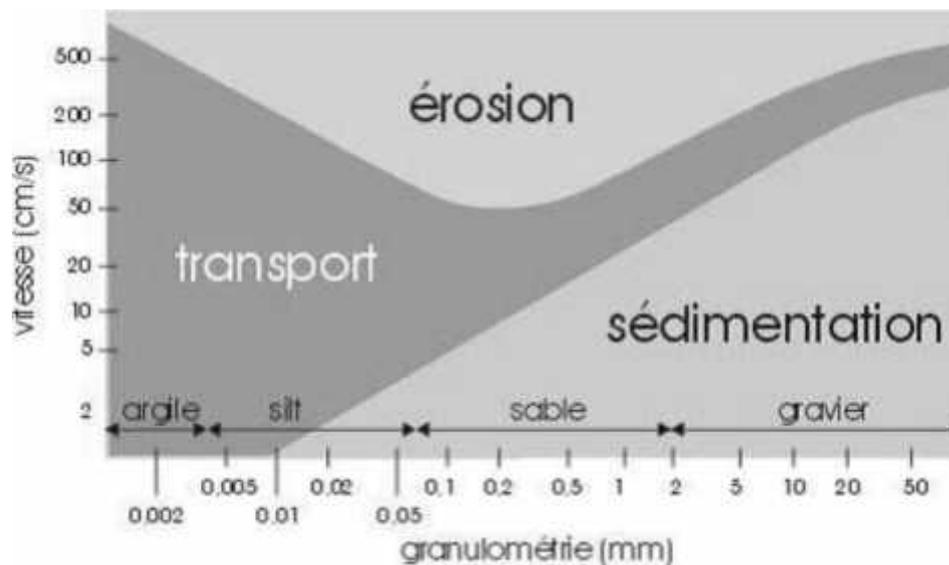


Fig.4 : Diagramme érosion, transport, sédimentation [26].

II. 3. Mode de transport solide :

On distingue deux catégories de transports solides : les matières en suspension et le charriage de fond. Ce dernier comprend les particules qui glissent, roulent ou sautent sur le fond ou près du fond.

- **Charriage**, qui correspond au transport des sédiments sur le fond, par roulement ou sauts successifs. Ce mode de transport concerne les éléments les plus grossiers et les plus denses du transport solide. Ils sont par nature non-cohésifs.

- **Suspension**, qui concerne les éléments les plus fins transportés dans la lame d'eau. Elle est le résultat de l'équilibre entre la turbulence de l'écoulement et la chute des particules, dépendant de leurs caractéristiques. On distingue dans cette catégorie des éléments cohésifs tels les argiles et non-cohésifs, tels les sables.

- **La saltation**, C'est le mode de transport des éléments plus fins que les galets, c'est-à-dire les graviers et les sables grossiers, Les graviers sautent, progressent par bonds au fond de la rivière et occupent donc, dans la section, une certaine hauteur dépendant de la vitesse et des caractéristiques des grains [21].

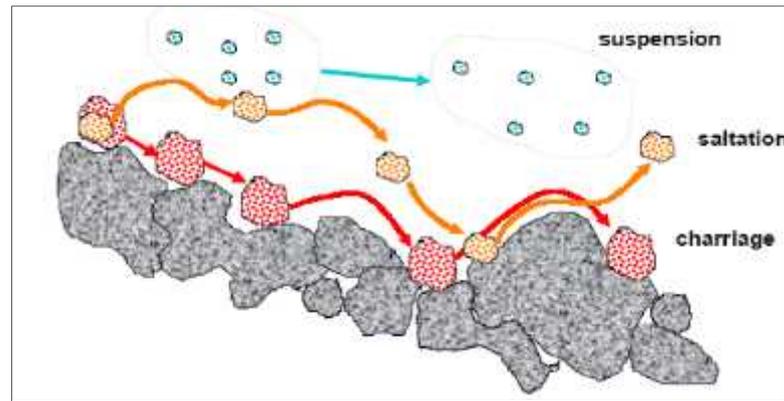


Fig.5 : Modes de transport solide dans un cours d'eau [47].

II. 3.1. Charge En Suspension:

II. 3.1.1. Définition :

Le transport par suspension est le deuxième type de transport solide dans un cours d'eau. Le transport solide en suspension représente le transport de sédiments fins (argiles, limons, sables fins), de taille micronique, maintenues en suspension sur toute la hauteur de la masse liquide du cours d'eau, sous l'action des fluctuations turbulentes de l'écoulement. Les sédiments se déplacent sur des grandes distances et le débit solide croît de l'amont vers l'aval. Le transport en suspension se fait par Flottaison et ne comporte que très épisodiquement des retombées des sédiments sur le fond. La turbulence est le facteur principal de la suspension des sédiments [26].

II. 3.1.2. Description du phénomène

Au fur et à mesure que la vitesse du courant s'accroît dans le cours d'eau, l'intensité de la turbulence s'accroît également jusqu'au stade où les particules en saltation atteignent une hauteur au-dessus du fond où les forces extensionnelles fluctuantes dues à la turbulence dépassent le poids des particules [26].

A partir de ce moment, les particules ne suivent plus une trajectoire définie, mais elles suivent des trajectoires aléatoires dans l'épaisseur du fluide [48].

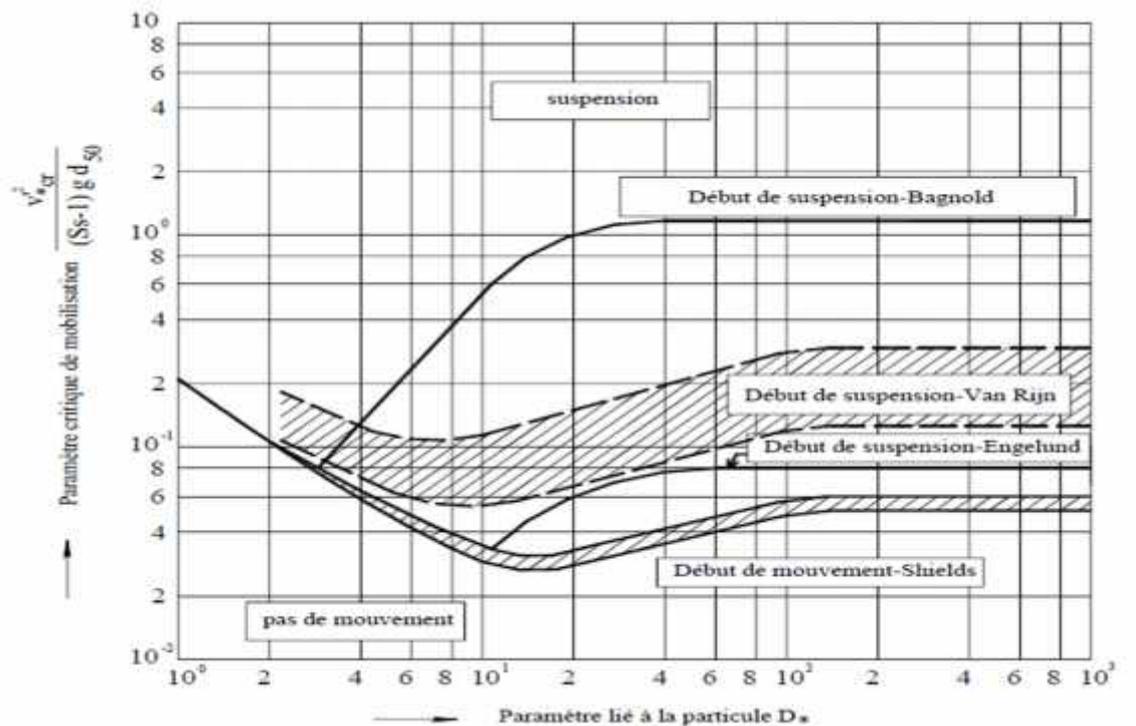


Fig.6 : Critères de suspension [26].

II. 3.2. Charge de fond:

II. 3.2.1. Définition :

Le transport par charriage est l'un des principaux types de transport solide dans un cours d'eau, il Le transport solide par charriage, représente la progression de sédiments grossiers (sables, gravier, galets et blocs), de diamètre supérieur à 1 mm, qui se déplacent par roulement ou glissement, au voisinage immédiat du fond du cours d'eau, et parcourent des distances relativement petites et discontinues dans le temps et dans l'espace [26].

II. 3.2.2. Description du phénomène :

Les mesures sur le terrain du transport solide par charriage sont très onéreuses à cause des perturbations de l'écoulement. De ce fait, les évaluations de ce type de transport son difficiles à mener en l'absence de bases de données [26].

La conceptualisation faite du charriage est basée sur l'équilibre entre l'énergie appliquée par l'écoulement sur la particule, balancée par les forces de frottements. On considère ainsi qu'une particule se met en mouvement quand la contrainte cisailant due à l'écoulement devient supérieure à celle de frottement. La masse volumique du fluide, sa

viscosité, sa hauteur et la pente du lit conditionnent la force de frottement du fluide sur la particule, alors que la gravité, le diamètre caractéristique de la particule (par exemple son diamètre sphérique équivalent), sa densité, sa vitesse de chute contrôlent la force de frottement [21].

II. 3.3. Saltation :

II. 3.3.2. Description de phénomène

On explique la progression par saltation de la façon suivante: un grain glisse sur le fond du lit, puis rencontre un obstacle, il se bute alors sur cet obstacle. La différence de pression entre l'amont et l'aval du grain augmente, il bascule, puis est arraché, entraîné par le courant et, par gravité, retombe au fond où le processus recommence.

Il est évident que les composantes multiples de la vitesse, qui caractérisent la turbulence, jouent un rôle important dans la saltation [21].

I. 4. Quelques travaux effectués sur le transport solide en Algérie

Plusieurs travaux ont été effectués sur l'érosion et le transport solide. Nous nous limitons à quelques travaux importants :

- **Megnounif A., Terfous A. et Bouanani A. (2003)**

Les auteurs se sont intéressés dans leur travail aux sédiments transportés en suspension par oued Tafna à Beni-Bahdel. Pour la période allant septembre 1988 à Aout 1993. L'analyse de variabilité de la charge en suspension montre une production très forte en automne mais d'une faible ampleur au printemps. En automne le flux des matières solides en suspension représente 44% de flux annuel estimé à 28600 tonnes, au printemps malgré l'augmentation des débits (60% de l'apport annuel) la charge en suspension diminue considérablement. La production du ruissellement superficiel en matières solides représente 62% du flux annuel alors que l'érosion du cours d'eau contribue par 38% [49].

- **Benkhalel A., et Remini B. (2003)**

L'étude est réalisée à partir des données collectées durant la période 1972 à 1989. Cette étude consiste à étudier la variabilité et les caractéristiques des différentes relations qui existent entre la concentration et le débit à l'échelle du bassin versant de l'oued Ouahran [50].

- **Megnounif A., Terfous A. Ghenaim A. et Poulet J.P. (2004)**

Cette étude a pu mettre en évidence le rôle des crues dans la genèse et le transport des sédiments en suspension dans un petit bassin versant Méditerranéen. Les auteurs se sont intéressés à l'Oued Sebdou, cours d'eau principal drainant le bassin versant de la Haute-Tafna, situé au nord-ouest algérien. Pour ce faire, ils ont étudié, pour différents épisodes de crue, le mode d'évolution de la charge solide en fonction des débits liquides en s'appuyant sur l'analyse des hystérésis. Les résultats obtenus montrent que le transport des matières solides en suspension se fait principalement durant les épisodes de crue. En effet, sur un apport annuel moyen en eau, estimé à 30,9 millions de m³, les crues contribuent par 64%. Cependant, elles transportent la quasi-totalité, soit 93%, de la charge solide en suspension évaluée en moyenne annuelle à 286 000 tonnes [51].

- **Achite M., et Meddi M. (2004)**

Les auteurs ont adopté une méthodologique qui consiste à rechercher un modèle régressif pouvant expliquer le débit liquide mesuré au niveau de la station de sidi Abdelkader El Djilali, à différentes échelles : annuelles, saisonnières, mensuelles et journalières pour trouver la meilleure relation représentative du phénomène.

L'ensemble des données disponibles couvre les années 1973/1974 à 1994/1995. Les résultats montrent que le modèle en puissance explique la plus grande partie de la variance (plus de 70 % de la variance). Les modèles obtenus à l'échelle journalière et instantanée (regroupés par mois) ont donné le meilleur coefficient de corrélation. Le débit liquide explique, à ces échelles, la variation du débit solide dans le temps. Aussi, compte tenu de la disponibilité des données à l'échelle journalière, le transport solide a été évalué en utilisant le modèle ainsi obtenu à cette échelle. Leur résultat confirme ceux trouvés par différents chercheurs en Algérie et au Maroc [52].

- **Achite M., et Meddi M. (2005)**

Les données de cinq sous bassins de l'Oued Mina sur une période de 22 ans (1973 à 1995) ont été utilisées pour développer un outil statique de quantification des apports. Les valeurs du transport solide trouvées pour l'automne sont les plus élevées.

Cette variabilité s'explique par la variation du couvert végétal (sols nus) durant l'année et la nature agressive des pluies d'automne [53].

- **Larfi B., et Remini B. (2006)**

L'étude est basée sur les données d'observation recueillies au niveau de la station de Lakhdaria s'étalant sur la période de 1984 à 1997. Ils concluent que les volumes les plus importants en transport solide se concentrent durant la période allant de décembre à mars (parfois même jusqu'à avril). Cette étude montre que la quantification du transport solide dans le bassin versant de l'Oued Isser dont les résultats semblent très cohérents avec les mesures directes de l'envasement dans la retenue de Béni Amrane [54].

- **Ghenim A, Seddini A et Terfous A (2007)**

L'étude est basée sur les mesures instantanées des débits liquides et des concentrations réalisées par les services de l'A.N.R.H. Les auteurs se sont intéressés à l'Oued Mouillah qui constitue le plus important affluent de la Tafna. Pour ce faire, ils ont étudié, pour les différents épisodes de crue, leur rôle dans l'amplification du transport solide ainsi que le comportement du bassin lors de ces événements exceptionnels. Cette étude permet de souligner l'importance des crues dans la genèse et le cheminement des particules solides vers l'exutoire des bassins. Elle met aussi en évidence la complexité de ce phénomène dans les zones semi-arides [55].

- **Mekerta B., et al (2008)**

L'étude porte sur la caractérisation de la résistance au cisaillement des sédiments d'envasement de la retenue du barrage Fergoug situé au nord -ouest de l'Algérie. Les données des précipitations annuelles fournies par l'Institut Hydrométéorologique de Formation et de Recherche d'Oran, pour une période de 34 ans (1970 à 2003), pour les deux stations de Ghriss et de Matemore proches du SBV, ont permis d'estimer l'érosion spécifique annuelle. La quantification des apports solides par les études probabilistes de l'érosion spécifique effectuée sur le sous bassin versant de l'Oued Fergoug, a confirmé la grande irrégularité de l'érosion. La représentation graphique de la cohésion non drainée C_u montre une certaine variabilité mécanique pour les tranches de profondeurs choisies [56].

- **Cherif E., Errih M. et Madani Cherif H. (2009)**

Ce travail constitue une première contribution à l'analyse des phénomènes hydrologiques, du transport solide et de la modélisation du bassin versant de la Mekerra (nord-ouest de l'Algérie). Il apporte beaucoup d'éléments de base à une recherche de modèles hydrologiques, régissant l'écoulement superficiel et le transport solide en suspension dans ce bassin. Sur la base des mesures continues réalisées dans la station de Sidi Ali Benyoub (Janvier 1950–Août 2001), ils ont calculé les différentes valeurs des paramètres de l'écoulement liquide et du transport solide. Ils ont déclaré que la station de Sidi Ali Benyoub apparaît être le principal foyer sédiment logique, fournissant la grande partie des matériaux transportés par l'oued.

Ceci tient surtout aux fortes pentes des versants et à l'état du couvert végétal très faible dans cette partie du bassin versant de la Mekerra. En automne, le sol est encore dénudé, alors

qu'au printemps la couverture herbacée est déjà développée et réduit considérablement la mobilisation des matériaux fins [57].

- **Bouchelkia H., Belarbi F. et Remini B. (2011)**

L'étude consiste à évaluer le transport solide en suspension dans le bassin versant de l'oued Mouillah. Le principe adopté est basé sur des données hydrométriques des stations de jaugeage de sidi Belkheir contrôlant le bassin versant de l'oued Mouillah, et des analyses saisonnières et annuelles sur la période 1975-2000, et a permis de définir une méthode appropriée d'estimation des apports solides. Cette approche a permis de quantifier le transport solide en suspension, les résultats obtenus ont montré que les apports solides les plus abondants et réguliers sont en hiver. Ils attestent que le bassin versant de l'oued Mouillah est d'une érodibilité modérée, puisque la valeur maximale annuelle des apports solides trouvée est de $7,53.10^4 \text{ t}$ [57].

- **Touaibia I., et Ghenim A. (2011)**

L'étude se base sur les données de mesures instantanées de débits liquides et de concentration des sédiments en suspension enregistrées au cours de la période allant de 1973 à 1994 relevées à la station de Medjez. Cette étude examine 9 approches de quantification statistique de l'érosion pour adopter celle qui estime l'apport solide avec un minimum d'erreur relative. Les deux modèles les plus adaptés considèrent un découpage par crue ou un découpage mensuel. La méthode qui tient compte uniquement des crues donne le meilleur résultat avec une erreur relative de 23% [58].

- **Hallouz F., Meddi M. et Mahé G. (2013)**

Le travail est basé sur les données du bassin versant de l'Oued Mina. Les auteurs ont entamé une étude pour mieux comprendre le phénomène des exportations de matières solides en suspension véhiculées par les affluents du bassin de l'Oued Mina (Oued Cheliff), et de quantifier le flux des sédiments susceptibles de se déposer dans le barrage de Sidi M'Hamed Ben Aoud (capacité de stockage de 153 millions de m³ (mis en service en Février 1978). Les transports solides en suspension dans le bassin versant de l'Oued Mina se déroulent essentiellement en automne, et secondairement au printemps, avec une plus faible ampleur. La charge spécifique moyenne de l'oued Mina est de 211 t/km²/an [59].

II. 5. Quelques données sur le transport solide en Algérie :

Les bassins versants du tell algérien dominés par le climat semi-aride sont caractérisés par une pluviométrie saisonnière et interannuelle irrégulière. Cette irrégularité a un impact direct sur l'action érosive et notamment sur le transport solide en suspension.

Ce dernier dépend de plusieurs facteurs dont l'agressivité des averses, l'état du sol et la turbulence de l'écoulement.

Tableau 4 : Quelques données Transport solide en Algérie [40].

Année	Auteur	Bassin versant	La charge sédimentaire
2013	Hallouz.F-Meddi.M-Mahé.G	Oued Mina 1971-2002	211 t/Km ² /an
2010	Hasbaïa et al	Oued Soubella 1974-1984	126 t/Km ² /an
2009	Ouassila Fandi- Bouanani- Kamila-Baba Hamed-Abdelmalek-Bekkouche.	Oued Sikkak 1972- 1989	170 t/Km ² /an
2009	El amine Cherif et al	l'Oued Mekerra 1950-2001	La moyenne 111,15 t/Km ² /an
2007	Megnounif .A	Oued Sebdu 1988-1993 Oued Mouillah 1977-1993	1120t/Km ² /an 126 t/Km ² /an
2005	Achite – Meddi	Oued Haddad Oued Taht Oued el Abd à Ain el Hamara Oued el Abd à takhmaret Oued Mina1973-1995	212 t/Km ² /an 191 t/Km ² /an 117 t/Km ² /an 65 t/Km ² /an 187 t/Km ² /an
2003	Megnounif .A	La haute Tafna	1120 t/Km ² /an
2001	Terfous A –Megnounif .A Bouanani .A	Oued Mouilah 1977-1993	126 t/Km ² sur les 16 années

Tableau 5 : Quelques estimations de la dégradation spécifique en Algérie [37].

Basin versant		Ass (t/km ² /an)	Auteurs
30 bassins versant étudiés dont la superficie entre 100-3000 km ²		>500	Demmak, 1984
Le bassin versant de la Tafna	Tafna	150	Megnounif et al, 2003 (d'après Sogreah)
	Sebdou (1988-89 à 192-93)	1119	Megnounif et al, 2003
	Sebdou (1985-86 à 1997-98)	937	Bouanani, 2004
	Sebdou (1985-86 à 1997-98)	1330	Ghenim, 2008
	Mouilah (1977-78 à 1992-93)	126	Terfous et al, 2001
	Mouilah (1977-78 à 1994-95)	364	Bouanani, 2004
	Mouilah (1977-78 à 1994-95)	165	Ghenim, 2008
	Isser (1988-89 à 1997-98)	180	Bouanani, 2004
	Sikkak (1972-73 à 1989-90)	170	Bouanani, 2004
Le bassin versant d'Oued Mina	Sidi A.E.K.Djilali (1973-74 à 1994-95)	300	Touaibia et al, 2001
	Oued Al Abtal (1973-74 à 1994-95)	210	
	Oued Abd (1973-74 à 1994-95)	136	Achite et Ouillon, 2007
	Oued Abd (1973-74 à 1994-95)	117	Achite et Meddi, 2005
	Oued Haddad (1973-74 à 1994-95)	212	
	Oued Taht (1973-74 à 1994-95)	191	
	Oued Hamara (1973-74 à 1994-95)	65	
Oued Mellah (1975-96 à 1997-98)		373	Khanchoul et Janson, 2008
Harreza (Cheliff) (1973-74 à 1996-97)		470	Megueni et Remini, 2008

II. 6. Conclusion:

Le transport de matériaux par les écoulements se fait de différentes façons. Selon les caractéristiques physiques (taille et forme des particules, poids spécifique, etc.), la composition granulométrique des sédiments et les conditions de l'écoulement (vitesse, profondeur), les matériaux peuvent se mouvoir par saltation, roulage ou glissement sur ou près du fond, ou bien ils peuvent être soulevés et maintenus en suspension.

Chapitre III:
Outils de Développement.

III. 1. Introduction :

Les outils classiques de développement PASCAL, c permettent d'écrire des programmes qui, au moins à l'origine, tournaient sous DOS. Pour introduire les données et lire les résultats l'utilisateur se trouvait le plus souvent devant un écran en mode texte. Rien n'empêchait bien sûr le programmeur d'écrire un logiciel graphique pour présenter un écran en mode fenêtre similaire avec celui auquel nous a habitués Windows, mais l'écriture d'un tel outil graphique est ardue et exige de larges connaissances en programmation [60].

Dans ce chapitre, nous représenterons les différentes étapes pour la préparation que nous avons suivie depuis : la collection des informations sur les modèles et les équations, l'algorithme préféré et le programme qui adapte avec ce dernier « Delphi ».

II. 2. Formules d'estimation des pertes en sol :

III. 2.1. Mesures directes:

Mesures directes Elles sont basées sur les valeurs instantanées des débits liquides Q_l (m^3/s) et celles des concentrations des sédiments en suspension C (g/l) correspondantes. Le calcul du débit solide en suspension est donné par la formule empirique suivante :

$$Q_s = C \cdot Q_l \quad (3)$$

Avec Q_s : Débit solide en suspension (kg/s) ; Q_l : Débit liquide (m^3/s) ; C : Concentration ou turbidité (g/l).

III.2.2. Formules empiriques :

III.2.2.1. Modèle Universelle de Wischmeier

Vingt ans après la mise en place des essais d'érosion en parcelles dans une bonne dizaine d'Etats d'Amérique du Nord, il existait une accumulation d'un grand nombre de données sur l'érosion dont il convenait de faire la synthèse. En 1958, Wischmeier, statisticien du Service de Conservation des Sols fut chargé de l'analyse et de la synthèse de plus de 10.000 mesures annuelles de l'érosion sur parcelles et sur petits bassins versants dans 46 stations de la Grande Plaine américaine .L'objectif de Wischmeier et Smith (1978 ;1960) était

d'établir un modèle empirique de prévision de l'érosion à l'échelle du champ cultivé pour permettre aux techniciens de la lutte antiérosive de choisir le type d'aménagement nécessaire pour garder l'érosion en-dessous d'une valeur limite tolérable étant donné le climat, la pente et les facteurs de production.

Selon ce modèle, l'érosion est une fonction multiplicative de **l'érosivité des pluies** (le facteur **R**, qui est égal à l'énergie potentielle) que multiplie **la résistance du milieu K** (l'érodibilité du sol), **SL** (le facteur topographique), **C** (le couvert végétal et les pratiques culturales) et **P** (les pratiques antiérosives). C'est une fonction multiplicative, de telle sorte que si un facteur tend vers zéro, l'érosion tend vers 0.

Ce modèle de prévision de l'érosion est le suivant:

$$Es = R \times K \times SL \times C \times P \quad (4)$$

III.2.2.1. a. Indice d'érosivité des pluies R

Il est égal à E, l'énergie cinétique des pluies, que multiplie I_{30} (l'intensité maximale des pluies durant 30 minutes exprimée en cm par heure). Cet indice correspond aux risques érosifs potentiels dans une région donnée où se manifeste l'érosion en nappe sur une parcelle nue de 9 % de pente.

$$R = Ec \times I_{30} \quad (4.1)$$

Avec :

$$Ec = 11.9 + 8.73 \log(I) \quad (4.1.1)$$

Ec = énergie cinétique de la pluie. Ec en J/m²/mm de pluie ;

I = l'intensité moyenne de la pluie (mm/h) ;

R peut-être déterminé pour des périodes variables (1 averse à 1 année).

Lorsqu'il est utilisé comme paramètre du modèle de Wischmeier, l'indice R est généralement calculé comme la moyenne de plusieurs années.

Roose a établi la carte de l'érosivité des pluies sur l'Afrique de l'Ouest, qui permet d'estimer R.

A l'échelle de l'Afrique, l'estimation est donnée par $R = P/2$

Avec P précipitations moyennes annuelles.

Aussi une autre formule de Roose (1977) permet de connaître la valeur annuelle de R lorsqu'on ne dispose que des précipitations :

$$R = 0.0295Pam \quad (4.3)$$

III.2.2.1. b. Erodibilité du sol K

Fonction de la quantité de matières organiques, de la texture, de la structure, et de la perméabilité du sol, l'érodibilité du sol est déterminée pour une parcelle de 22.2 m de long, travaillée dans le sens de la pente (9 %), sans apport de matières organiques depuis trois ans. (Roose, 1994)

La formule de Wischmeier et Smith (1978) permet de déterminer K.

$$1000.K = 2,1 \times 10^{-4} \times M \times 1,14(12 - a) + 3,25(b - 2) + 2,5(cp - 3) \quad (4.3)$$

-M : produit du pourcentage de limon compris entre 0.002et 0.1 mm par le pourcentage de tout ce qui n'est pas de l'argile. Le produit (% sable fin + % limon). (100 - % Argile).

-a : pourcentage de matière organique ;

-b : code de structure du sol utilisé dans la classification compris entre 1 et 4 ;

-cp : classe de perméabilité du profil compris entre 1 et 6.

Tableau 6: Code des perméabilités différentes facies Source: Adapté par Stone et Hilborn (2000).

Facies	Code	Facteurs K (Moyennes)
Limono-argileux, argile	6	0.15
Limono-argileux, sable	5	0.1
Limon argilo-sableux, argile	4	0.1
Sable limoneux	3	0.06
Sable limoneux, sableux	2	0.05
Sable	1	0.01

III.2.2.1. c. Facteur topographique SL :

Les relations établies par WISCHMEIER permet également de les déterminer L et S:

$$LS = \left(\frac{lp}{22.13} \right)^m (0.065 + 0.045 Fp + 0.065 P^2) \quad (4.4)$$

$$LS = 0.10 + 1.20 P^{4/3} \quad (4.5)$$

-L : facteur de longueur de pente ;

-lp : la longueur de la pente (m) ;

-22,13 : longueur de la parcelle standard (m) ;

-m : exposant dépendant de plusieurs paramètres dont la pente ;

- $m = 0,5$ si la pente est $>5\%$;
- $m = 0,4$ si la pente est de $3,5$ à $4,5\%$;
- $m = 0,3$ si la pente est de 1 à 3% ;
- $m = 0,2$ si la pente est $<1\%$.

-Fp: le facteur de pente ;

-P: la pente (%).

III.2.2.1. d. Couvert végétal C :

Le type de couvert végétal est absolument à prendre en compte puisque c'est de lui que va dépendre l'amortissement des gouttes de pluies, le ralentissement du ruissellement, et l'infiltration. Le facteur C tenant compte de la couverture dépend de:

- Le pourcentage de sol à nu : l'érosion intervient majoritairement sur des sols à nus lors d'épisodes pluvieux agressifs.
- La hauteur du couvert végétal : si celui-ci est trop élevé, l'amortissement des gouttes de pluies n'interviendra plus. En effet, après une première interception, les gouttes seront de nouveaux rejetées vers le sol.
- l'architecture des plantes : des plantes en forme d'entonnoir (ananas) auront tendance à Drainer l'écoulement et à provoquer des ravinements. A l'inverse, les plantes dites "parapluie" vont disperser les gouttes d'eau et donc diminuer leur énergie (babanier).

Tableau 7 : Influence du couvert végétal sur l'érosion en Afrique de l'ouest (Roose, 1977)

Plantes et techniques culturales	C annuel moyen
Sol nu	1
Forêt dense ou culture paillée abondamment	0,001
Savane et prairie en bon état	0,01
Savane et prairie brûées et/ou surpâturées	0,1
Plantes de couverture à développement lent ou plantation tardive -1ère année	0,3 à 0,8
-2ère année	0,1
Plantes de couverture à développement rapide et plantation hâtive dès la première année	0,01 à 0,1
Mais, sorgho, mil(en fonction du rendement)	0,4 à 0,9
Riz en culture intensive	0,1 à 0,2
Coton, tabac(en 2d cycle)	0,5
Arachide(en fonction date de plantation)	0,4 à 0,8
Manioc (1ère année), igname (selon date de plantation)	0,2 à 0,8
Palmier, hévéa, café, cacao avec plantes de couverture	0,1 à 0,3
Ananas à plat(en fonction de la pente) pente 4 à 20%	
résidus brûlés	0,1 à 0,5
résidus enfouis	0,1 à 0,3
résidus en surface	0,01
Ananas sur billons cloisonnés (pente 7%)	0,1

III.2.2.1. e. Facteurs des aménagements antiérosifs $P_{ér}$:

Le facteur P est défini comme le rapport entre les pertes en terre d'un champ sur lequel on applique des pratiques de conservation et celles d'un champ cultivé dans le sens de la pente.

Les valeurs de P observées pour différents types d'aménagement sont consignées dans le tableau.

Tableau 8 : Le facteur « pratiques anti érosives » en Afrique de l'ouest(Roose.1977)

Afrique de l'ouest	$P_{ér}$
.billonnage isohypse cloisonné	0,20 à 0,10
.bandes antiérosives de 2 à 4 m de large	0,30 à 0,10
.mulch de paille	0,01
.mulch Curasol(60 gr/l/m ²)	0,50 à 0,20
.Prairie temporaire ou plantes de couvertures	0,50 à 0,10
.bourrelets armés ou murettes en pierres sèches (dénivelées : 80 cm) +Labour et binage isohypse et fertilisation équilibrée	0,10

III.2.2.2. Formule de Fournier :

$$As = \frac{1}{36} \left(\frac{P_m}{P_{am}} \right) 2.65 \left(\frac{h^2}{S} \right) 0.46 \quad (5)$$

Avec :

- As : Apport solide spécifique moyen annuel (tonne/km²/an) ;
- P_m : Précipitations moyennes mensuelles du mois le plus pluvieux (mm) ;
- P_{am} : Précipitations moyennes annuelles (mm) ;
- h : Dénivelée moyenne (m) ;
- S : Superficie de bassin versant (km²).

III.2.2.3. Formule de Tixeront :

Basée sur les données recueillies dans 32 bassins algériens et 9 bassins tunisiens sur une durée comprise entre 2 et 22 ans.

$$Ass = 92. E^{0.21} \quad (7)$$

Avec :

- Ass : Apport solide spécifique en(t/km²/an)
- E : Ecoulement en (mm).

III.2.2.4. Formule de SOGREAH :

Basée sur les données de 30 bassins Algériens, la formule est :

$$As = \alpha. E^{0.15} \quad (10)$$

Avec :

- .As : Apport solide spécifique (tonne/km²/an).
- . : Coefficient dépendant de la perméabilité du sol.
- .E : Ecoulement annuel (mm).

Tableau 9 : Valeurs de α pour différentes perméabilités.

Perméabilité	Forte	Moyenne	Moyenne à faible	Perméabilité faible	Imperméable
	8.5	75	350	1400	3200

III.3. Langage et programme.

III. 3.1. Langage Pascal :

Le langage Pascal est un langage de programmation permettant de créer rapidement des applications ; évolué et polyvalent, dérivé de l'Algol-60. Il a été développé par Niklaus Wirth au début des années 1970 à l'École Polytechnique Fédérale de Zürich. Au cours des années le langage Pascal a évolué et la plus importante modification est sans doute l'incorporation de la notion de programmation orientée objet [61].

Nous avons choisi la version 7 de Delphi car elle fournit tous les outils nécessaires pour développer notre application.

III. 3.2. Programme Delphi :

Delphi est un environnement de développement de type RAD (*Rapid Application Development*) basé sur le langage Pascal. Il permet de réaliser rapidement et simplement des applications Windows.

Cette rapidité et cette simplicité de développement sont dues à une conception visuelle de l'application. Delphi propose un ensemble très complet de *composants visuels* prêts à l'emploi incluant la quasi-totalité des composants Windows (boutons, boîtes de dialogue, menus, barres d'outils...) ainsi que des experts permettant de créer facilement divers types d'applications et de bibliothèques.

Pour maîtriser le développement d'une application sous Delphi, il est indispensable d'aborder les trois sujets suivants :

- le langage Pascal et la programmation orientée objet ;
- l'Environnement de Développement Intégré (EDI) de Delphi ;
- les objets de Delphi et la hiérarchie de classe de sa bibliothèque [9].

III.3.3. Environnement DELPHI Intégré :

Au lancement du logiciel l'écran a l'aspect ci dessous.

Cette interface est composée des éléments suivants

Des barres d'outils

La palette des composants

L'inspecteur d'objets

L'arborescence d'objets

L'éditeur de code

L'explorateur de code

Le concepteur de fiches (ou le gestionnaire de projet).

Voici une représentation de l'interface de travail de Borland Delphi 7 :

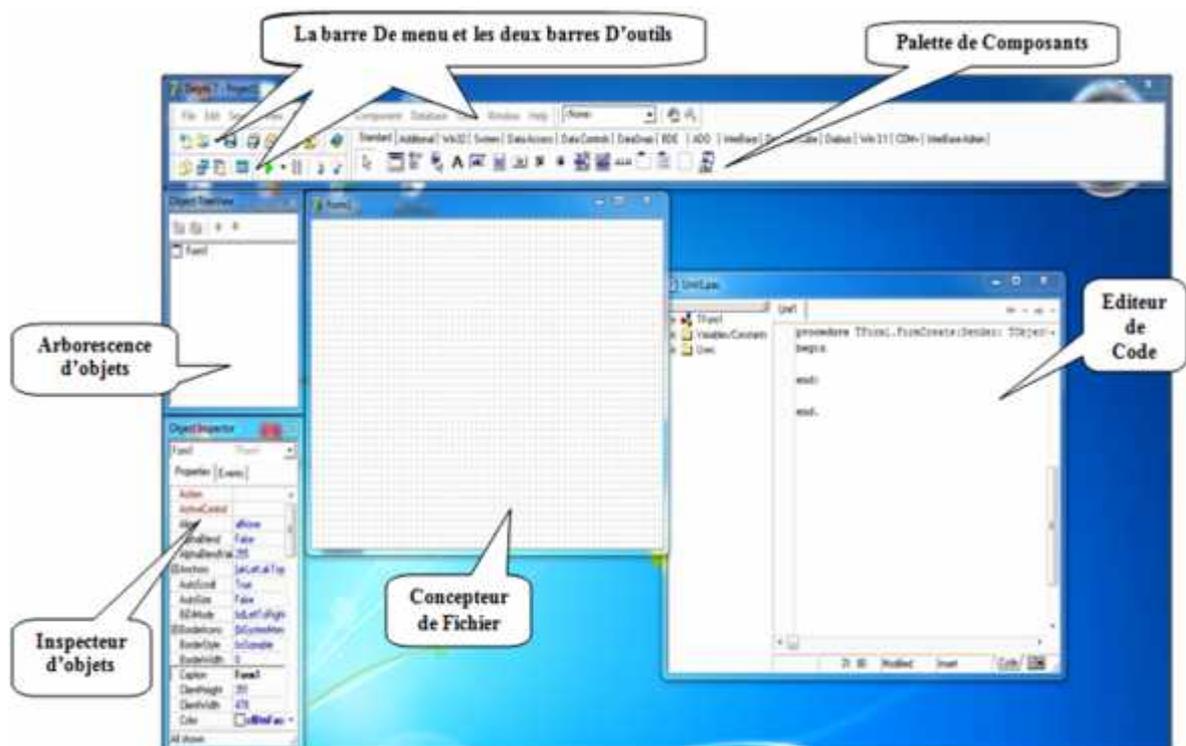


Photo 5 : Interface de programme Delphi 7.

III. 3.3.1. Projets et programmes :

L'ensemble des éléments d'un programme exécutable ou d'une librairie DLL (*Dynamic Link Library*) se contrôle à partir d'un *projet*. Concrètement, un projet est un fichier binaire d'extension *.dpr* contenant des liens vers tous les éléments du projet (fiches, unités, etc.), eux mêmes stockés dans des fichiers séparés. Pour gérer ces fichiers, Delphi met à la disposition des utilisateurs un outil : le *gestionnaire de projets*.

- **Gestionnaire de projets :**

Le gestionnaire de projets se présente comme une fenêtre composée de trois colonnes et d'une barre d'outils.

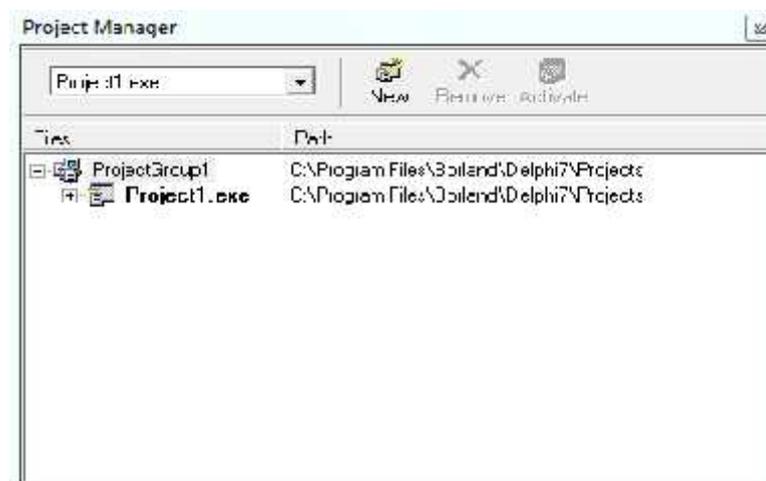


Photo 6 : Gestionnaire de projet.

- **Le fichier de projet :**

Il n'existe qu'un seul fichier *.dpr* par application. Par défaut, il contient le code suivant.

```
Program Project1;  
Uses Forms,  
    Unit1 in 'UNIT1.PAS'; {Form1}  
{$R *.RES}  
Begin  
    Application.CreateForm(TForm1, Form1);  
    Application.Run(Form1);  
End.
```

Photo 7 : Fichier de projet.

- **Options de projet :**

Delphi permet le paramétrage d'un projet grâce à la boîte de dialogue « Options de projet » (menu Projet/Options).

- Fiches : sélection de la fiche principale de l'application (celle qui est ouverte au démarrage du programme)....
- Application : choix d'un titre pour le programme, association avec une icône... ;
- Compilateur : options de compilation (étonnant, non ?) ;
- Lieur : options d'édition des liens ;
- Répertoires/Conditions : chemins sur le disque, alias... ;
- Info Version : gestion des versions du projet ;
- Paquets : inclusion de composants externes.

- **Experts et modèles :**

Delphi propose un ensemble de modèles et d'experts qui assistent le développeur dans la conception d'un programme en fournissant des éléments préfabriqués mais totalement remodelables.

Les nombreux modèles et experts de Delphi sont accessibles par le menu Fichier/Nouveau. Quelques-uns sont détaillés ci-dessous.

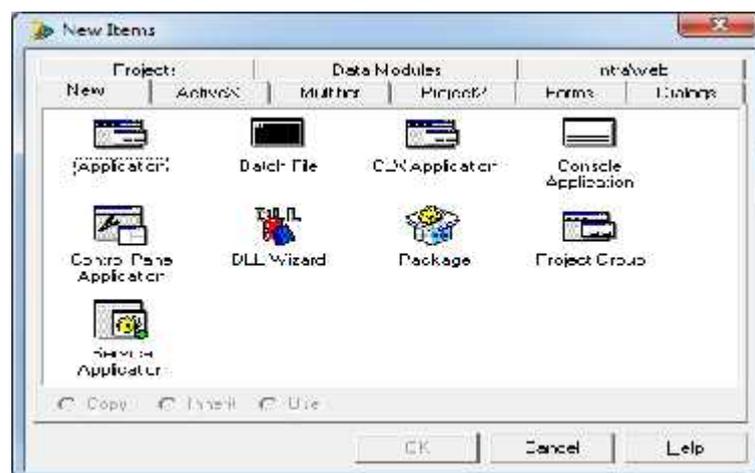


Photo 8 : Modèle et Experts propose par Delphi assistent le développeur dans la conception d'un programme.

- **Nouveau :**

Modèles d'éléments standards : application, fiche, unité, DLL...

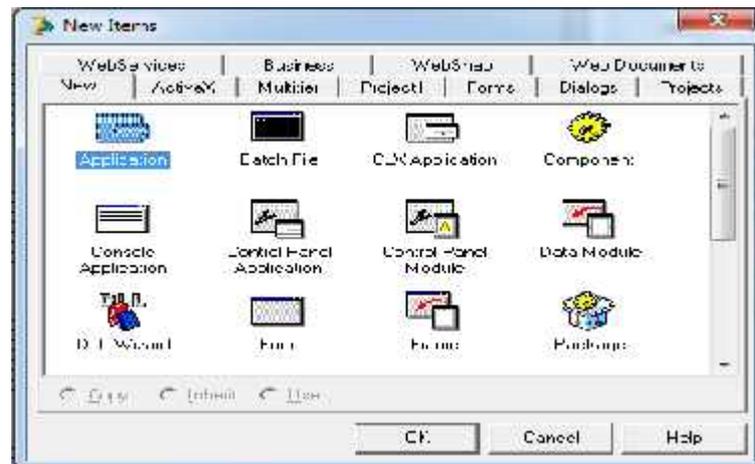


Photo 9 : Boite de Dialogue, Nouveau éléments.

- **Dialogue :**

Modèles de boîtes de dialogue (fiches) préfabriquées.

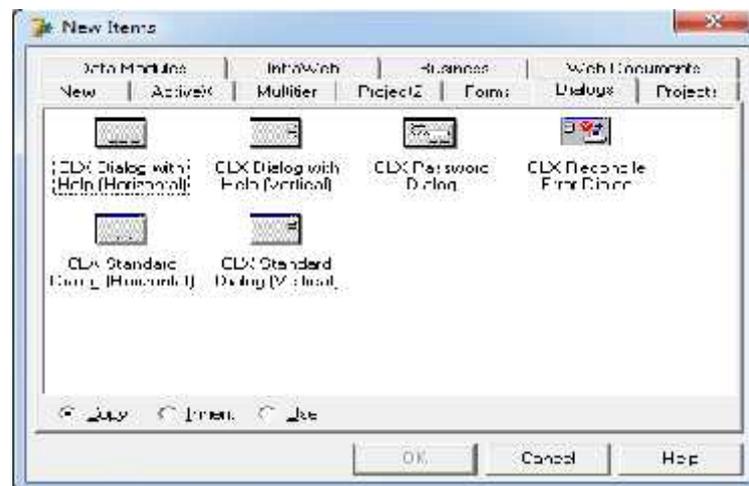


Photo 9 : Modèles de boîtes de dialogue préfabriquées.

- **Projets :**

Modèles d'application :

- Application Logo Win95 : modèle le plus simple avec uniquement une boîte « À propos » ;
 - Application MDI (*Multiple Document Interface*) ;
 - Application SDI (*Single Document Interface*), application standard.
- + Expert de création d'applications.

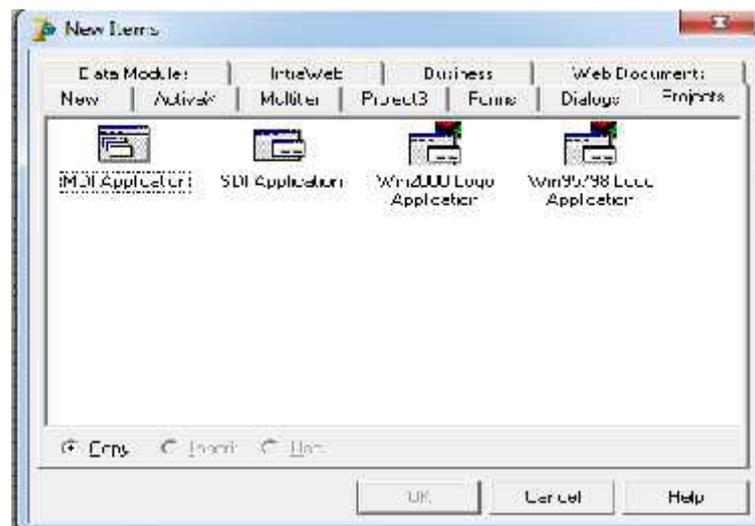


Photo 11 : Modèles d'application de projet.

III. 4. Conclusion :

La construction d'un projet comporte deux étapes essentielles, la mise en place de la présentation à l'écran puis l'écriture du logiciel PASCAL associé à tous les objets.

Chapitre IV:

Contexte géographique

IV.1. Situation géographique de la wilaya d'Ain Defla

Elle est située à 150 km au Sud- Ouest d'Alger. Elle est limitée au Nord par la wilaya de Tipaza, à l'Est par celles de Médéa et Blida, à l'Ouest par celle de Chleff, au Sud par la wilaya de Tissemsilt. Elle compte 14 Dairas et 36 communes.

IV.2. Situation du bassin d'étude:

Le bassin versant de l'oued Harreza fait partie du bassin de l'oued Cheliff. Il se situe à 120 Km à l'Ouest d'Alger, La région d'étude se situent dans la région Ouest de l'Algérie, elle appartient au haut Cheliff plus précisément dans le bassin de Oued Harreza codé 01-17, il couvre une superficie de l'ordre de 744 km². (Photo 12)

L'oued Harreza parcourt une distance de 40,5 Km suivant une orientation Nord-Ouest. Au Sud du bassin, le relief atteint une altitude de 765 mètres, tandis que le point le plus bas est à l'exutoire avec une altitude de 313 mètres. Le bassin versant est drainé par l'oued Harreza et ses affluents. Du côté Est, l'oued Dar Emial prend sa source dans le relief de Beni Zougzoug et vient se jeter dans l'oued Harreza. L'oued Slimane se joint à l'oued principal en drainant la partie Ouest du bassin versant. Le bassin versant de Harreza est situé dans la zone géologique comprise entre le massif schisteux de Boumaad et les premiers contreforts de l'Ouarsenis.

Cette zone comprend les massifs montagneux des Zaccar, la partie orientale du Doui, la plaine de Cheliff et les collines occidentales des Beni-Menacer. Les reliefs, d'une altitude supérieure à 1.500 mètres, sont formés de calcaire, de schistes métamorphisés et de roches éruptives profondément entaillées par les ravins abrupts. Ils sont couverts de chênes verts et de quelques boisements et pins localisés. Les marnes offrent de plus larges collines qui constituent, avec la plaine du Cheliff, les régions cultivées. Dans la vallée, on trouve des limons argileux ainsi que des marnes et de l'argile.

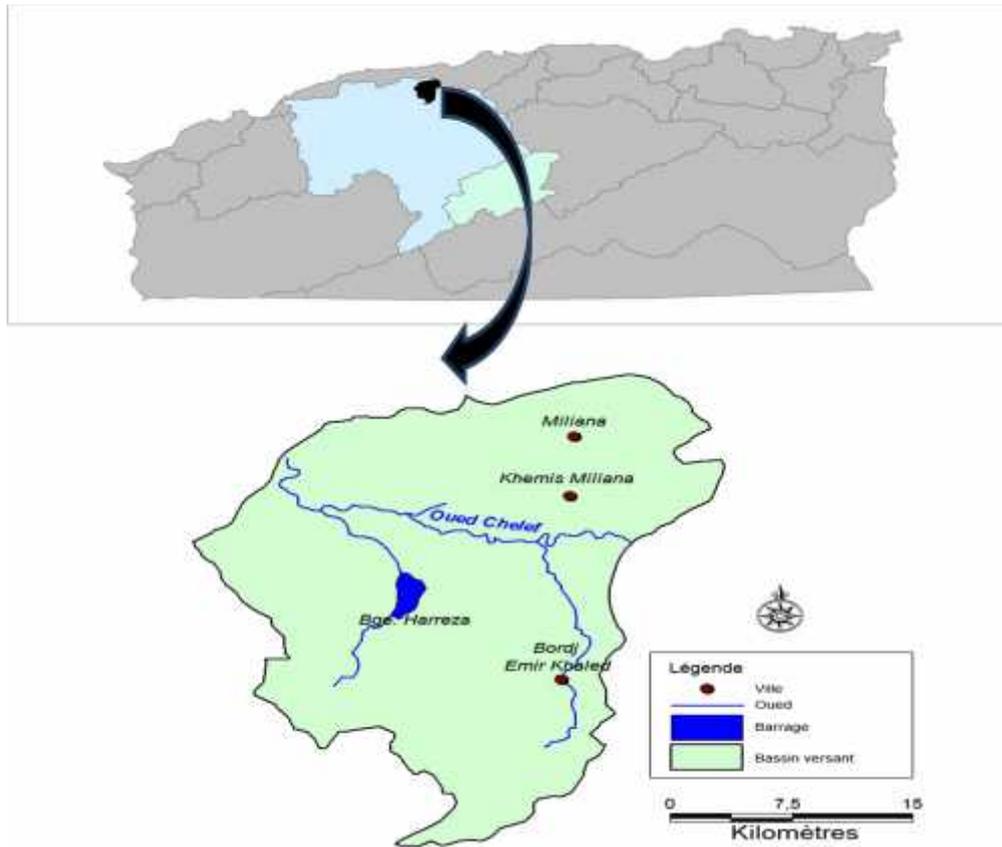


Photo 12 : Présentation du bassin d'étude.

IV.3. Présentation de Barrage de Harreza :

Le barrage de Harreza se trouve à 15 km au Sud-ouest de la ville d'El-Khemis, sur l'oued Harreza, affluent de la rive gauche de l'oued Cheliff.

Il est destiné à satisfaire partiellement les besoins en eau d'irrigation de la haute plaine de la rive gauche du Cheliff, par stockage des eaux de l'oued Harreza et les eaux pompées à partir de l'oued Deurdeur par la station de Khemis II (ONID).



Photo 13 : Barrage Harreza.

Tableau 10 : Caractéristiques du barrage Harraza (ANRH).

Barrages	Wilaya	Oued	Type	Mise en service	Capacité dernier levé Hm ³	Destination
Harraza	Ain-Defla	Harreza	Terre	1984	76.65	IRR. Périmètre Haut Cheliff

IV.4. Caractéristique hydro-climatique:

Le climat algérien est un climat de transition entre le climat tempéré humide et le climat désertique. Il varie de manière contrastée, du type méditerranéen et semi aride dans le Nord vers le type désertique dans le Sahara.

Le bassin versant de Harraza est caractérisée par un climat semi-aride au climat tempéré. L'examen de la carte des précipitations du bassin Cheliff-Harraza mis en évidence deux zones distinctes: l'une dans le Nord comprend la vallée du Cheliff où la pluviométrie moyenne est comprise entre 400 mm dans les basses plaines.

Dans la suite de l'année hydrologique (septembre-août) les précipitations sont reçues dans les mois d'octobre à mai et sont insignifiantes en juillet et août, juin et septembre étant des mois de transition.

IV.4.1. Pluviométrie :

La pluviométrie est parmi les principales composantes du climat qui contribue à la désertification des zones arides. En fait, l'aridité est une conséquence d'un déficit de précipitation par apport à l'évapotranspiration durant une période plus ou moins longue de l'année (Arrignon, 1987).

Tableau 11: précipitation moyenne mensuelle en (mm) période (1981-2012) (ANRH).

Codes De station Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
011718	47,81	52,07	42,74	34,25	26,8	9,74	2,6	5,99	22,76	31,24	47,64	47,34

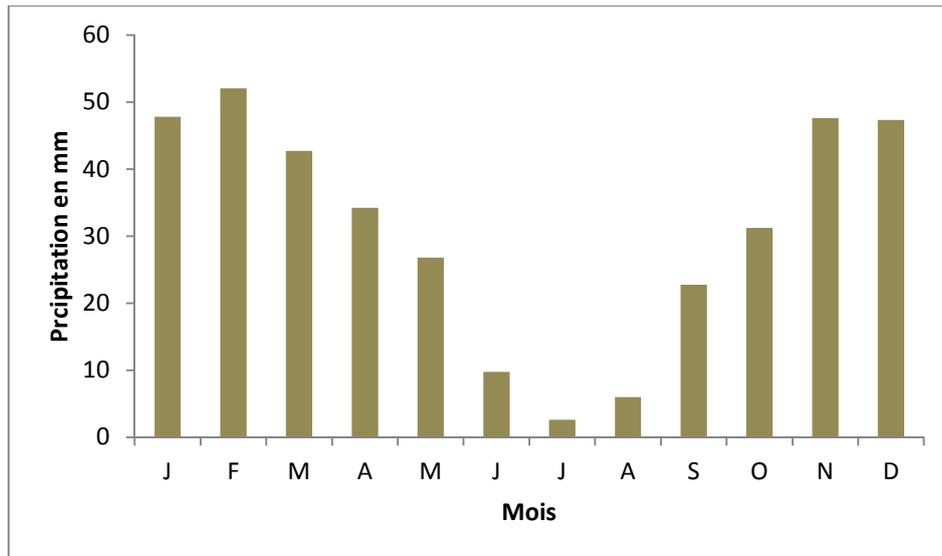


Fig.7: Variation des précipitations mensuelles.

IV.4.2. Température :

La température, second facteur constitutif de climat, influe sur le développement des végétations. Ce sont les températures extrêmes plus que les moyennes qui ont influence sur la végétation sauf si elles sont exceptionnelles et de courte durée (Greco, 1966).

Tableau 12 : Température de la station de barrage Harraza (ANRH).

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
T Moy (°C) Harraza	9.31	10.28	13.2	15.2	20.2	24.8	29.6	29.4	23.8	20.11	14	10.21

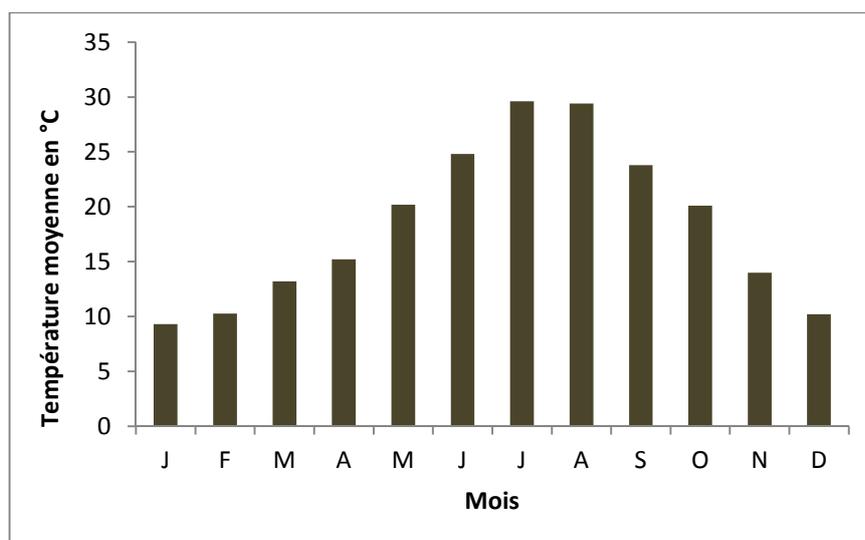


Fig.8 : Variation des températures moyenne mensuelles.

IV. 4.3. Vent :

Le vent est un paramètre climatique qui influe sur le déplacement des fines particules de sable et accentue de ce fait le processus de désertification. En plus il est considéré comme un facteur provoquant de l'évaporation de l'eau.

Les vents qui viennent du Nord, bien chargés en air humide venant de la méditerranée, sont empêchés de passer vers la partie intérieure du bassin par la barrière constituée de l'Atlas qui s'allonge d'Ouest en Est.

IV. 4.4. Evapotranspiration :

L'évapotranspiration est un facteur important dans le bilan hydrologique. C'est un paramètre essentiel pour l'évaluation des besoins en eau des cultures, et par conséquent pour la demande en eau à prendre en compte dans la planification.

Tableau 13 : Evapotranspiration (ANRH).

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
ETP (mm) Harraza	14.63	17.34	34.21	47.67	92.14	138.6	199	183.6	108	73.22	31.66	16.91

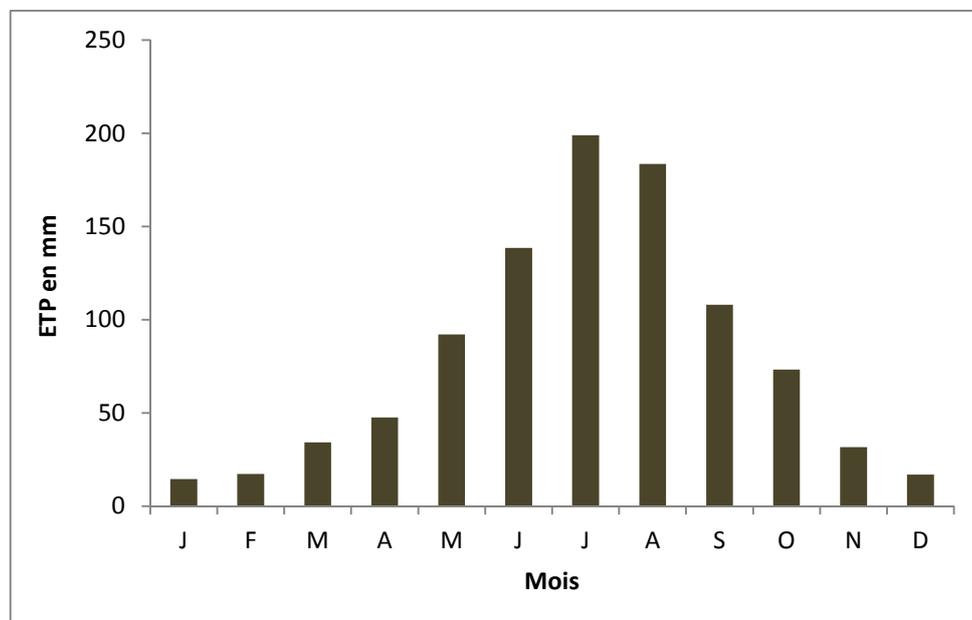


Fig.9 : Variation de l'évapotranspiration moyenne mensuelle.

IV. 4.5. Grêles et neiges :

Les grêles et neiges sont pratiquement présentes chaque année, elles sont enregistrées durant les mois de décembre, janvier, février et de mai, elles sont localisées aux sommets.

IV.5. Analyses climatiques

IV.5.1. Diagramme Ombrothermique de Gauss

Le Diagramme Ombrothermique de Gausson (1953) ou le Climagramme pluviométrique de Gausson est une représentation graphique de variation de précipitation et de température en fonction du temps (mois) qui nous permet de déterminer la période sèches et humides d'une région.

Le cumul des mois secs constitue la saison sèche. Pour vérifier cette relation, on doit adapter une échelle qui la concrétise ($P = 2T$) ; c'est la zone où la courbe de P passe en au-dessous de celle de T.

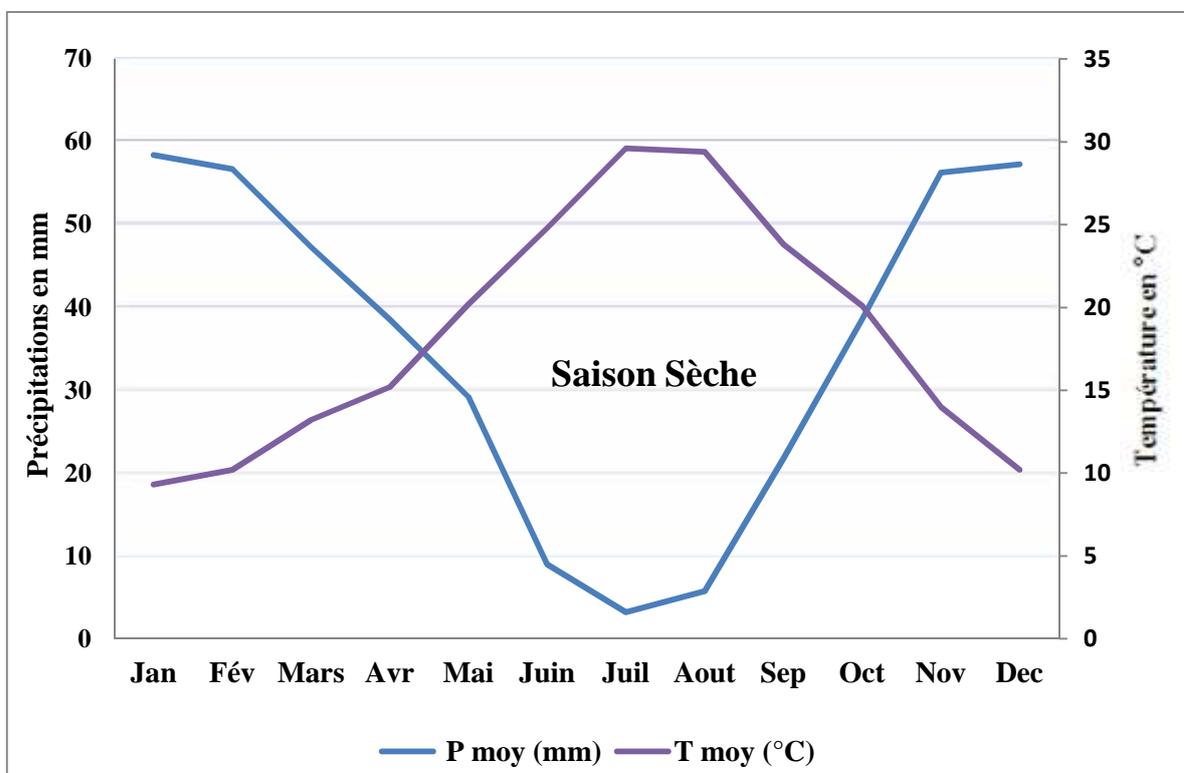


Fig.10 : Diagramme Ombrothermique de Bagnoles et Gausson 1987-2012.

D'après les résultats Donc, une longue période de sécheresse est révélée, elle s'étale sur six mois, allant d'Avril à octobre.

IV.5.2. Indice d'aridité de Demartonne (1927)

C'est le degré de sécheresse du climat de la région. Cet indice permet de préciser le degré de sécheresse de la région. Il est calculé par la formule suivante :

$$IA = P / (T + 10) \quad (11)$$

Avec:

IA: Indice climatique de Martonne. **P**: Précipitation moyenne annuelle (mm).

T: Température moyenne annuelle (°C) Donc :

Tableau 14: Les calculs de l'indices de Demartonne

Paramètres	P moy (mm)	T moy (°C)	Indice climatique de Martonne
Harraza Bge	383.9	18.34	13.54

Tableau 15: Les limites de climat d'après l'indice de Martonne

Valeurs d IA	Type de climat
IA < 5	Désertique
5 < IA < 10	Très sec
10 < IA < 20	Sec
20 < IA < 30	Relativement humide
IA > 30	Humide

Après les calculs et la classification de l'indice d'aridité ci-dessus, la région d'étude est soumise à un régime de climat relativement Sec.

IV. 6. Caractéristiques hydrographique:

- **Relief :**

Le relief est un facteur essentiel, il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains.

Les limites du bassin du Cheliff-Harraza sont très nettes sur la partie tellienne où elles suivent rigoureusement les lignes de crête; elles sont souvent très floues en ce qui concerne la ligne de partage des eaux le séparant du bassin du Sahara, au sud, car la limite endoréisme exoréisme est localement imprécise. De ce fait, le calcul de la superficie de la RHCZ diffère souvent d'un opérateur à un autre.

- **Couvert végétal :**

L'occupation végétale possède une influence directe sur l'écoulement fluvial aussi bien que les facteurs orographique et le climat.

La résistance à l'écoulement est autant plus grande que la couverture végétale est plus dense. Cette influence de la forêt sur les régimes d'eaux en domaine méditerranéen a un rôle considérable.

La densité végétale est importante dans le bassin côtier, et devienne de plus en plus faible en se dirigeant vers le Sud de la région d'étude.

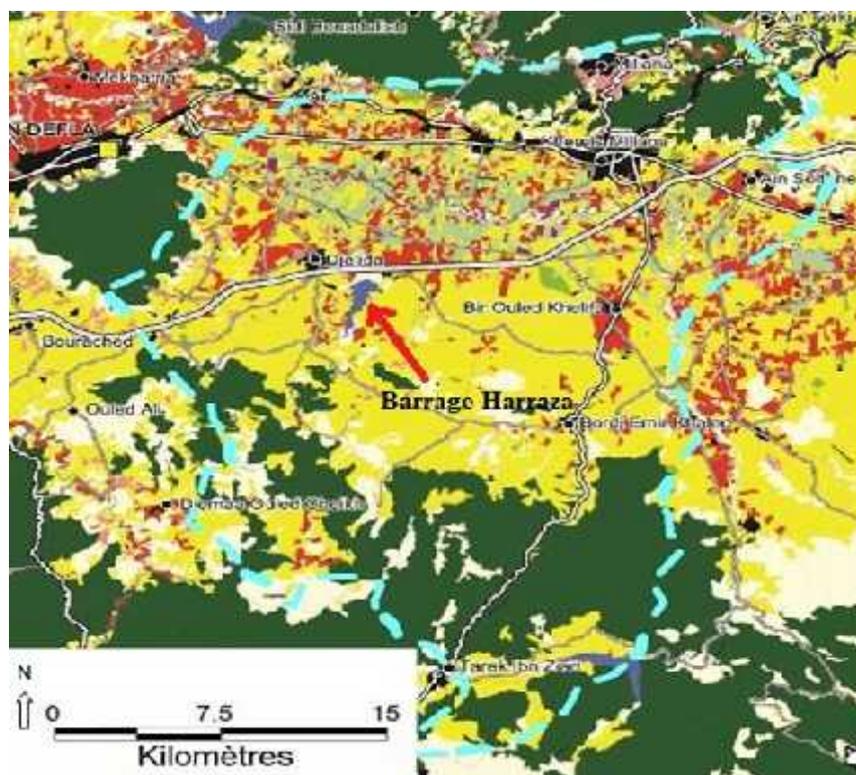


Photo 14 : Carte d'occupation du sol [3].

IV.7. Géologie

La zone d'étude située dans le Haut Cheliff (plaine de Khemis-Miliana) correspond à une dépression subsidant constituée essentiellement par des alluvions primaires et jurassiques de Zaccar et du Doui oriental. (Photo 15).

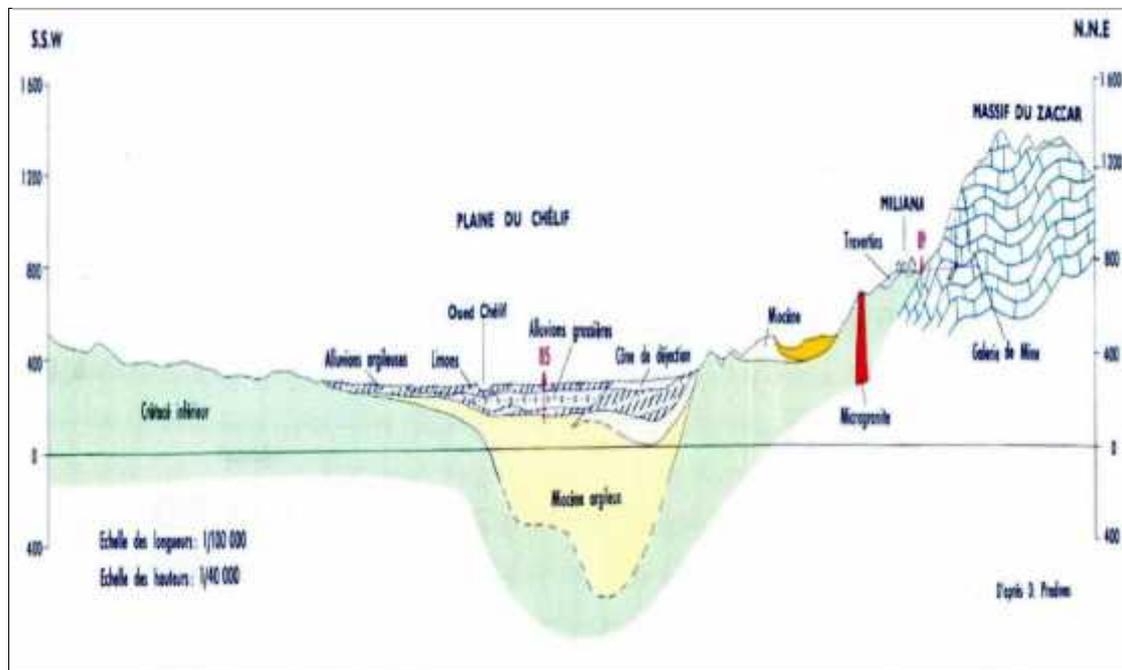


Photo 15 : Coupe interprétative transversale de la plaine du Haut Cheliff [3].

Le Haut Cheliff, situé au Nord de l'Ouarsenis, est allongé grossièrement d'Est en Ouest sur plus de 60 Km de long et une moyenne de 25 Km de large (Benmeridja, 2004). La plaine du Haut Cheliff, s'inscrit dans l'ensemble des terrains de l'Atlas Tellien, elle correspond à un synclinorium Néogène reposant sur le substratum Crétacé du sillon subsidant Tallien, entre le massif de Boumaad et les contreforts du Ouarsenis. Cet ensemble est dû à la superposition de plusieurs phases de plissements et de déformations d'âge Primaire, Secondaire et Tertiaire.

Chapitre V :
Réalisation
de Programme numérique

V. 1. Introduction :

Un programme est la traduction d'un algorithme dans un certain langage de programmation. Il faut savoir qu'à chaque instruction d'un programme correspond une action du processeur [50]. Notre projet est très simple mais illustre bien le mécanisme de DELPHI. Nous nous proposons d'écrire un programme d'estimation des pertes en sol à partir de base des données ou bien à partir des données d'accès.

V. 2. Étapes de préparation de notre programme 'EPS' :

Tout le développement d'applications s'effectue par le biais de projets. Quand vous créez une application dans Delphi, vous créez un projet. Un projet est une collection de fichiers qui constituent une application. Certains de ces fichiers sont créés pendant la phase de conception du projet. D'autres sont générés automatiquement lorsque vous compilez le code source du projet.

Avant tout il faut créer un dossier (exemple : disque local, bureau, etc.), pour enregistrer les fichiers de projet.

- **Première étapes** : Création de l'interface d'exécution

Nous avons commencé la conception de l'interface d'exécution de notre application en plaçant des objets sur la fiche et en modifiant leur fonctionnement dans l'inspecteur d'objets (Bouton 'Enter' et le bouton 'Quitter') et l'image d'accueil.

Dans la propriété Caption les boutons doivent être renommés et dans l'éditeur de code on a écrit le code d'action.



Photo 16 : Inspecteur d'objets.

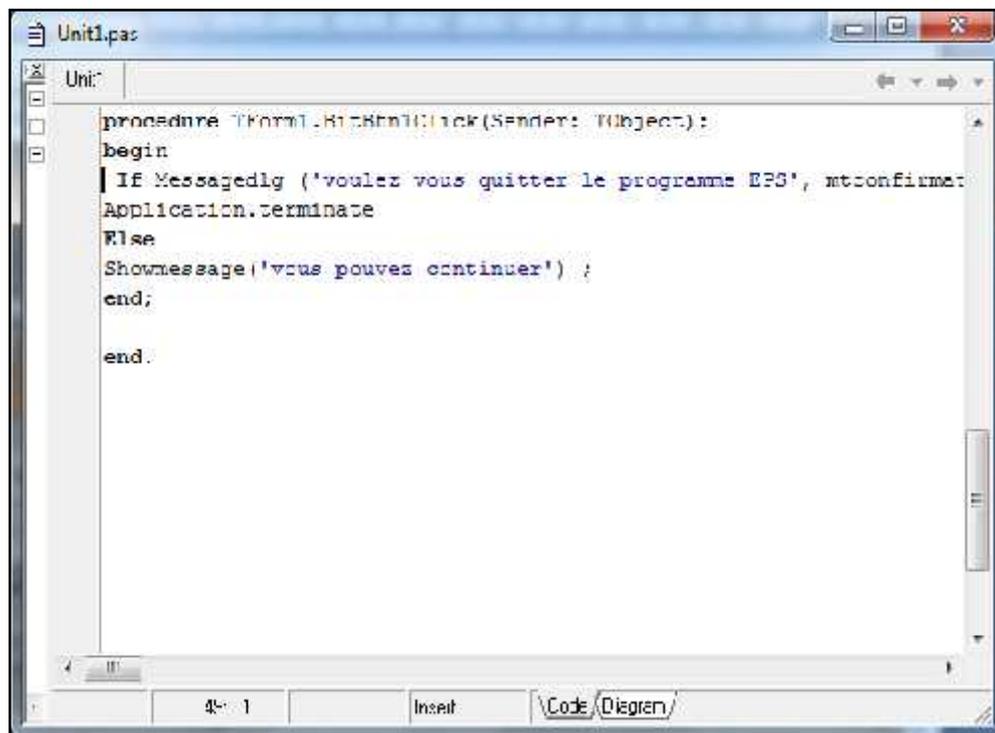


Photo 17 : Editeur des codes.

- **La deuxième étape** : la construction de l'interface principale.

On a réalisé cette interface par l'ajout des composants comme le Menu, des pages contrôles, Grid (Tableau), boutons, edits, label et aussi les charts.

Vous pouvez créer vos propres composants à l'aide du langage Delphi. La plupart des composants fournis sont écrits en Delphi. Vous pouvez ajouter à la palette les composants que vous avez écrits et la personnaliser à votre convenance en insérant de nouveaux onglets.

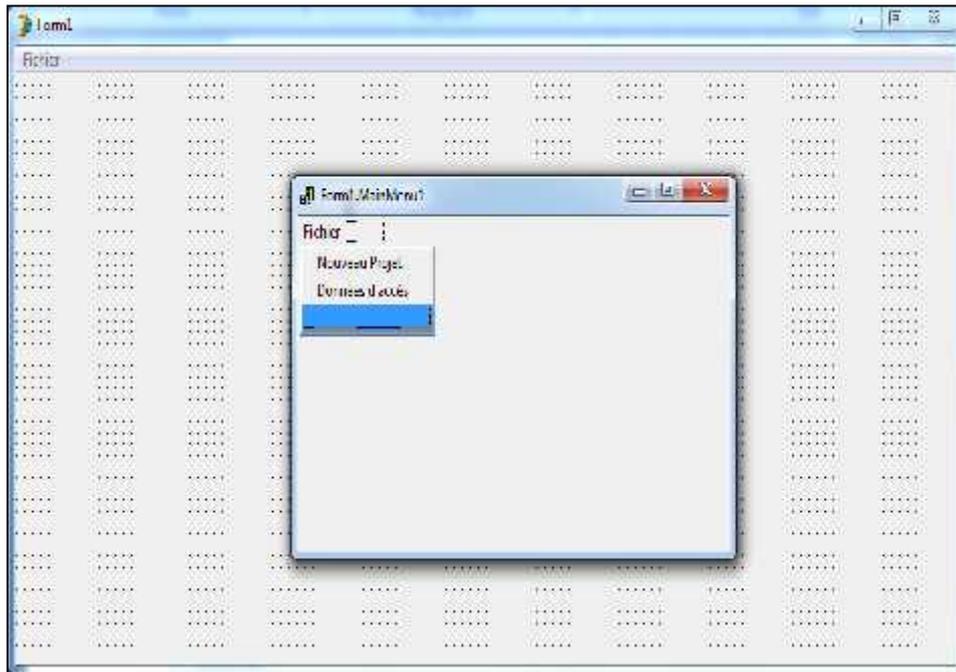


Photo 18 : Développement de Menu dans l'EPS.

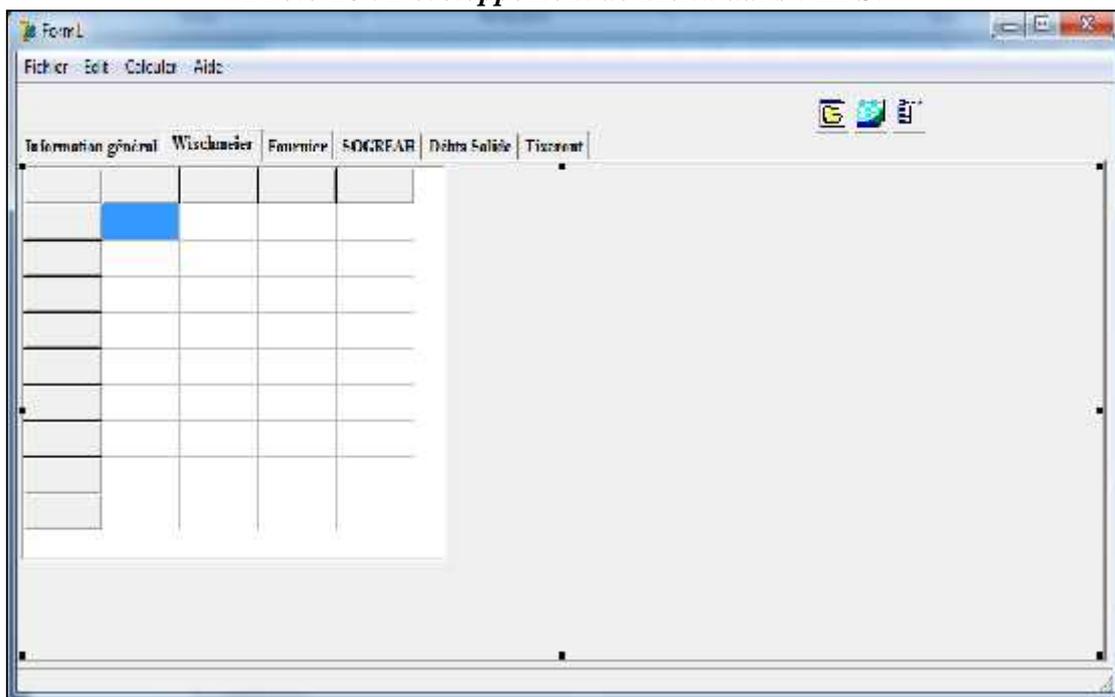


Photo 19 : Interface principale.

- Troisième étapes : Codage.

Pour interagir les informations stockées dans un Fichier Excel dans l'application il nécessite d'un codage très difficile 'fonction Excel', cette fonction permet de traduire les données d'une Extension Xls ou Xlsx sur notre application 'EPS'.

Aussi pour les Calculs un codage des formules pour traiter les données d'entre et faire les calculs et sa représentation dans un tableau et graphe.

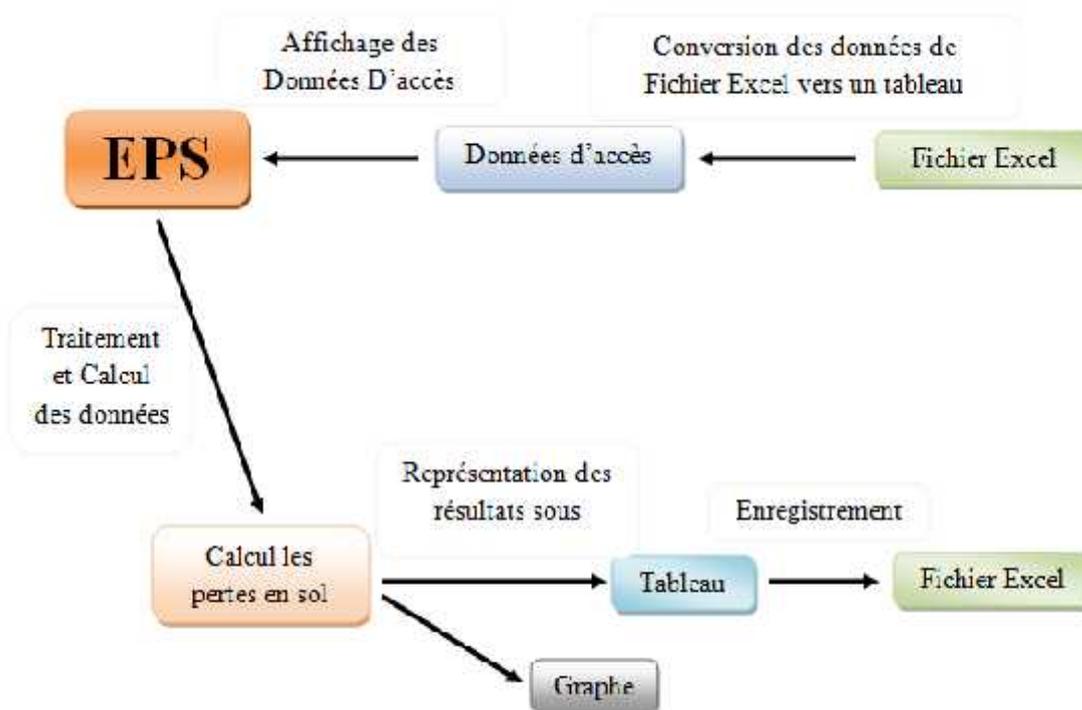


Fig.10 : Organigramme de l'EPS

V. 3. Programme d'estimation des pertes en sol 'EPS' :

EPS, est un programme aider l'utilisateur d'estimée les pertes par défèrent formules existants (Formules Empiriques ou Formules de Mesures Direct).

V. 3.1. Interfaces de Notre application " EPS " :

Il s'affiche au lancement de notre application, il nous demandera de cliquer sur le bouton Entrer pour accéder au menu principal.



Photo 20 : Interface d'accueil a notre programme.

Elle nous affiche la fenêtre du menu principale qui contient 5 boutons :
Fichier, Edit, Calculer, Comparaison et Aide.

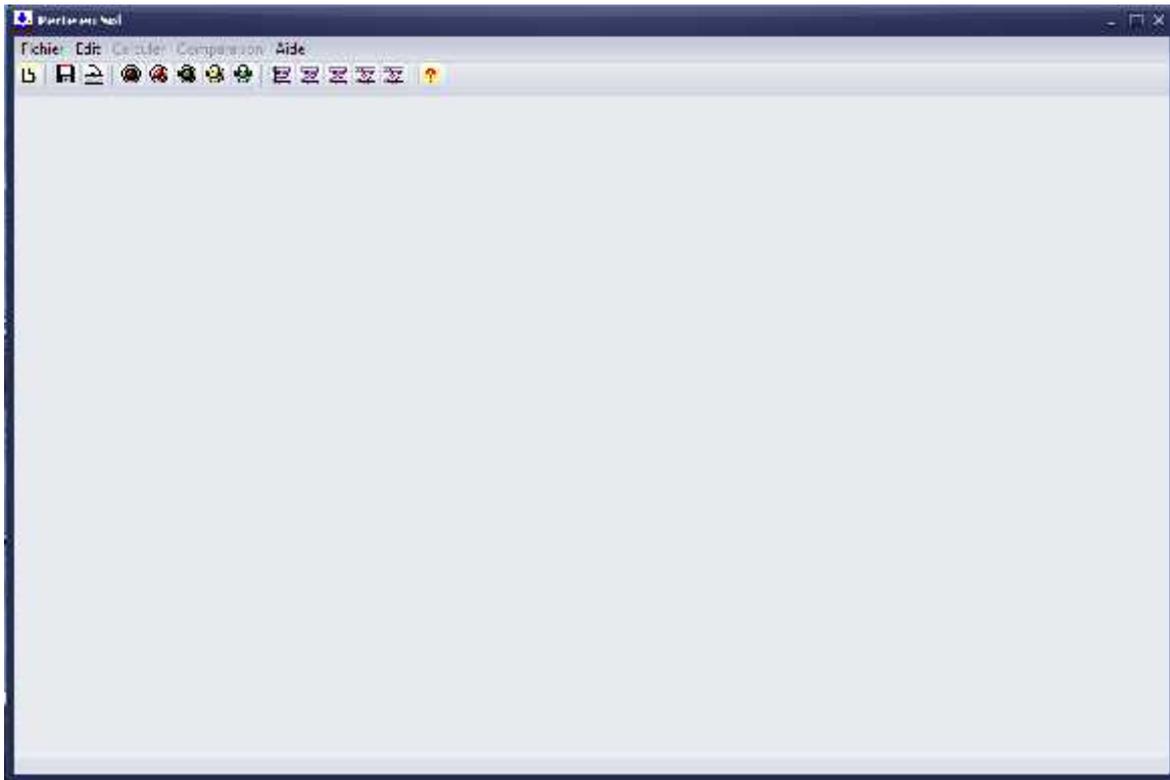


Photo 21 : Fenêtre du menu principale.

V. 3.2. Menu principal:

V. 3.2.1 Commande Fichier :

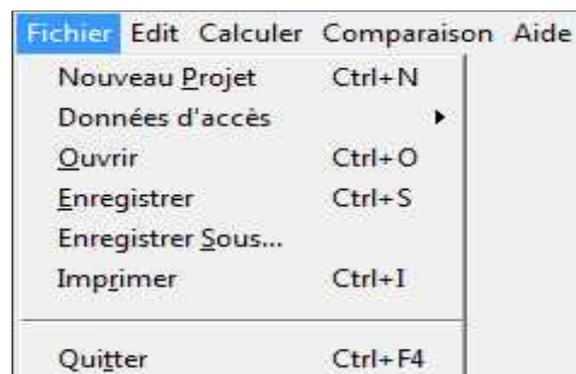


Photo 22: Commande Fichier.

L'usage de ce programme est très simple, Il faut cliquer sur **Nouveau Projet**.
Apparaissent des onglets d'information des formules (figure au- dessous) :
Le premier onglet c'est pour l'écriture des informations sur le Bassin versant.

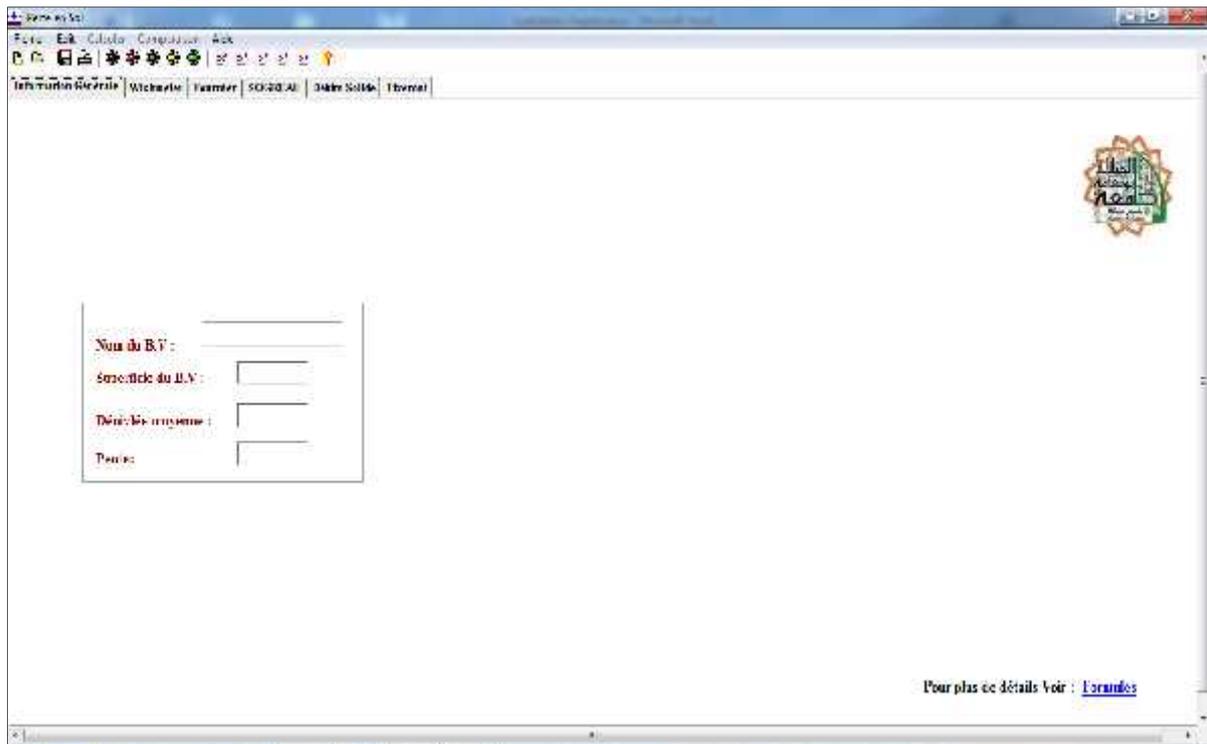


Photo 23: Anglets d'information et des formules (Commende Nouveau Projet).

Remarque : Les Bouton ‘Données d’accès’ s’activée après l’utilisateur clique sur **Nouveau Projet**.

Après la sélection de Formule, l'utilisateur peut rentrer les données déjà collecté ‘Fichier Excel’ facilement, voila la méthode :

Clique sur **Fichier : Données d’accès**, et Nom de formule rassemble à la formule sélectionnée.

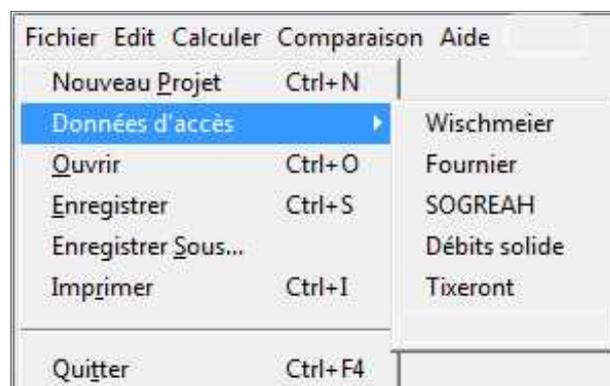


Photo 24: Commende Ouvrir.

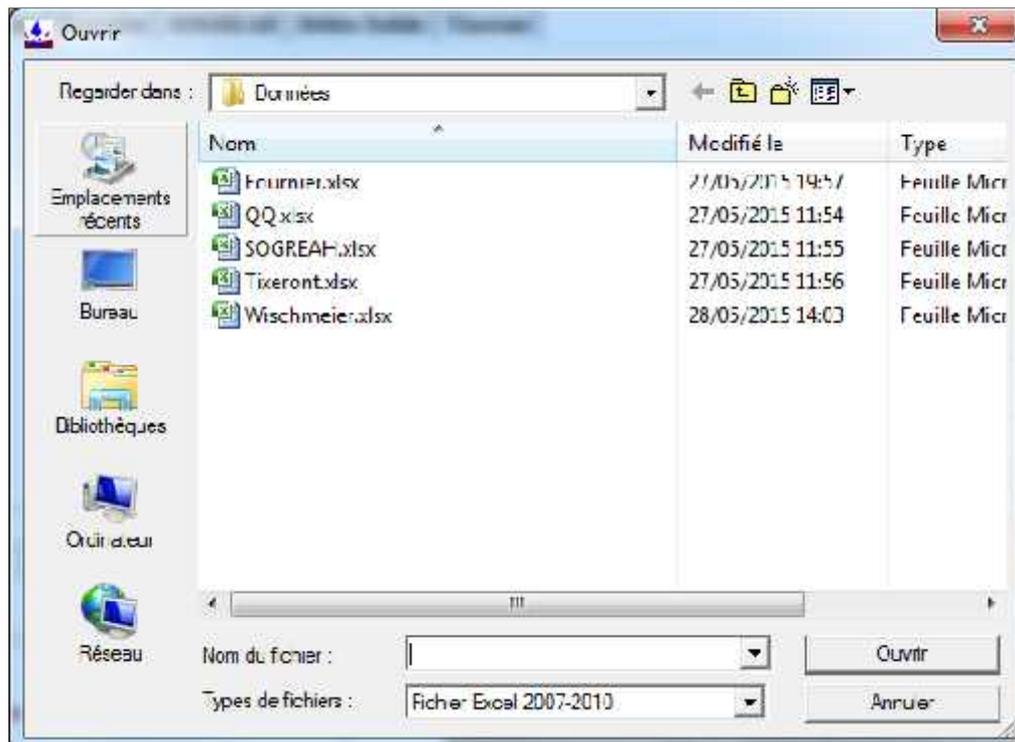


Photo 25 : Boite de Dialogue ‘Données d’accès’.

V. 3.2.2. Commende Calculer :

Les données sont affichiez dans le tableau de notre programme et par le Commende **Calculer** on estimer les pertes en sol.

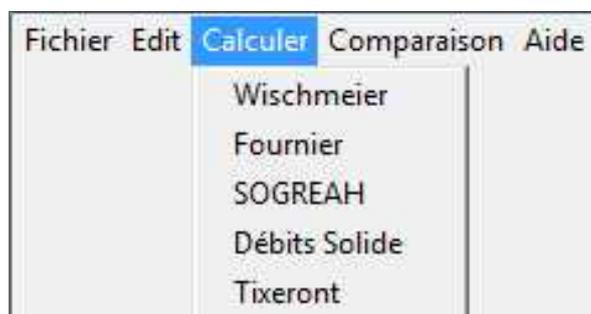


Photo 26: Commende Calculer.

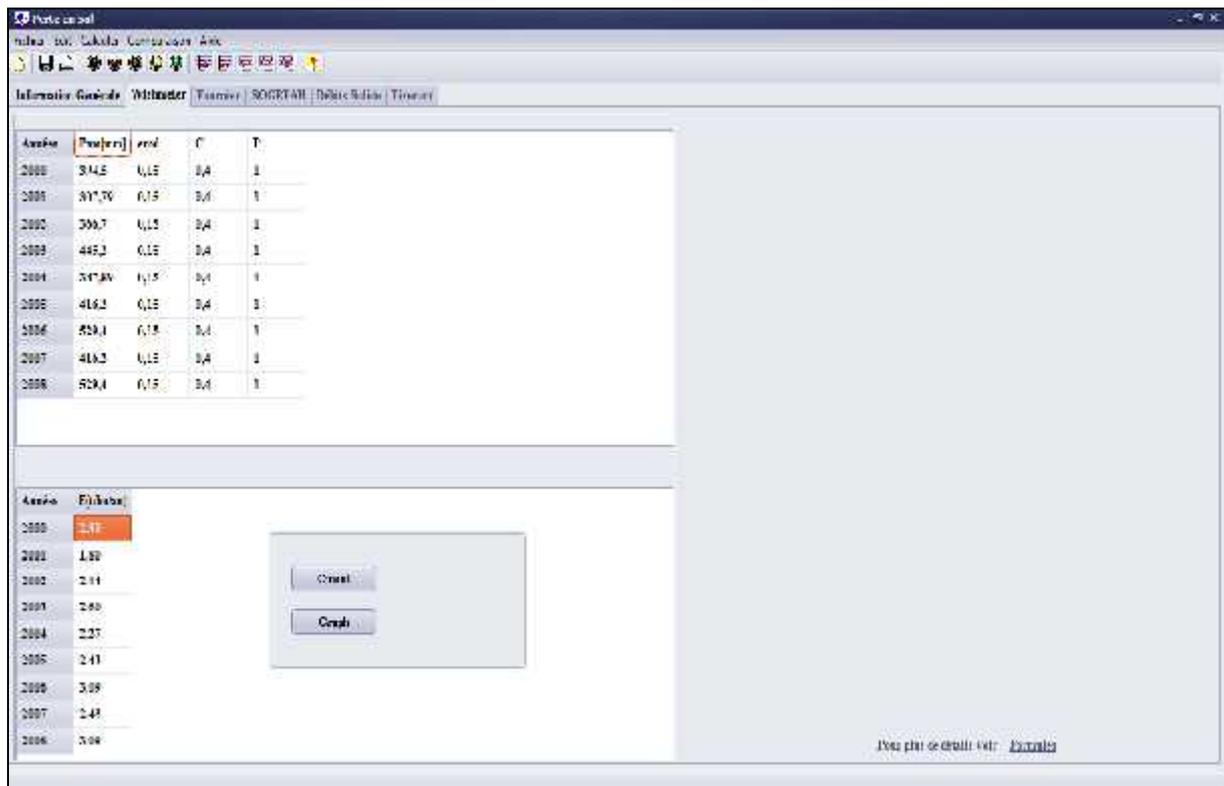


Photo 27 : Représentation des résultats sous forme d'un tableau.

Les deux boutons 'Cumul' et 'Graph' peut donnée les résultats cumuler et aussi sur forme d'un graph.



Photo 28: Commandes Cumul et Graph.

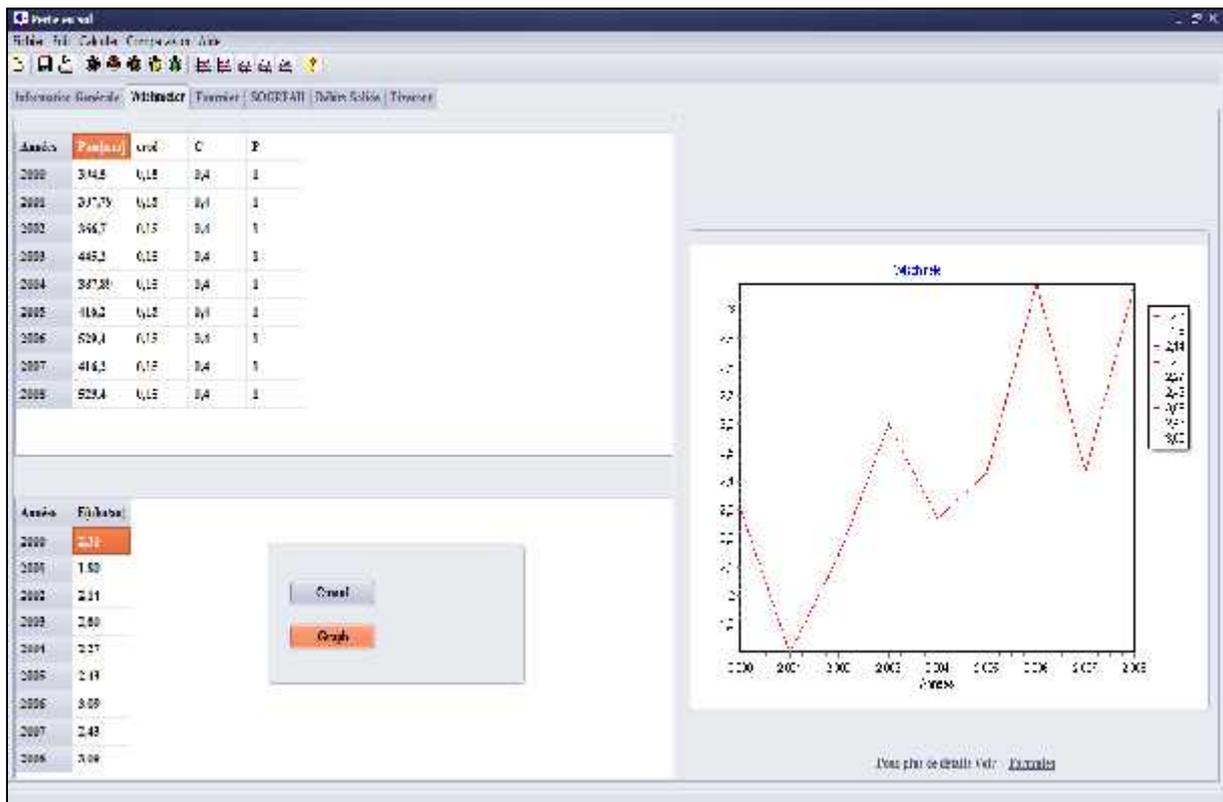


Photo 29: Représentation des résultats sous une forme de graph.

V. 3.2.3. Commende Comparaison :

Si l'utilisateur veut de mettre une comparaison entre les résultats de différents formules sur un seul graph le Commende **Comparaison** réaliser cette opération.

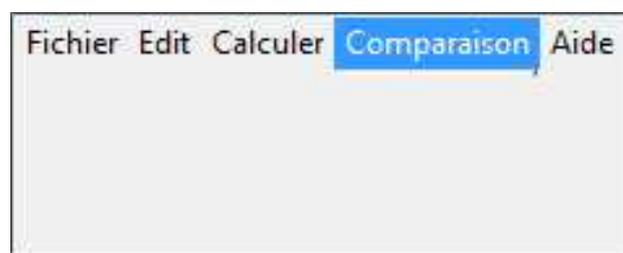


Photo 30 : Commende Comparaison.

Quand on clique sur **Comparaison** s'apparaître une interface (figure dessous).



Photo 31: interface de Comparaison.

On va sélectionner les formules vouloir, et cliquer sur **Tracer**.

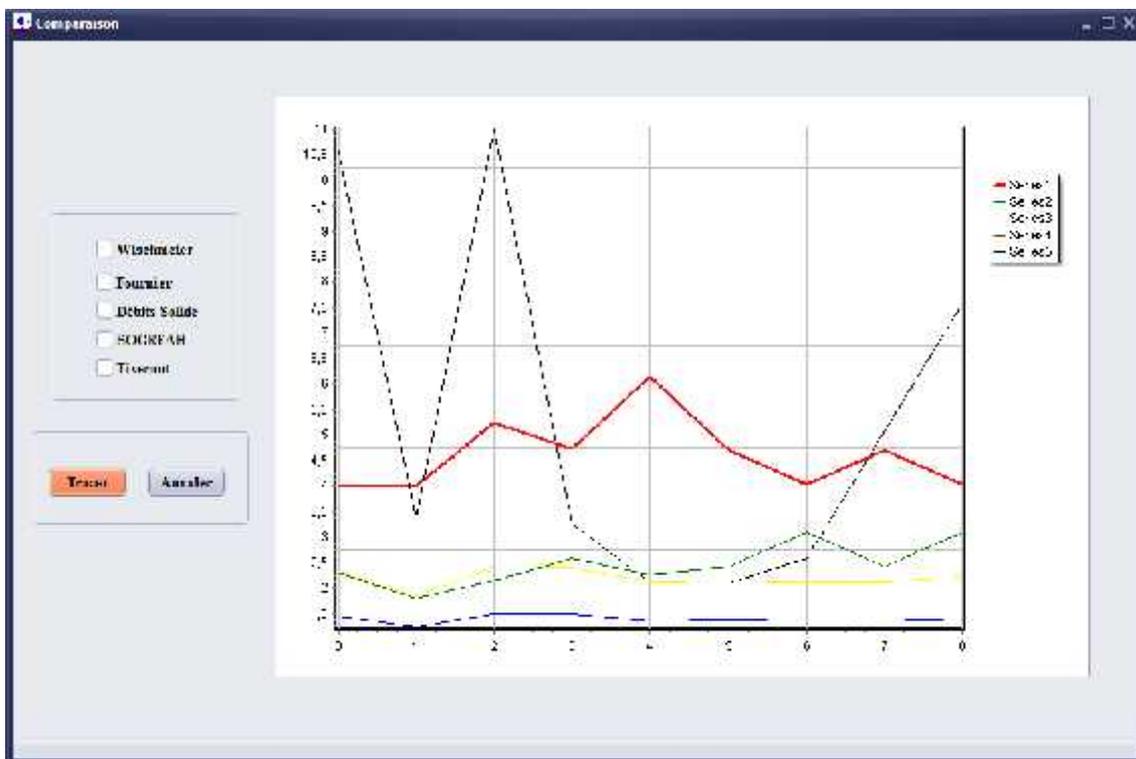


Photo 32: Représentation des résultats de comparaison sur un même graph.

V. 3.2.4. Commende Aide :

Il s'affichera lorsque on cliquer sur l'**Aide** les trois commandes suivants : **Formules** ;

Procédure d'emploi et **A-propos**.

- Commende **Formules** contient aidée générale sur les formules utilisée dans ce programme.
- Commende **Procédure d'emploi** soutien l'utilisateur comment sa marche le programme.
- Commende **A Propos** comporte le nom de programme ; la date de construction ; droits producteurs.

V. 3.2.5. Informations sur le programme :

Les données sera introduit sous une extension **Xlsx** (2007-2010) ou **Xls** (2003), mais il y'a des conditions concernant l'organisation des Variables dans les tables Excel pour tous les formules grâce au codage de programme « Estimation des Pertes en Sol »

- **Formule de Wischmeier et Smith :**

La première colonne c'est pour les années on insérer les précipitations annuelles moyennes **P_{am} (mm)**, la colonne suivant pour l'érodibilité du sol **k** et le facteur de couvert végétal **C** et pour la dernière colonne facteur d'aménagement antiérosif **Pér.**

- **Formule de Débit solide :**

Après les années la deuxième case pour les Débits liquide annuel **Q_l (m³ /an)**, ensuite les Concentrations (turbidité) **C (Kg/m³)**.

- **Formule de Fournier :**

Toujours les années sont dans la première colonne, après les précipitations de moins le plus pluvieux **P_{am} (mm)** et les précipitations moyennes annuelles dans la troisième colonne **P_m (mm)**.

- **Formule de SOGREAH :**

Après la colonne des années la Coefficient dépendant de la perméabilité du sol et le débit liquide annuel **Q_l (m³ /an)** sur la troisième colonne.

V. 4. Application par le programme 'EPS' :

Pour assurer le bon fonctionnement de notre programme "EPS" on a effectué une expérience avec un exemple dans le bassin versant de l'oued Harraza, de transport solide Qui on a apporté les données de l'ANRH (Khemis Miliana).

V. 4.1. Données d'accès :

Pour les formules suivants : Débits Solide (Qs) ; Fournier ; Cavrilovic ; SOGREAH et Wischmeier.

Tableau16 : Données d'accès pour l'application.

Années	Q _t (m ³ /an)	C (kg/m ³)	P _{am} (mm)	P _m (mm)		K	C	P
2000	2,02	12,31	394,50	81,70	75	0,1	0,40	1
2001	0,66	12,05	307,80	64,00	75	0,1	0,40	1
2002	2,39	10,85	366,70	100,00	75	0,1	0,40	1
2003	2,26	3,41	445,20	109,80	75	0,1	0,40	1
2004	1,25	4,02	387,90	124,30	75	0,1	0,40	1
2005	1,32	3,75	416,20	101,90	75	0,1	0,40	1
2006	1,25	4,88	529,40	111,30	75	0,1	0,40	1
2007	1,25	9,56	464,60	98,50	75	0,1	0,40	1
2008	1,57	11,4	593,2	109,50	75	0,1	0,40	1

Pour le modèle Universal de Wischmeier et Smith :

En raison de l'insuffisance des informations sur les pratiques antiérosives et sur les caractéristiques des formations superficielles de la région, nous avons fixé la valeur du facteur P à 1 sur l'ensemble du bassin versant.

On a prendrez le facteur de couvert végétal 0.4 d'après *Roose* Tableau 7 (chapitre 3) qui représente : plantes de couverture à développement lent ou plantation tardive.

V. 4.2. Résultats :

Tableau 17 : Résultats obtenus par le programme pour bassin versant Harraza.

Bassin versant de l'oued Harraza					
Années	Perte en Sol				Débits solides spécifique (t/ha/an)
	Wischmeier (t/ha/an)	Fournier (t/ha/an)	SOGREAH (t/ha/an)	Tixeront (t/ha/an)	
2000	2.30	3.98	1.46	2.34	10.54
2001	1.80	4.00	1.24	1.85	3.37
2002	2.14	5.24	1.50	2.43	10.99
2003	2.60	4.74	1.49	2.40	3.27
2004	2.27	6.16	1.36	2.12	2.13
2005	2.43	4.71	1.37	2.14	2.10
2006	3.09	4.04	1.36	2.12	2.59
2007	2.43	4.71	1.36	2.12	5.07
2008	3.09	4.04	1.41	2.22	7.59
Moy	2.46	4.62	1.39	2.19	5.25

Afin de mettre en marche le programme élaboré, des valeurs relatives au bassin versant de Harraza ont été utilisées pour exécuter les différentes formules, ainsi les résultats obtenus affichent, en général, des valeurs modérées de transport solide.

En effet, les valeurs calculées par la formule de mesures directes sont relativement élevées par rapport aux autres valeurs calculées par le reste des formules.

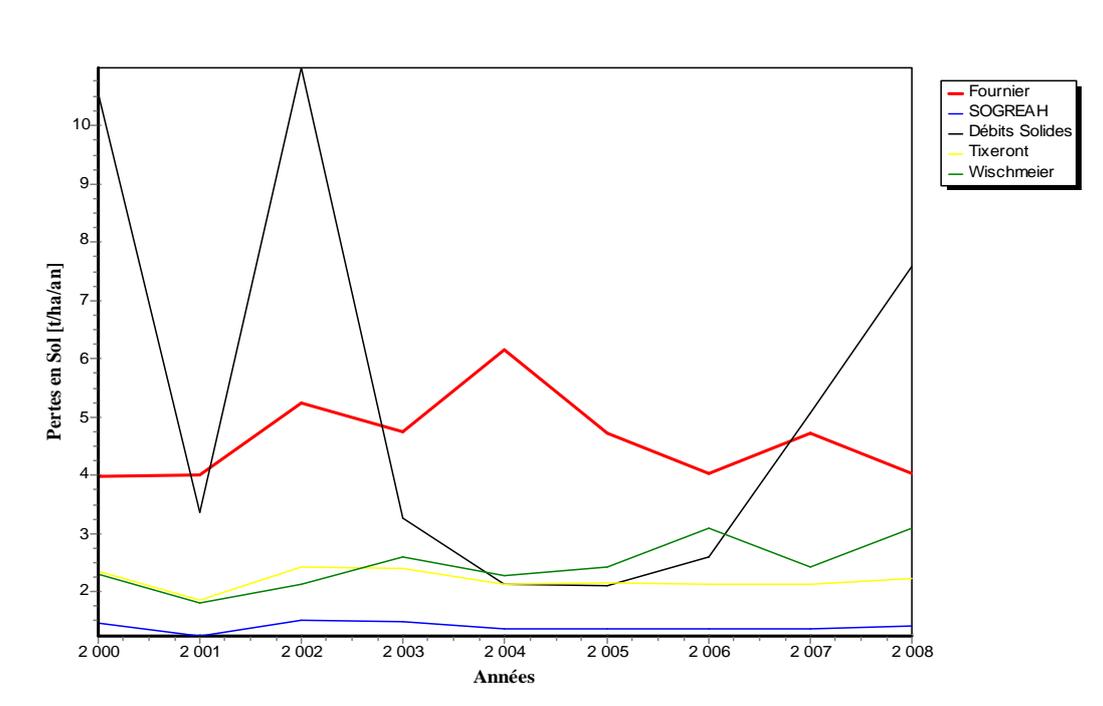


Photo 33 : Graph de Comparaison

V. 4.3. Discussion :

Les résultats obtenus à partir les différentes formules semblent tous acceptables, ainsi les formules de Wischmeier et Tixeront donnent les mêmes valeurs, quant à la formule de Fournier, elle affiche des valeurs égales environ le double de celles trouvées par les deux précédentes formules.

La formule de la SOGREAH donne des valeurs plus au moins faibles comparants aux autres formules, mais reste la formule des mesures directes (débits solides) qui enregistre des valeurs variant entre 10.99 et 2.10 t/ha/an ceci est due probablement parce que cette dernière utilise des valeurs mesurées in situ c'est-à-dire juste les valeurs de débits liquides et de concentrations mais le reste des formule fait introduire tous les paramètres et en premier lieu les précipitations et la couverture végétale.

En effet, la valeur de dégradation spécifique la plus élevée a été donnée par l'ensemble des formules et ça correspond à l'année 2002 aussi l'année 2008 est caractérisée par un transport sédimentaire assez élevé.

A la fin, on peut conclure que la variation entre les résultats obtenus par chaque formule est probablement liée à l'élaboration de ces dernières, parce que chacune de ces formules utilise, dans son principe, des paramètres différents l'une de l'autre.

V. 5. Conclusion :

Au cours de cette dernière étape de notre travail, nous avons vérifié que notre application "EPS" est approuvé pour l'estimation de perte en sol et peut facilement être utilisé pour quantifier le transport solide dans les lits d'oued tout en respectant les conditions d'utilisation.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le but de notre travail est bien de mettre on œuvre un programme permettant d'estimer les pertes en sol par l'utilisation de déférentes formules que se soient empiriques ou bien directes, cet objectif a été effectivement atteint, mais cette réussite en 'aurait pas pu être aboutie sans un travail dur et long de recherche, d'application et de collecte d'informations.

Actuellement plusieurs méthodes permettant de quantifier l'érosion hydrique à l'échelle d'un bassin versant, sont disponibles, et pour l'accomplissement de notre travail, on a choisi de travailler avec l'équation de Wischmeier et Smith, formules de Fournier, Tixeront, SOGREAH et de Débits solides. Chacune de ces formules est basée sur des facteurs déférents l'une de l'autre se qui conduit la déférence dans les résultats obtenus.

L'élaboration de programme EPS a connue plusieurs difficultés parmi elle on peut citer l'adaptation des formules avec l'organisation des différents codes du logiciels. Le plus important déficit c'est le domaine de la programmation qui est une branche rude et difficile et qui nécessite des spécialistes.

Pour tester cette application, on a choisi comme exemple d'application le bassin versant de l'oued Harraza affluent de l'oued Cheliff d'une superficie d'environ 744 km².

En général, les résultats obtenus à partir des différentes formules semblent tous acceptables, ainsi les formules de Wischmeier et Tixeront donnent les mêmes valeurs, quant à la formule de Fournier, elle affiche des valeurs égales environ le double de celles trouvées par les deux précédentes formules.

La formule de la SOGREAH donne des valeurs plus au moins faibles comparants aux autres formules, mais reste la formule des mesures directes (débits solides) qui enregistre des valeurs variant entre 10.99 et 2.10 t/ha/an ceci est due probablement parce que cette dernière utilise des valeurs mesurées in situ c'est-à-dire juste les valeurs de débits liquides et de concentrations mais le reste des formule fait introduire tous les paramètres et en premier lieu les précipitations et la couverture végétale.

En effet, la valeur de dégradation spécifique la plus élevée a été donnée par l'ensemble des formules et ça correspond à l'année 2002 aussi l'année 2008 est caractérisée par un transport sédimentaire assez élevé.

Ces résultats restent similaires à ceux trouvés par Meguenni et al., en 2008 qui ont travaillé sur le même bassin versant mais avec une superficie 5 fois inférieures.

Références bibliographiques :

- ✚ [1] **White, W.R., 1986.** Problèmes d'érosion, transport solide et sédimentation dans les bassins versants, Projet 5.3 du programme hydrologique international, 155 pages, in **TOUMI, S., 2013.**
- ✚ [2] **TOUMI, S., 2013** Application Des Techniques Nucléaires Et De La Télédétection A L'étude De L'érosion Hydrique Dans Le Bassin Versant De L'oued Mina.
- ✚ [3] **Hallouz, F., 2009.** Etude des crues dans le Bassin Versant Cheliff Méthode de Gradex Mémoire de Magistère L'université de Khemis Miliana.
- ✚ [4] **Walling, D E., 1977.** Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small bassin. Water resources research, 13, 3: 531-538, in **Baloul, D., 2012.**
- ✚ [5] **Kisi, Ö., 2007.** Development of stream flow-suspended sediment rating curve using a range dependent neural network. International journal of science & technology, 2 (1): 49-61.
- ✚ [6] **Arabi, M., 1991.** Influence de quatre systèmes de production sur le ruissèlement et l'érosion en milieu méditerranéen à Médéa (Algérie). Thèse doctorat Université de Grenoble III. 273 p, in **TOUMI, S., 2013.**
- ✚ [6] **Sadik A. Bouhlassa S. Auajjar J. Faleh A et Macaire J., 2004.** Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'oued Boussouab. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, 2004, n°26, p. 69-79, in **TOUMI, S., 2013.**
- ✚ [6] **Touaibia B et Achite M., 2003.** Contribution à la cartographie de l'érosion spécifique du bassin versant de l'Oued Mina en zone semi-aride de l'Algérie septentrionale. Journal des Sciences Hydrologiques, 48(2), page 235, in **TOUMI, S., 2013.**
- ✚ [7] **Horowitz, A J., 2002.** The use of rating (transport) curves to predict suspended sediment concentration: a matter of temporal resolution. Turbidity and sediment surrogates workshop, April 30- May 2, 2002, Reno, NV, in **Baloul, D., 2012.**
- ✚ [8] **Dogan E, Sasal M, Isik S. 2005.** Suspended sediment load estimation in lower Sakarya River by using soft computational Methods. Sakarya University, Engineering faculty. Department of civil engineering, 10p, in **Baloul, D., 2012.**
- ✚ [9] **Mohamed El Marraki., 2006.** Algorithmique, module I2. Université Mohammed V-Agdal (Cours).

- 📌 [10] **Guillobez, S., 1990.** Réflexions théorique du ruissellement et de l'érosion. Base d'un contrôle application à la détermination des écartements entre dispositifs antiérosifs. CIRAD/IRAT à la mission française de coopération et d'action culturelle au Burkina Faso. Revue bois et foret des tropiques, 226 (4e trimestre): 39-46, in **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.
- 📌 [11] **Roose, E., 1994.** Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) Ed. ORSTOM-FAO, 331p.
- 📌 [12] **Le Bissonnais Y. Couturier A. Cerdan O. Papy F. Martin P. Souchère. Bronu JF. Labrun P. Fox D. Morschel J., 2003.** Projet : Maitrise de l'érosion hydrique des sols cultivés phénomènes physiques et dispositifs d'action. (Rapport).
- 📌 [13] **Rampon., 1987.** Erosion – transport solide – envasement de barrage. Cas du bassin versant de l'oued Mina. Thèse de doctorat (INA. El-Harrach. Alger). du ruissellement et de l'érosion par le modèle STREA dans. in **Touaibia., 1992.**
- 📌 [14] **Echeverria, J., 2006.** Modélisation d'accompagnement et gestion des problèmes de ruissellement érosif en haute Normandie. Mémoire de master Economie du Développement durable, de l'Environnement et de l'Energie (EDDE)- Université Paris X Nanterre, in **Zainvé na, D., 2011.** Estimation des taux d'érosion et de sédimentation a l'aide des techniques isotopiques (CS¹³⁷) : cas de bassin versant de Moulay Bouchta, Rif occidental.
- 📌 [15] **HADIR, S., 2010.** Modélisation du ruissellement et de l'érosion par le modèle STREA.
- 📌 [16] **Mokhtari El hadj., 2009.** Contribution à l'étude du transport solide en suspension Bassin de l'Oued Cheliff – Ghrib (MEMOIRE diplôme de MAGISTER).
- 📌 [17] **Megnounif, A., 2007.** Etude du transport des sédiments en suspension dans les écoulements de surface, Thèse de Doctorat, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 184p.
- 📌 [18] **Baptiste A. Frédéric D.** L'érosion hydrique des sols (Unité de Recherche de Science du Sol d'Orléans PDF).
- 📌 [19] **Arabi, M., 1991.** Influence de quatre systèmes de production sur le ruissèlement et l'érosion en milieu méditerranéen à Médéa (Algérie). Thèse doctorat Université de Grenoble III. 273 p.

- ✚ [20] **Bouguerra, S.**, Quantification et Modélisation du transport solide dans un cours d'eau de l'Algérie Septentrionale : cas de Bassin Versant de l'oued Boumessaoud (Tlemcen) (Mémoire de Magister).
- ✚ [21] **Grangeon, T., 2012.** Etude multi échelle de la granulométrie des particules fines générées par érosion hydrique : apports pour la modélisation. Earth Sciences. Université de Grenoble, 2012, p 20-37.
- ✚ [22] **Benkhadra, H., 1997.** Battance, ruissellement et érosion diffuse sur les sols limoneux cultivés-Déterminisme et transfert d'échelle de la parcelle au petit bassin versant. Thèse de Doctorat de l'université d'Orléans (France).
- ✚ [23] **Poesen, J., 1985.** An improved splash transport model. Zeitschrift für geomorphologie, 29(2) :373-382, in **Bouanani, A.**, Transport Solide et Modélisation Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW-Algérie) (Thèse Doctorat). p 126.
- ✚ [24] **Laouina, A., 1998.** Dégradation des terres dans la région méditerranéenne du Maghreb. Bull. Réseau Erosion, 18, 33-53.
- ✚ [25] **Chebanni R. Djilli K. Roose E., 1997.** Etude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser (Tlemcen). 1ères journées d'étude sur les agricultures de montagne, Mascara, Algérie. (article).
- ✚ [26] **Bouanani, A., 2004.** Hydrologie, Transport solide et modélisation. Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW-Algérien). Thèse de Doctorat d'état, Univ. Tlemcen, 250 p.
- ✚ [27] **Govers G. Poesen J., 1998.** Field experiments on the transport of rock fragments by animal trampling on screed slopes. Geomorphology 23, pp. 193–203, in **Cravo Rios, M., 2010.** Cartographie des zones sensibles à l'érosion sur le bassin versant de la Vie, du Ligneron et du Jaunay. (Mémoire de fin d'études).
- ✚ [28] **CRAVO RIOS, M., 2010.** Cartographie des zones sensibles à l'érosion sur le bassin versant de la Vie, du Ligneron et du Jaunay. (Mémoire de fin d'études).
- ✚ [29] **Zainvé na. D, 2011.** Estimation des taux d'érosion et de sédimentation a l'aide des techniques isotopiques (CS¹³⁷) : cas de bassin versant de Moulay Bouchta, Rif occidental.
- [30] **Georges, Y., 2008.** Evaluation de l'érosion dans le bassin versant de la rivière grise (Haïti). Master en gestion des Risques Naturels - Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, Belgique.
- ✚ [31] **Sédimentation :** <http://www.bf.refer.org/toure/pageweb/erohydry.htm>.

-  [32] **Papy F. Douyer C., 1991.** Influence des états de surface du territoire agricole sur le déclenchement des inondations catastrophiques. *Agronomie* 11, p : 201-215, <http://dx.doi.org/10.1051/agro:19910306>
-  [33] **Boiffin J. Papy F. Eimberck M., 1988.** Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré : I. Analyse des conditions de déclenchement de l'érosion. *Agronomies* 8, p:663–673 <http://dx.doi.org/10.1051/agro>.
-  [34] **Boiffin J. Monnier G., 1986.** Infiltration rate as affected by soil surface crusting caused by rainfall. In: Caillebaud, F., Gabriels, D., De Boodt, M. (Eds.), *Assessment of Soil Surface Sealing and Crusting*. Flanders Research Center for Soil Erosion and Soil Conservation, Ghent, p. 210– 217, **in Sofia, H., 2010.** Modélisation du ruissellement et de l'érosion par le modèle STREAM dans le bassin versant de l'Oued Saboun. (Diplôme d'ingénieur). P 12.
-  [35] **Bresson L.M. Valentin C., 1994.** Soil surface crust formation: contribution of micro morphology. In: Ringrose-Voase, A., Humphreys, G. (Eds.), *Soil Micro morphology*. Elsevier, Amsterdam, p: 737– 762, **in Sofia, H., 2010.**
-  [36] **Armand, R., 2009.** Étude des états de surface du sol et de leur dynamique pour différentes pratiques de travail du sol. Mise au point d'un indicateur de ruissellement. Thèse de doctorat en Géographie. Université de Strasbourg.
-  [37] **Le Bissonnais Y. Cerdan O. Lecomte V. Benkhadra H. Souchère V. Martin P., 2005.** Variability of soil surface characteristics influencing runoff and interrill erosion. *Catena* 62, p : 111–124, **in Sofia, H., 2010**
-  [38] **Zobeck T.M., Onstad C.A., 1987.** Tillage and rainfall effects on random roughness: a review. *Soil and Tillage Research* 9, p: 1– 20, **in HADIR Sofia, 2010.**
-  [39] **Ludwig B. Boiffin J. Chadoeuf J. Auzet A.V., 1995.** Hydrological structure and erosion damage caused by concentrated flow in cultivated catchments. *Catena* 25, p: 227– 252. , **in HADIR Sofia, 2010.**
-  [40] **Colonbani J Olivry O., 1984.** Phénomènes exceptionnels d'érosion et de transport solide en Afrique aride et semi-aride. *IAHS*, 144: 295 300. <http://cat.inist.fr>.
-  [41] **Borst H L. Woodburd R., 1940.** Rain simulator studies of slop on erosion and runoff. *USDA, Soil conservation*, p : 30. **In HADIR Sofia, 2010.**
-  [42] **Wischmeier WH et Smith D D, 1978.** Predicting rainfall erosion losses. *A Guide to Conservation Planning*, Washington, USDA 537, 58 pp, **in HADIR Sofia, 2010.**
-  [43] **Rachman A. Anderson S H. Gantzer C J. ET Thompson A L., 2003.** Influence of longterm cropping systems on soil physical properties related to soil erodibility. *Soil Sci.*

Soc. Am. J., 67, 637-644, **in Bouguerra., S.** Quantification et Modélisation du transport solide dans un cours d'eau de l'Algérie Septentrionale : cas de Bassin Versant de l'oued Boumessaoud (Tlemcen) (Mémoire de Magister).

- 📌 [44] **Hug, M., 1975 in Bouanani, A.,** Transport Solide et Modélisation Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW-Algérie) (Thèse Doctorat).
- 📌 Ministre de l'industrie, de la poste et des Télécommunications, DRIRE Provence-Alpes-Côte d'Azur, 1996. Transport solide : modèles et condition d'application en région PACA. (Etude réalisée dans le cadre des actions de Services Public du BRGM 96A 118).
- 📌 [45] **OMM., 1994.** Acquisition et traitement des données, analyse, prévision et autres applications. Guide des pratiques hydrologiques, cinquième édition (OMM-N° 168), p183.
- 📌 [46] Ministère de l'Industrie, de la Poste et des Télécommunications, 1996. Transports solides : modèles et conditions d'application en région PACA (DRIRE Provence-Alpes-Côte D'azur. Etude réalisée dans le cadre des actions de service public du BRGM 96A 118).
- 📌 [47] **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.
- 📌 [48] **Bouchelkia, A., 2009,** Etude du transport solide dans un bassin versant et son impact sur l'envasement des barrages cas du bassin versant de Chélif-doctorat en Hydraulique, université de Tlemcen.
- 📌 [49] **Megnounif A. Terfous A. et Bouanani A., 2003.** Détermination des dégradations spécifiques dans Trois bassins versants des régions méditerranéennes Algériennes, Hydrology of die Mediterranean and Semiarid Regions (Proceedings of an internationals empoison held at Montpellier.Apri12003) JAH SPubl.no.278, **in Asnoui, F., 2014.** Etude du transport solide en suspension dans le Bassin Versant d'oued AL ABD. (Diplôme Master).
- 📌 [50] **Bouchelkia H. Belarbi F et Remini B., 2011.** Quantification du transport solide en suspension par Analyse statistique : cas du bassin versant de Mouillah, Revue Scientifique et Technique, LJEE N 19, **in Asnoui, F., 2014.**
- 📌 [51] **Megnounif A. Terfous A. Ghenaim J B. Poulet., 2004.** Rôle des crues dans la production de sédiments transportés en suspension dans un cours d'eau des bassins

versants méditerranéens, 7èmes Journées Nationales Génie Civil Côtier, Compiègne, **in Asnoui, F., 2014.**

- ✚ [52] **Achite M et Meddi M., 2004.** Estimation Du Transport Solide Dans Le Bassin-Versant De L'oued Haddad (Nord-Ouest Algérien), **in Asnoui F., 2014.**
- ✚ [53] **Achite M et Meddi M., 2005.** Variabilité spatio-temporelle des apports liquide et solide en zone semi-aride. Cas du bassin versant de l'oued Mina (Nord- Ouest Algérien), Revue des sciences de l'eau, Rev. Sci. Eau 18/spécial 37-56, **in Asnoui F., 2014.**
- ✚ [54] **Asnoui, F., 2014.** Etude du transport solide en suspension dans le Bassin Versant d'oued AL ABD. (Diplôme Master).
- ✚ [54] **Larfi B et Remini B., 2006, in Asnoui. F, 2014.** Etude du transport solide en suspension dans le Bassin Versant d'oued AL ABD. (Diplôme Master).
- ✚ [55] **Ghenim A. Seddini A. Terfous A., 2007.** Production et exportation des sédiments en suspension lors des événements de crue, cas du bassin versant de l'oued Mouilah, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 06, Décembre 2007, pp. 35-44.
- ✚ [56] **Mekerta B et al (2008), in Asnoui. F., 2014.** Etude du transport solide en suspension dans le Bassin Versant d'oued AL ABD. (Diplôme Master).
- ✚ [57] **EL Amine cherif. Errih M et Madani Cherif H.** Modélisation statistique du transport solide du bassin versant de l'Oued Mekerra (Algérie) en zone semi-aride méditerranéenne, Hydrological Sciences Journal Publication details, including instructions for authors and subscription information : <http://www.tandfonline.com>, **in Asnoui, F., 2014.**
- ✚ [58] **Touaibia I et Ghenim A., 2011.** Estimation du Biais de la modèle régressive puissance « Concentration - Débit » : Cas du Bassin versant du K'SOB, Revue Scientifique et Technique, LJEE N 19, **in Asnoui. F, 2014.**
- ✚ [59] **Hallouz F. Meddi M. Mahé G., 2009.** Relation débit liquide-transport de matières en suspension dans le bassin de l'Oued Mina, en amont du barrage Sidi M'Hamed Ben Aouad (Oued Cheliff), Nord-Ouest d'Algérie, **in Asnoui, F., 2014.**
- ✚ [60] <http://fbeaufieu.developpez.com/guide/> Un cours très complet, parfois même un peu trop, sur Pascal objet et Delphi.
- ✚ [61] **Glesener H. Hemmer J C. Mancini D. Wagner A., 2005.** Programmation avec DELPHI: Notes de cours. P 5.

Annexe :

Battance : C'est le caractère d'un sol tendant à se désagréger et à former une croûte en surface sous l'action de la pluie. La battance se traduit par le colmatage, souvent visible à l'œil nu, de la porosité de la partie superficielle du sol, qui s'oppose à l'infiltration de l'eau, à la circulation de l'air, et favorise l'érosion hydrique. La stagnation anormale d'eau, la présence d'une fine croûte sont des indices de battance.

Ruissellement : le ruissellement désigne le phénomène d'écoulement des eaux à la surface des sols.

Bassin versant : portion élémentaire de territoire délimitée par des lignes de crête, dont les eaux alimentent un exutoire commun.

Croûte de battance : croûte superficielle compacte formée par l'action des gouttes de pluie à la surface du sol. Elle réduit la capacité d'infiltration du sol et favorise ainsi le ruissellement.

Effet splash : déplacement local de fragments du sol sous l'impact des gouttes de pluie.

Erosivité : degré d'érosion des pluies et des vents.

Erodibilité : résistance à la battance des gouttes de pluie et à l'entaille du ruissellement entre les mottes dans les rigoles.

Intensité de la pluie : quantité d'eau de pluie par unité de temps (généralement exprimée en mm/h).

Matières organiques : matière formée par les êtres vivants (végétaux, animaux, micro-organismes) et par leur décomposition.

Rugosité : état de la surface du sol allant de rugueux à lisse. Dans une parcelle cultivée, elle dépend de la taille des mottes.

Structure du sol : arrangement des solides et des vides au sein du sol.

Stabilité structurale : capacité d'un sol/agrégat à conserver sa structure lorsqu'il est soumis à la pluie.

Texture du sol : proportion relative des différentes fractions granulométriques (sables, limons, argiles) d'un sol.

Turbidité : teneur en particules de sol en suspension dans l'eau.

Algorithme : Est une séquence bien définie d'opérations (calcul, manipulation de données, etc.) permettant d'accomplir une tâche en un nombre fini de pas.

Numero	Jour	Sept	oct	nov	Dec	Janv	Fev	mars	avril	mai	Juin	juil	aout	annuel
42952	Code station : 011702													
42953	Nom station : ARIBS-CHELIFF													
42954	Débits moyens mensuels m3/s													
42955	2000 – 2001	0	1,745	5,518	1,778	9,831	3,003	0,925	0,537	0,712	0,110	0,119	0	2,023
42956														
42957	2001 – 2002	0,382	0,8671	2,5899	1,397	1,243	0,728	0,405	0,096	0,211	0,007	0,0002	0	0,660
42958														
42959	2002 – 2003	0,022	0,065	1,353	2,649	7,376	9,319	5,389	1,993	0,302	0,127	0,026	0,017	2,387
42960														
42961	2003 – 2004	0,463	1,052	1,638	6,031	9,569	1,626	2,858	0,632	1,466	0,549	0,260	0,920	2,255
42962														
42963	2004 - 2005	0,679	1,078	1,891	1,823	1,777	3,697	3,094	0,527	0,010	0,012	0,053	0,397	1,253
42964														
42965	2005 - 2006	0	0,574	0,756	1,994		5,885	3,156	0,045	2,121	0,031	0	2,02E-05	1,324
42966														
42967	2006 - 2007	0,336	0,065	0,204	0,798	0,647	0,883	7,068	3,473	0,553	0	0	0	1,169
42968														
42969	2007 - 2008	1,389	1,001	5,011	1,772	2,150	0,623	1,353	0,150	0,138	0,111	0		1,245
42970														
42971	2008 - 2009	0,067	0,366	1,073	3,449	4,529	1,742	3,660	3,140	0,357	0,202	0,155	0,064	1,567
42940														
42941	2000 - 2001	0,00	1,75	5,52	1,78	9,83	3,00	0,92	0,54	0,71	0,11	0,00	2,02	