

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA

Faculté des Sciences de l'Ingénieur

Département de Génie Rural

MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Sciences de l'eau

LE DEVASEMENT DU BARRAGE DE FOUM EL GHARZA (W de
BISKRA) :

Impact sur l'irrigation des palmeraies de SIDI OKBA et SERIANA

Par

Ismail CHERFAOUI

Devant le jury composé de :

| | | |
|------------------|--------------------------------------|------------|
| M. BESSENASSE | Maître de conférences, U. de Blida | Président |
| A. SAAD HAMMOUDI | Professeur, U. de Chlef | Examineur |
| M. HABI | Maître de conférences, U. de Tlemcen | Examineur |
| B. Remini | Professeur, U. de Blida | Rapporteur |

Blida, Juillet 2008

RESUME

Destiné à l'irrigation de plus de 250000 palmiers dattiers de Sidi Okba et Seriana (850 Hectare), le barrage de Foum El Gherza est envasé à plus de 50% de sa capacité initiale et n'arrive pas à irriguer l'ensemble des palmiers. Face à ce problème épineux, les services hydrauliques (ANB) ont procédé au dévasement du barrage. Environ 8 millions de m³ de vase à draguer sont programmés ; une quantité énorme qui posera certainement un problème environnemental. Mais la récupération d'un volume de 8 millions de m³ d'eau qui va certainement influencer positivement sur l'irrigation des palmeraies. Dans cette étude nous examinons le processus de l'envasement et ses effets sur l'irrigation, ainsi, les techniques de dévasement de ce barrage surtout qu'on estime un apport d'envasement annuel plus de 600 000 m³.

Mots clés: Envasement, Dragage, Irrigation, Vase, Barrage, Foum El Gherza.

ملخص

مخزون سد فم الغرزة موجه لسقي أكثر من 250.000 نخلة بكل من سيدي عقبة و سريانه (850هكتار) ، لكن هذا الأخير يعاني من نسبة توحد كبيرة جدا تفوق 50 % من طاقته الإستيعابية، مما أدى إلى نقص واضح في كمية المياه المخزنة بالسد، حيث أصبحت كمية المياه المتوفرة لا تغطي متطلبات الري بالمنطقة ، هذا ما دفع بمصالح الري (ANB) إلى القيام بعملية استخراج الوحد من السد حيث قدرت الكمية المستخرجة بأكثر من 8 ملايين م³ من الوحد ، هذه الكمية الضخمة المستخرجة من السد لها أثرا سلبيا على المحيط البيئي ، لكن في المقابل استرجاع ما قيمته 8 ملايين م³ من المياه تنعكس بصورة ايجابية على القطاع الفلاحي خاصة زراعة النخيل. في هذه الدراسة قمنا بتشخيص ظاهرة التوحد و مدى تأثيرها على طاقة تخزين السد من المياه الموجهة للري، و كذا التقنيات المتبعة لاستخراج الوحد خاصة مع تسجيل نسبة توحد عالية جدا تقدر بأكثر من 600.000 م³ سنويا .

مفتاح الكلمات: توحد، استخراج الوحد، ري، وحد، سد، فم الغرزة.

ABSTRACT

Intended to the irrigation of more than 250000 palms darters of Sidi Okba and Seriana (850 Hectare), the dam of Foum El Gherza silted up to more of 50% of his initial capacity and didn't manage to irrigate the set of the palms. Facing this spiny problem, the hydraulic services (ANB) proceeded to the debasement silting of the dam. About 8 millions m³ of vase to sweep is programmed; an enormous quantity that will certainly pose an environmental problem. But the recuperation of a volume of 8 millions of water m³ that is going to influence certainly positively on the irrigation of the palm groves. In this survey we examine the process of the silting up and his effects on the irrigation, so, the techniques of debasement silting this dam especially as one estimates a yearly silting up contribution more than 600 000 m³.

Key words: Silting up, dredging, Irrigation, Vase, Dam, Foum El gherza.

REMERCIEMENT

En premier lieu je tiens à remercier le dieu qui m'a donné le courage pour compléter ce modeste travail.

Je voudrais tout d'abord remercier :

- Mon directeur de mémoire, Mr. Pr Remini Boualem, maître de conférences à l'université de Blida, Algérie, pour ces conseils, ces orientations et leur soutien scientifique pendant la réalisation de ce travail. Je tiens à le remercier notamment pour son soutien moral.

- Membres de jury pour m'avoir honoré de leur présence, en particulier Mr. Mohamed Bessenasse, maître de conférences à l'université de Blida, qui m'a fait l'honneur d'être président de jury.

- Mr. Pr SAAD HAMMOUDI Abdel- Amir, maître de conférences à l'université de Chlef, qui nous fait honneur d'être parmi les membres de jury.

- Mr. Mohamed Habi, maître de conférences à l'université de Tlemcen, qui a également accepté d'évaluer ce travail.

Je tiens à exprimer mes très vifs remerciements à tous mes enseignants de la filière génie rurale de la Faculté des Sciences auxquels je dois beaucoup pour ma formation en sciences de l'eau. Je remercie particulièrement Monsieur Bensafia.

Mes vifs remerciements sont adressés aussi à monsieur Hamzaoui Dris, et ses collaborateurs de l'Agence Nationale des Barrages chargés de la gestion du barrage de Foug El Gherza pour leur disponibilité.

Par crainte d'avoir oublié quelqu'un, que tous ceux et toutes celles dont je suis redevable se voient ici vivement remerciés. Je suis redevable à mes parents, mes frères et sœurs, mes oncles et tantes, mes cousins et cousines, que chacun se sente ici vivement remercié pour son amour et son soutien.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, à tous ceux qui m'ont encadré, à tous ceux qui m'ont encouragé, à tous ceux qui m'ont accordé leur confiance, à tous ceux qui m'ont montré leur intérêt, à vous tous MERCI !!

TABLE DES MATIERS

| | |
|--|----|
| RESUME..... | |
| REMERCIEMENTS..... | |
| TABLE DES MATIERS..... | |
| LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX..... | |
| INTRODUCTION..... | 16 |
| CHAPITRE 1. PLUIES ET CRUES DANS LE BASSIN VERSANT D’OUED EL ABIOD..... | 18 |
| 1.1. Aperçu géomorphologique..... | 18 |
| 1.1.1. Introduction..... | 18 |
| 1.1.2. Limites géomorphologiques..... | 18 |
| 1.1.3. Caractéristiques morphométriques du bassin versant..... | 21 |
| 1.1.3.1. Introduction..... | 21 |
| 1.1.3.2. Aperçu topographique du bassin versant d’oued l’Abiod..... | 21 |
| 1.1.3.2.1. Les reliefs..... | 21 |
| 1.1.3.2.2. Les altitudes..... | 21 |
| 1.1.3.2.3. L'exposition..... | 21 |
| 1.1.3.3. Les caractéristiques de forme..... | 22 |
| 1.1.3.3.1. La superficie..... | 22 |
| 1.1.3.3.2. Surface (A)..... | 22 |
| 1.1.3.3.3. Périmètre (P)..... | 22 |
| 1.1.3.3.4. L'indice de compacité (Kc)..... | 22 |
| 1.1.3.3.5. Le rectangle équivalent..... | 22 |
| 1.1.3.4. Le relief..... | 23 |

| | |
|---|----|
| 1.1.3.4.1. La courbe hypsométrique | 23 |
| 1.1.3.4.2. Les altitudes caractéristiques | 25 |
| 1.1.3.4.3. Pente moyenne de B.V | 26 |
| 1.1.3.4.4. L'indice de pente "Ip" de "Roche" | 26 |
| 1.1.3.4.5. L'indice de pente globale "Ig" | 26 |
| 1.1.3.4.6. La différence d'altitude spécifique "Ds" | 27 |
| 1.1.3.4.7. Le réseau hydrographique | 27 |
| 1.1.3.5. Topologie | 29 |
| 1.1.3.5.1. La densité de drainage "Dd" | 29 |
| 1.1.3.5.2. La densité de drainage élémentaire "F" | 30 |
| 1.1.3.5.3. Le coefficient de Torrentialité « Ct » | 30 |
| 1.1.3.5.4. Le temps de concentration « Tc » | 30 |
| 1.1.4. La végétation et l'occupation du sol | 32 |
| 1.1.4.1. La répartition de la couverture végétale | 32 |
| 1.1.4.1.1. Le couvert forestier | 32 |
| 1.1.4.1.2. Les différents types de couvert végétal | 33 |
| 1.1.4.1.3. Les parcours | 33 |
| 1.1.4.1.4. Les terres improductives | 33 |
| 1.1.4.1.5. Les cultures | 34 |
| 1.1.5. Conclusion | 36 |
| 1.2. Aperçu géologique | 36 |
| 1.2.1. Cénomanién | 36 |
| 1.2.2. Turonien | 37 |
| 1.2.3. Sénonien et Danién | 37 |
| 1.2.4. Le nummulitique | 37 |
| 1.2.5. Eocène inférieur et moyen | 37 |
| 1.2.6. Eocène supérieur et Oligocène | 38 |
| 1.2.7. Miocène inférieur | 38 |
| 1.2.8. Miocène supérieur | 38 |
| 1.2.9. Tectonique | 39 |
| 1.2.9.1. Le synclinal de Ghassira | 39 |
| 1.3. Aperçu climatologique | 42 |
| 1.3.1. Etude des précipitations | 42 |

| | |
|---|----|
| 1.3.1.1. Réseau pluviométrique | 42 |
| 1.3.1.2. Précipitation moyennes mensuelles | 43 |
| 1.3.1.3. Précipitation moyenne annuelle..... | 45 |
| 1.3.1.4. Estimation des précipitations moyennes annuelles | 49 |
| 1.3.1.4.1. Méthode arithmétique..... | 49 |
| 1.3.2. Température..... | 50 |
| 1.3.3. Les vents | 50 |
| 1.3.4. L'Humidité | 52 |
| 1.3.5. L'Evaporation..... | 52 |
| 1.3.6. Evapotranspiration | 53 |
| 1.3.7. Etude des crues | 53 |
| 1.3.7.1. Données disponibles | 53 |
| 1.3.7.1.1. Données historiques | 54 |
| 1.3.7.1.2. Station de M'Chounech | 54 |
| 1.3.7.1.3. Relevés au barrage de Foug El Gherza | 55 |
| 1.3.7.2. Hydrogrammes et forme des crues | 56 |
| 1.3.7.2.1. Données de l'ANRH | 56 |
| 1.3.7.2.2. Reconstitution des crues au barrage de Foug El Gherza | 59 |
| 1.4. Conclusion | 61 |
| | |
| CHAPITRE 2. Erosion et Transport Solide dans le bassin versant d'Oued El Abiod..... | 62 |
| | |
| 2.1. Aperçu bibliographique | 62 |
| 2.1.1. Introduction | 62 |
| 2.1.2. Généralités | 62 |
| 2.1.3. Les principaux agents de l'érosion hydrique | 63 |
| 2.1.3.1. Intensité et agressivité des précipitations | 63 |
| 2.1.3.2. Le ruissellement | 64 |
| 2.1.3.3. Etat hydrique initial | 67 |
| 2.1.4. Formes de manifestation de l'érosion hydrique | 67 |
| 2.1.4.1. Erosion en nappe..... | 67 |
| 2.1.4.2. Erosion linéaire..... | 67 |
| 2.1.5. Quantification de l'érosion hydrique | 68 |

| | |
|--|----|
| 2.1.5.1. Formule de Wischmeier et Smith (1978) | 69 |
| 2.1.5.2. Formule de Fournier (1960) | 69 |
| 2.1.5.3. Formule de Tixeront (1960) | 69 |
| 2.1.5.4. Formule de la Sogreah | 69 |
| 2.1.6. Le transport solide | 70 |
| 2.1.6.1. Le transport solide par charriage | 72 |
| 2.1.6.2. Le transport solide en suspension | 74 |
| 2.1.6.2.1. Technique de prélèvement pour la mesure du transport solide en suspension | 76 |
| 2.1.6.2.2. Procédé de mesure des matériaux en suspension | 76 |
| 2.1.6.2.3. Evolution des débits solides en fonction des débits liquides | 79 |
| 2.2. Aspect semi quantitatif de l'érosion | 80 |
| 2.2.1. Formule de Fournier | 80 |
| 2.2.2. Formule de TEXERONT..... | 80 |
| 2.2.2.1. Calcul de la lame d'eau écoulee sur l'ensemble du Bassin Versant | 81 |
| 2.2.3. Conclusion | 81 |
| 2.3. Transport solide en suspension dans le bassin versant d'Oued El Abiod | 82 |
| 2.3.1. Variation annuelle de l'écoulement..... | 82 |
| 2.3.2. Détermination des débits solides en suspensions | 85 |
| 2.4. Conclusion | 87 |

CHAPITRE 3. ENVASEMENT DE LA RETENUE DU BARRAGE DE FOUM EL

| | |
|---|----|
| GHERZA..... | 88 |
| 3.1. Introduction | 88 |
| 3.2. Les principaux facteurs dont dépendent les apports solides d'un bassin versant | 88 |
| 3.3. Conséquences de la sédimentation | 89 |
| 3.3.1. Réduction de la capacité | 89 |
| 3.3.2. Erosion des berges | 89 |
| 3.3.3. Blocage des organes de vidange | 89 |
| 3.3.4. Sécurité de l'ouvrage | 90 |
| 3.3.5. Dégradation de la qualité de l'eau | 90 |
| 3.3.6. Sédimentation dans les canaux d'irrigation | 90 |
| 3.4. Dépôts solides | 90 |
| 3.4.1. Taux de rétention | 91 |

| | |
|--|-----|
| 3.4.2. Modes et facteurs de répartition des dépôts | 91 |
| 3.4.3. Prévision des taux de consolidation des dépôts solides | 93 |
| 3.4.3.1. Les facteurs influant sur la masse volumique | 93 |
| 3.4.3.2. Les relations empiriques de la masse volumique moyenne | 94 |
| 3.4.4. Les courants de turbidité ou de densité | 97 |
| 3.5. Présentation du barrage de Foum el Gherza..... | 99 |
| 3.5.1. Historique du barrage | 99 |
| 3.5.2. Caractéristiques techniques | 102 |
| 3.5.2.1. Géométrie | 102 |
| 3.5.2.2. Retenue et bassin versant | 102 |
| 3.5.2.3. Destination | 103 |
| 3.5.2.4. Ouvrages annexes | 103 |
| 3.5.2.4.1. L'évacuateur des crues | 103 |
| 3.5.2.4.2. La vidange de fond | 103 |
| 3.5.2.4.3. La prise d'eau | 104 |
| 3.5.2.4.4. La conduite forcée | 104 |
| 3.6. Etat actuel de l'envasement du barrage du Foum el Gherza..... | 104 |
| 3.6.1. Méthodologie de réalisation d'un levé bathymétrique | 105 |
| 3.6.1.1. Gamme de travaux à exécuter | 105 |
| 3.6.1.2. Analyse des données fournis par les lèves bathymétriques..... | 105 |
| 3.6.2. Capacité de la retenue et envasement | 106 |
| 3.6.2.1. Evolution de la capacité de la retenue en fonction du temps | 106 |
| 3.6.2.2. Situation actuelle | 107 |
| 3.6.2.3. Evolution de l'envasement en fonction du temps..... | 108 |
| 3.6.2.4. Evolution de dépôts de vase suivant la profondeur..... | 111 |
| 3.7. Conclusion | 113 |
| | |
| CHAPITRE 4. DEVASUREMENT DU BARRAGE DE FOUM EL GHERZA..... | 114 |
| | |
| 4.1. Introduction | 114 |
| 4.2. Moyens de lutte contre l'envasement | 114 |
| 4.2.1. Mesures préventives | 115 |
| 4.2.2. Solution adéquate pour le problème de l'envasement | 115 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.2.1. Traversée des retenues par les apports solides | 116 |
| 4.2.2.1.1. Chasses des dépôts | 116 |
| 4.2.2.2. Evacuation des dépôts par les courants de densité | 117 |
| 4.3. Les techniques de dévasement d'un barrage | 117 |
| 4.3.1. Le soutirage | 117 |
| 4.3.2. Le dragage | 122 |
| 4.4. Le dévasement du barrage de Foum EL Gherza | 123 |
| 4.4.1. Le soutirage | 123 |
| 4.4.1.1. L'évolution de l'envasement de la partie basse de la retenue du barrage | 123 |
| 4.4.2. Le dragage | 126 |
| 4.4.2.1. Caractéristiques granulométriques de la vase du barrage | 126 |
| 4.4.2.2. Compagnes de dragage du barrage | 126 |
| 4.4.2.3. Rejet des sédiments | 129 |
| | |
| CONCLUSION | 130 |
| | |
| APPENDICE..... | 132 |
| | |
| REFERENCES..... | 143 |

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

| | | |
|-------------|---|----|
| Figure 1.1 | Situation géographique du Bassin versant de l'oued El Abiod | 19 |
| Figure 1.1 | Le Bassin versant de l'oued Abiod | 20 |
| Figure 1.3 | La Courbe hypsométrique du Bassin Versant d'Oued l'Abiod | 24 |
| Figure 1.4 | Le Rectangle équivalent du bassin versant | 25 |
| Figure 1.5 | Le réseau hydrographique du B.V | 28 |
| Figure 1.6 | Carte d'utilisation et des formations végétales du B.V | 35 |
| Figure 1.7 | Carte géologique du bassin versant | 40 |
| Figure 1.8 | Coupes géologiques | 41 |
| Figure 1.9 | Stations pluviométriques | 42 |
| Figure 1.10 | Répartition des précipitations moyennes mensuelles | 45 |
| Figure 1.11 | Répartition des précipitations moyennes annuelles de la station de médina (1969 – 2004) | 47 |
| Figure 1.12 | Répartition des précipitations moyennes annuelles de la station de TKOUT (1969 – 2004) | 47 |
| Figure 1.13 | Répartition des précipitations moyennes annuelles de la station de TEFELFEL (1974 – 1992) | 48 |
| Figure 1.14 | Répartition des précipitations moyennes annuelles de la station de FOUM EL GHERZA (1971 – 1997) | 48 |
| Figure 1.15 | Crue du 21 septembre 1989 | 57 |
| Figure 1.16 | Crue du 3 et 4 septembre 1979 | 57 |
| Figure 1.17 | Crue du 22 octobre 1984 | 58 |
| Figure 1.18 | Crue du 31 octobre 1982 | 58 |
| Figure 1.19 | Crue du 29 et 30 mars 2004 | 59 |
| Figure 1.20 | Crue du 15 et 16 avril 2004 | 60 |
| Figure 2.1 | Diagramme de Hjulstrom (Boulvain, 2004) | 71 |
| Figure 2.2 | Transport par charriage | 72 |
| Figure 2.3 | Critères de suspension (Van Rijn, 1984) | 75 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figure 2.4 | Section de mesure | 77 |
| Figure 2.5 | Epure des débits solides élémentaires (Verticale A) | 77 |
| Figure 2.6 | Epure du débit solide | 78 |
| Figure 2.7 | Variation annuelle des apports liquides (station de M'CHOUNECHÉ) | 83 |
| Figure 2.8 | Variation de débit moyen annuel | 85 |
| Figure 2.9 | Variation annuel de débit solide | 87 |
| | | |
| Figure 3.1 | Influence de la vitesse sur la répartition des dépôts | 92 |
| Figure 3.2 | Comportement des sédiments fins dans la retenue | 98 |
| Figure 3.3 | Ecoulement d'un courant de densité | 98 |
| Figure 3.4 | Barrage de Foum El Gherza | 101 |
| Figure 3.5 | Evolution de la capacité de la retenue en fonction du temps | 107 |
| Figure 3.6 | Courbe hauteur capacité de la retenue en janvier 2004 | 108 |
| Figure 3.7 | Evolution de l'envasement en fonction du temps | 109 |
| Figure 3.8 | Loi de l'envasement en fonction du temps | 110 |
| Figure 3.9 | Evolution de l'envasement en fonction de la profondeur | 112 |
| Figure 3.10 | Evolution de l'envasement en fonction de la profondeur | 112 |
| | | |
| Figure 4.2 | Méthode de chasse des sédiments par la vidange du fond | 104 |
| Figure 4.2 | Début de l'ouverture des vannes | 106 |
| Figure 4. | La pratique d'un bon soutirage | 107 |
| Figure 4.4 | La pratique d'un mauvais soutirage | 108 |
| Figure 4.5 | Répartition des sédiments dans une retenue plusieurs périodes d'exploitation | 111 |
| Figure 4.6 | Evolution de l'envasement de la partie basse de la retenue du barrage de FOUM EL GHERZA sur plusieurs périodes d'exploitation | 113 |
| Figure 4.7 | Quantités de sédiments dévasées au niveau du barrage de FOUM EL GHERZA | 115 |
| Figure 4.8 | Le dévasement du barrage de FOUM EL GHERZA (2005. 2006) | 115 |
| Figure 4.9 | Evolution de l'envasement la retenue du barrage de FOUM EL GHERZA en fonction du temps | 116 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| Figure 4.10 | Dragueuses suceuse refouleuse au cours de dragage du barrage de FOUM EL GHERZA | 116 |
| Figure 4.11 | Rejet de la vase dans les bassins de décantation | 117 |
| Tableau 1.1 | Les caractéristiques physiques du bassin versant de l'Oued Abiod | 23 |
| Tableau 1.2 | La répartition des surfaces partiales de Bassin Versant en fonction des tranches d'altitudes | 24 |
| Tableau 1.3 | Classification d'O.R.S.T.O.M | 27 |
| Tableau 1.4 | Les nombres et les longueurs du bassin versant O.A | 29 |
| Tableau 1.5 | Caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant Oued l'Abiod. | 31 |
| Tableau 1.6 | Caractéristiques des stations pluviométriques | 43 |
| Tableau 1.7 | Précipitations moyennes mensuelles des trois stations pluviométriques Foum el gherza (1960 – 2005), T'Kout (1969 – 2004), Tefelfel (1972 – 1998 | 44 |
| Tableau 1.8 | Précipitation annuelle station médina (1969 – 2004) | 46 |
| Tableau 1.9 | Précipitation annuelle station TKOUT (1969 – 2004) | 46 |
| Tableau 1.10 | Précipitation annuelle station TEFELFEL (1974 – 1992) | 46 |
| Tableau 1.11 | Précipitation annuelle station FOUM EL GHERZA (1971 – 1997) | 46 |
| Tableau 1.12 | Représentation des précipitations dans toutes les stations concernées | 49 |
| Tableau 1.13 | Températures moyennes mensuelles(c°) | 50 |
| Tableau 1.14 | Mesure des vitesses de vents | 51 |
| Tableau 1.15 | Humidité relative en % de Batna (zone de montagne) et Biskra (zone saharienne) | 52 |
| Tableau 1.16 | Evaporation moyenne mensuelle des deux stations Biskra – Batna | 52 |
| Tableau 1.17 | Les résultats calculés par la formule de TURK (mm) | 53 |
| Tableau 1.18 | Données disponibles à la station hydrométrique de M'Chounech | 55 |
| Tableau 2.1 | Valeurs de α pour différentes perméabilités | 70 |
| Tableau 2.2 | Résumés des résultats calculés par Fournier | 80 |
| Tableau 2.3 | Les apports liquides et les débits moyens annuels à la station de M'Chouneche (Source L'ANRAH) | 82 |
| Tableau 2.4 | Le coefficient d'hydraulicité | 84 |
| Tableau 2.5 | Transport solide en suspension par (1000T) | 86 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Tableau 3.1 | Classification des sédiments selon leurs tailles | 94 |
| Tableau 3.2 | Modes d'exploitation des retenues | 95 |
| Tableau 3.3 | Coefficient de l'équation (III.3) | 96 |
| Tableau 3.4 | La constante K en fonction du mode d'exploitation et de la granulométrie | 96 |
| Tableau 3.5 | Répartition des débits et des surfaces d'irrigation | 103 |
| Tableau 3.6 | Résultats des levés bathymétriques effectués au barrage de Foum EL Gherza | 106 |
| Tableau 3.7 | Volume de vase pour différents périodes d'exploitation | 109 |
| Tableau 3.8 | Hauteur et Volume de vase pour différents périodes d'exploitation | 111 |
| Tableau 4.1 | Composition granulométrique de la vase du barrage de Foum El Gherza | 114 |
| Tableau 4.2 | Résultats des travaux de dragage | 114 |

INTRODUCTION

L'eau est un élément vital qui ne cessent de se rarifié ces dernières années à cause de plusieurs facteurs dont le changement climatique et la principale cause. Ce dernier à engendrer une persistance de la sècheresse sur longue durée dans les pays arides.

L'Algérie est un pays semi aride qui a été touché par ce phénomène pendant une dizaine d'années, l'approvisionnement en eau est devenu une priorité pour assuré un développement durable.

En effet le transport solide dans les réseaux hydrographiques des bassins versants et leur dépôt dans les retenues pose aux exploitants des barrages des problèmes dont la résolution ne peut qu'être onéreuse. Non seulement la capacité utile et progressivement réduite au fur et à mesure que les sédiments se déposent dans la retenue mais encore l'enlèvement de la vase qu'est une opération délicate et difficile qui exige bien souvent que la retenue soit hors service. Ce qu'est pratiquement impossible dans les pays aride et semi aride.

A cet égard nous avons pris comme thèse l'étude de dévasement du barrage de FOUM EL GHERZA : impact sur l'irrigation des palmeraies de SERIANA et SIDI OKBA. Ce travail est une contribution à l'étude globale de l'envasement du barrage, un barrage qui a été mis en eau en 1950, et qu'est envasé actuellement à plus de 68%. Ce dernier est considéré comme le cœur battant de développement de la région en matière d'irrigation des palmeraies et dont les conditions climatiques ne permettent pas l'exploitation des terres sans un système d'irrigation adéquat. Donc le dévasement de ce dernier est une nécessité absolue et urgente surtout qu'on estime un apport d'envasement annuel de plus de 600 000 m³.

Dans une optique de développement durable, l'étude présentée met en évidence les difficultés de la lutte contre l'envasement de la retenue. Notre recherche vise principalement la récupération des volumes utiles de stockage du barrage perdus par envasement.

En effet nous allons étudier les caractéristiques hydromorphologiques du bassin versant. Ces derniers vont nous orienter aux solutions qui peuvent être envisagées pour lutter contre l'envasement du barrage, ainsi l'optimisation des procédés de dévasement afin d'atteindre les meilleurs résultats.

Enfin nous allons discuter le soutirage et les travaux de dragage effectués dernièrement au niveau du barrage pour pouvoir prévenir un autre programme de dévasement dans le proche avenir.

CHAPITRE 1

PLUIES ET CRUES DANS LE BASSIN VERSANT D'OUED EL ABIOD

1.1. Aperçu géomorphologique

1.1.1. Introduction

Afin de pouvoir mettre en relation les précipitations et les débits d'un cours d'eau, il est nécessaire de délimiter les surfaces qui contribuent à alimenter l'écoulement de ce cours d'eau. L'ensemble de ces surfaces constitue le bassin versant. Sa délimitation se base sur la topographie, le bassin versant regroupe alors toutes les surfaces qui, par ruissellement superficiel, contribuent à l'écoulement au niveau de la section de rivière considérée.

1.1.2. Limites géomorphologiques

Le bassin versant de l'oued l'Abiod est situé dans le versant sud de la partie orientale de l'Atlas Saharien, d'après le découpage hydrographique, en vigueur en Algérie ce bassin versant est annexé au bassin hydrologique de chott Melghir, l'oued l'Abiod prend sa source dans le massif des Aurès (monts Chélia).

Le terrain d'étude est situé à 60 Km au sud-est de la wilaya de Batna, il englobe six communes et trois daïra s'étendant de la wilaya de Khenchela (nord-est) jusqu'à la wilaya de Biskra (sud-ouest).

La partie sud est formée par deux communes, T'Kout et Ghassira.

La partie centrale : englobe les communes de Tighanimine et d'Arris.

La partie Nord est également constituée de deux communes, Ichemoul et Inoughissene.



Source : Microsoft Encarta. Atlas Mondial 2004

Figure 1.1 : Situation géographique du Bassin versant de l'oued El Abiod.

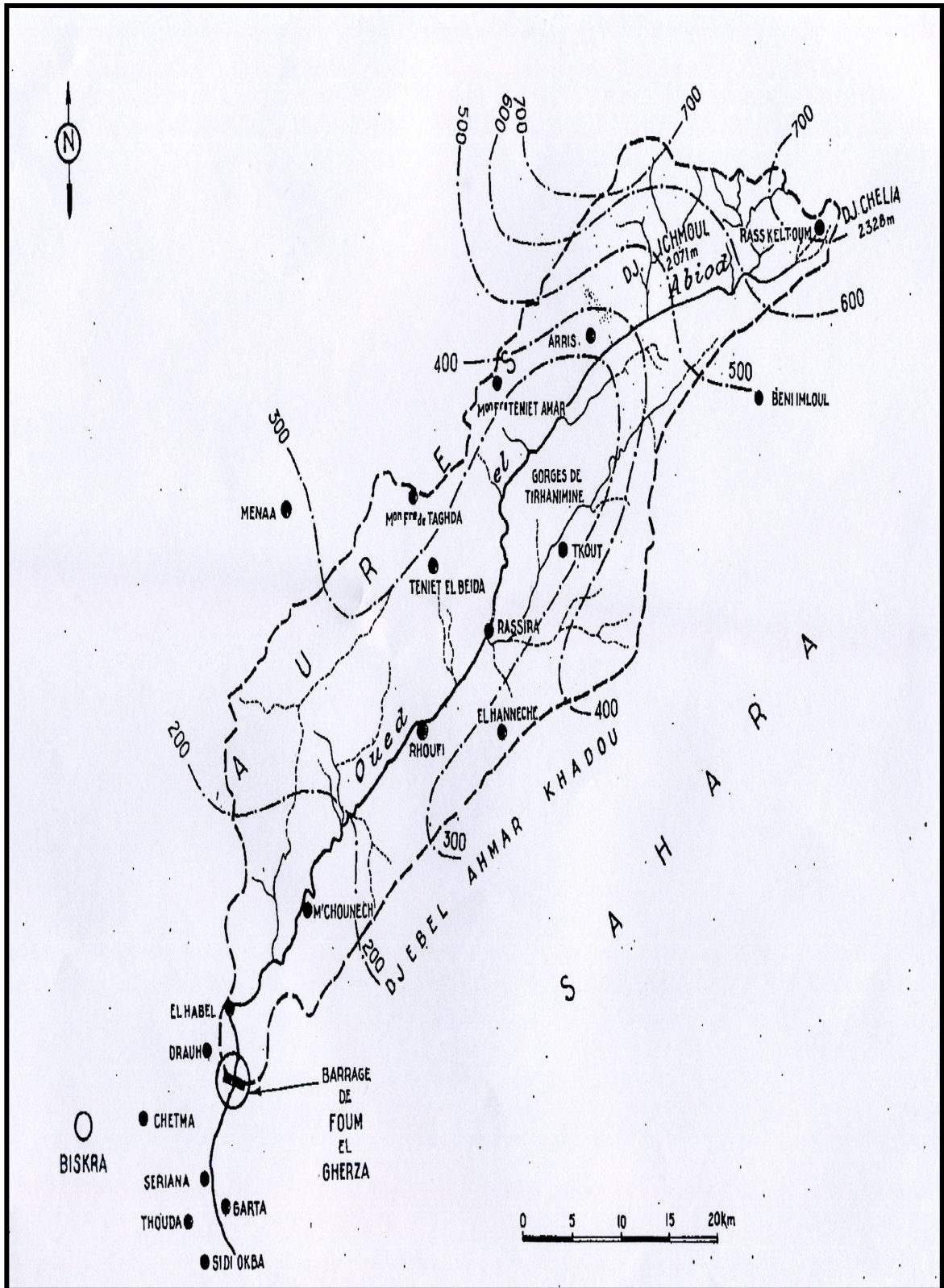


Figure 1.2 : Le Bassin versant de l'oued Abiod.

1.1.3. Caractéristiques morphométriques du bassin versant

1.1.3.1. Introduction

Les paramètres morphométriques jouent un rôle prépondérant dans la répartition des eaux à l'échelle d'un bassin versant et influent fortement ses caractéristiques hydrologiques et notamment le régime de l'écoulement en période de crue.

1.1.3.2. Aperçu topographique du bassin versant d'oued l'Abiod

Le bassin versant est défini topographiquement par la surface délimitée et par la ligne des partages des eaux qui passe par les lignes des crêtes et des lignes des plus grandes pentes, autrement dit, c'est la surface drainée par un cour d'eau et ses affluents, en amont d'une section donnée, par conséquent tout écoulement se manifestant à l'intérieur de cette surface doit forcément traverser la section normale considérée et s'écouler vers l'aval jusqu'à l'exutoire.

1.1.3.2.1. Les reliefs

Les hydrologues caractérisent le relief par un indice global qui sera calculé après avoir décrit plus précisément le relief. Il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains l'infiltration et l'évaporation, c'est deux éléments essentiels dans le comportement hydrologique d'un bassin versant.

1.1.3.2.2. Les altitudes

Se référant aux cartes topographiques suivantes :

- Batna, Barika, Biskra, Zribet el oued avec un échelle de 1/200000 on a déterminé les catégories d'altitudes qui comprises entre la catégorie base 150 m et la catégorie haute 2000 m.
- L'altitude maximale se trouve dans la zone montagneuse du Bassin versant cette altitude s'élève à 2 328 m (Dj Chélia).

1.1.3.2.3. L'exposition

À partir d'une coupe topographique, le bassin versant de l'oued l'abiod présente une exposition dominant nord est (Dj Zellatou), sud ouest (DJ. Taghnechirt).

1.1.3.3. Les caractéristiques de forme

1.1.3.3.1. La superficie

Le bassin versant étant l'aire des réceptions des précipitations et l'alimentation des cours d'eau, les débits sont en partie liés à la surface.

1.1.3.3.2. Surface (A)

Le calcul de la surface est fait par un planimètre sur des cartes topographiques au 1/200000 nous avons trouvée : $A = 1300 \text{ km}^2$.

1.1.3.3.3. Périmètre (P)

Le périmètre du bassin a été mesuré à l'aide d'un curvimètre sur des carte topographiques au 1/200000 est de : $P = 206 \text{ km}$.

1.1.3.3.4. L'indice de compacité (Kc)

L'indice de compacité de gravilus "Kc", est défini comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre ayant la même surface :

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \Rightarrow Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \Rightarrow Kc = 0.28 \frac{206}{\sqrt{1300}}$$

donc : $Kc = 1.59 \approx 1.6$ (1.1)

A : surface du B.V (km²)

P : périmètre du B.V (km)

Dans notre cas, sa valeur est de l'ordre 1.59 plus l'indices de compacité s'approche de 1 plus le B.V aura une forme ramassé, en partant de cette remarque, la forme du bassin étudié est une forme allongée donc la densité de drainage est faible.

1.1.3.3.5. Le rectangle équivalent

Il s'agit d'une transformation géométrique dans laquelle le contour du bassin versant devient un rectangle de même périmètre et de même surface et les courbes de

niveau des droites parallèles aux petits côtés du rectangle et l'exutoire un des petits côtés de rectangles :

- Même périmètre $P = 2(L + I)$
- Même surface : $A = L \cdot I$
- Même coefficient de compacité : $Kc = 1.59$

Donc :

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{(1.12)^2}{Kc}} \right] \Rightarrow L = 88.27 \text{ Km} \dots\dots\dots (1.2)$$

$$I = \frac{A}{88.27} \Rightarrow I = 14.72 \text{ Km}$$

Tableau 1.1 : Les caractéristiques physiques du bassin versant de l'Oued Abiod.

| Bassin versant | Longueur (Km) | largeur (Km) | Surface (Km ²) | périmètre (Km) | Kc |
|----------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------|-----|
| Oued l'Abiod | 88,27 | 14,72 | 1300 | 206 | 1,6 |

Les indices de compacité de Gravilius Kc sont supérieurs à 1 et les longueurs sont plus grandes que les largeurs, ceci confirme assez bien l'allongement du bassin versant.

1.1.3.4. Le relief

L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres Hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitation, température,..) et la morphologie du bassin influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices au caractéristique suivantes :

1.1.3.4.1. La courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, cette courbe repose sur la répartition de la surface du B.V en fonction de son altitude, dans notre cas nous avons choisie des tranches de 200 m ou nous avons déduits les résultats suivants :

Tableau 1.2 : La répartition des surfaces partiales de Bassin Versant en fonction des tranches d'altitudes.

| Tranche d'altitude m | Surface (ai) km ² | Surface cumulée Km ² | Surface% | Surface cumulée% |
|----------------------|------------------------------|---------------------------------|----------|------------------|
| > 2000 | 1 | 1 | 0.08 | 0.08 |
| 2000 – 1800 | 25 | 26 | 1.92 | 2.00 |
| 1800 – 1600 | 142 | 168 | 10.92 | 12.93 |
| 1600 – 1400 | 214 | 382 | 16.46 | 29.39 |
| 1400 – 1200 | 210 | 592 | 16.15 | 45.54 |
| 1200 – 1000 | 170 | 762 | 13.08 | 58.62 |
| 1000 – 800 | 116 | 878 | 8.92 | 67.54 |
| 800 – 600 | 100 | 978 | 7.69 | 75.23 |
| 600 – 400 | 88 | 1066 | 6.77 | 82.00 |
| 400 – 200 | 104 | 1170 | 8.00 | 90.00 |
| <200 | 130 | 1300 | 10.00 | 100.00 |

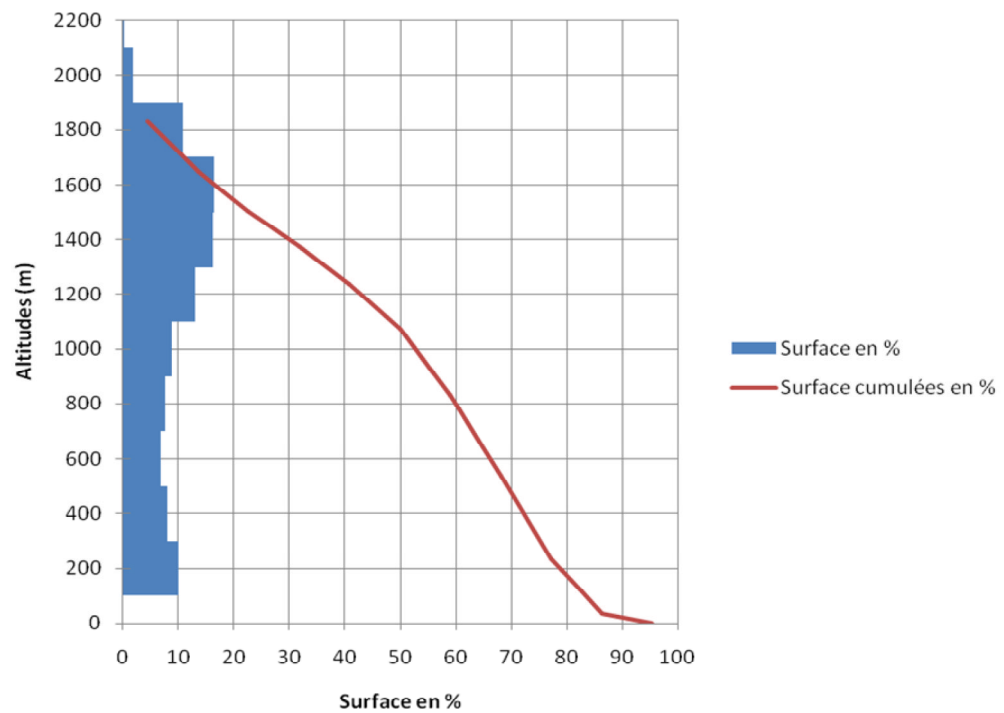


Figure 1.3 : La Courbe hypsométrique du Bassin Versant d'Oued l'Abiod.

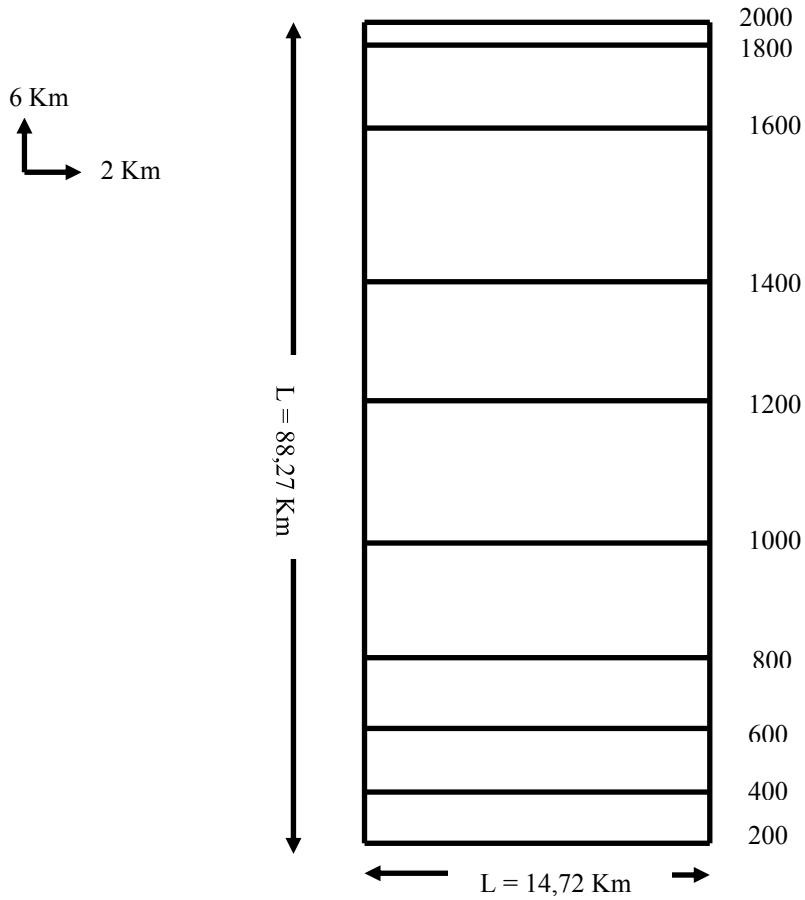


Figure 1.4 : Le Rectangle équivalent du bassin versant.

1.1.3.4.2. Les altitudes caractéristiques

- a. L'altitude médiane : elle correspond à l'altitude liée au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin sur la courbe hypsométrique. $H_{50\%} = 1170 \text{ m}$
- b. L'altitude maximale : $H(\text{max}) = 2328 \text{ m}$
- c. L'altitude minimale : $H(\text{min}) = 150 \text{ m}$
- d. L'altitude moyenne : $H(\text{Moy}) = 1081.26\text{m}$

On peut la définir comme suit :

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum aidi}{A} = \frac{1405.63}{1300} = 1081.26\text{m} \dots\dots\dots (1.3)$$

d_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau en (m)

a_i : aire comprise entre deux courbes de niveau (km²).

1.1.3.4.3. Pente moyenne de B.V

La pente moyenne du B.V doit être calculée par l'équation suivante :

$$I = \frac{H_{moy} - H_{min}}{\sqrt{A}} \Rightarrow I = 25.82\% \dots \dots \dots (1.4)$$

La valeur de la pente moyenne de notre bassin est très importante cette valeur agit sur plusieurs facteurs :

- * Le régime d'écoulement
- * L'allure de l'hydrogramme unitaire de la crue.
- * Transport solide.

1.1.3.4.4. L'indice de pente "Ip" de "Roche"

L'indice de pente se détermine à partir de la connaissance de la répartition hypsométrique sur la bassin :

$$I_p = \frac{1}{L} \sum \sqrt{a_i d_i} \Rightarrow I_p = 1.075 \dots \dots \dots (1.5)$$

D_i : dénivelé entre deux courbes voisines (m).

A_i : la surface (%).

L : longueur de rectangle équivalent.

1.1.3.4.5. L'indice de pente globale "Ig"

C'est le rapport de dénivelé entre l'altitude dépassé par 5% de la superficie du bassin et celle dépassé par 95% de la superficie à la longueur du rectangle équivalent, cet indice présente un avantage plus que l'indice de pente :

$$I_g = \frac{D}{L} \quad / \quad D = H_{5\%} - H_{95\%} \Rightarrow D = 2328 - 150 = 2178$$

$$\text{donc: } I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \Rightarrow I_g = \frac{2178}{88.27} = 24.67 \text{ m / Km} \dots \dots \dots (1.6)$$

1.1.3.4.6. La différence d'altitude spécifique "Ds"

La dénivelée spécifique apparaît comme une correction de la dénivelée simple par application d'un coefficient qui ne dépend que de la forme du bassin versant. La dénivelée spécifique (Ds) est donc indépendante de la surface du bassin ce qui donne la possibilité de comparer entre ces valeurs pour différents bassins :

$$D_s = I_g \sqrt{A} \Rightarrow D_s = 24.67 \times 36.055 = 2178 \dots\dots\dots (1.7)$$

$$\Rightarrow D_s = 889.48$$

La détermination de la dénivelée spécifique nous permet d'avoir une idée sur le relief du bassin étudié bien sur, en se basant sur une classification donnée par L'ORSTOM.

Tableau 1.3 : Classification d'O.R.S.T.O.M.

| | | |
|----|---------------------|-----------------|
| R1 | Relief très faible | Ds < 10m |
| R2 | Relief faible | 10 < Ds < 25m |
| R3 | Relief assez faible | 25 < Ds < 50m |
| R4 | Relief modéré | 50 < Ds < 100m |
| R5 | Relief assez fort | 100 < Ds < 250m |
| R6 | Relief fort | 250 < Ds < 500m |
| R7 | Relief très fort | Ds > 500m |

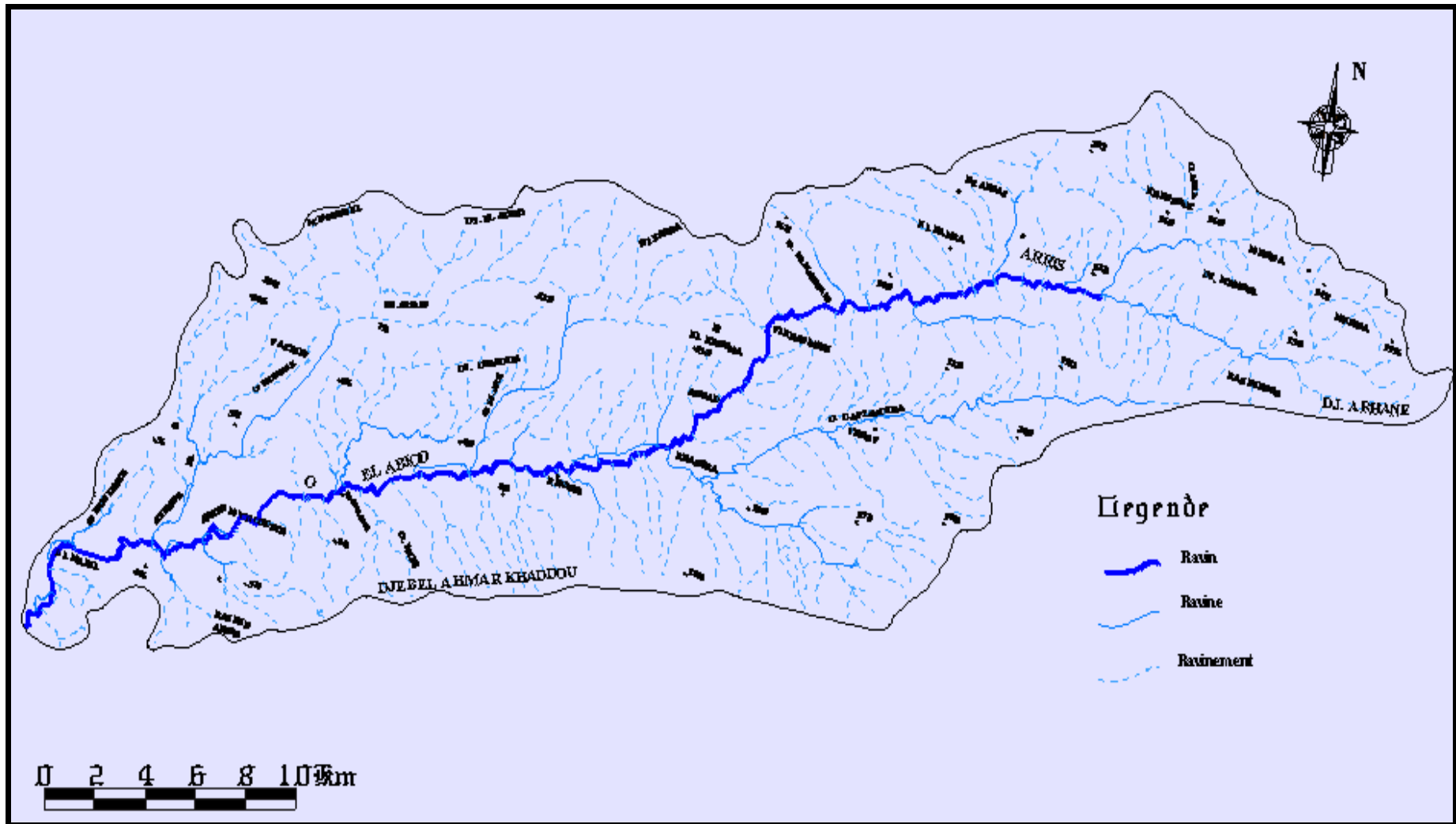
La dénivelée spécifique du bassin versant d'Oued l'Abiod est supérieure à 500 m, c'est-à-dire son relief est très fort ayant pour classe R7.

1.1.3.4.7. Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique c'est l'ensemble des canaux de drainage naturels permanents ou temporaires où s'écoulent des eaux provenant du ruissellement, les nappes souterraines, soit sous forme de source soit par restitution le long du lit de la cour d'eau.

Le développement du réseau hydrographique renseigne sur le mode de drainage du bassin versant d'Oued l'Abiod et son aptitude au ruissellement.

La longueur du Talweg principal est ; Lo = 85 Km.



Source : ANRH d'Alger

Figure 1.5 : Le réseau hydrographique du B.V.

1.1.3.5. Topologie

La classification est facilitée par un système de numérotation des tronçons de cour d'eau (rivière principale).

- Classification de Horton (1933):

On classe de façon rationnelle les différents cours d'eau, selon leur importance :

Ordre1 : ruisseau qui n'a pas de tributaire (ou d'affluent),

Ordre2 : ruisseau ayant au moins un affluent d'ordre 1 et ceux –la uniquement,

Ordre3 : rivière qui a des tributaires du 2^{ème} ordre, et même du premier ordre.

Le tableau ci-dessus montre les résultats obtenus.

Tableau 1.4 : les nombres et les longueurs du bassin versant O.A.

| Ordre | Nombre Nx | Lx (km) | \bar{L}_x (km) |
|-------|-----------|---------|------------------|
| 1 | 6815 | 2116 | 0.31 |
| 2 | 1700 | 654 | 0.38 |
| 3 | 469 | 297.5 | 0.63 |
| 4 | 121 | 145.5 | 1.20 |
| 5 | 25 | 44.5 | 1.78 |
| 6 | 4 | 15.5 | 3.88 |
| 7 | 1 | 18 | 18 |

1.1.3.5.1. La densité de drainage "Dd"

La densité de drainage est le rapport entre les longueurs totales du bassin versant et la superficie exprimé par la formule suivante :

$$D_d = \frac{\sum L_x}{A} \dots\dots\dots (1.8)$$

$$Dd=18/1300=2.53\text{km}/\text{km}^2$$

Lx : longueur de cour d'eau

Donc la densité est faible à cause de la forme de B.V allongé.

- La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie) et les caractéristiques topographiques du bassin versant dans une certaine mesure des conditions climatologiques et anthropiques.

1.1.3.5.2. La densité de drainage élémentaire "F"

La densité hydrographique représente le nombre des canaux d'écoulement par unité de surface :

$$F = \frac{N}{A} \Rightarrow F = 7.026 \text{ Km} / \text{Km}^2 \quad \dots\dots\dots (1.9)$$

1.1.3.5.3. Le coefficient de Torrentialité « Ct »

C'est le produit de la densité de drainage pour la fréquence des cours d'eau de premier ordre par unité de surface :

$$C_T = Dd \times F_1 \quad \text{avec:} \quad F_1 = \frac{N_1}{A} \quad \dots\dots\dots (1.10)$$

$$F_1 = 5.24 \quad \text{donc:} \quad C_T = 5.24 \times 2.53 \Rightarrow C_T = 13.26$$

N_1 : nombre de talweg nombre 1.

A ; superficie du bassin versant.

Le coefficient de torrentialité est faible. Cela démontre le régime non torrentiel de l'écoulement qui caractérise le bassin versant.

1.1.3.5.4. Le temps de concentration « Tc »

C'est le temps qu'il fallait à l'eau pour s'écouler depuis l'élément hydraulique le plus éloigné en amont du bassin versant jusqu'à l'exutoire et calculé par la formule de "GIONDOTTI".

$$T_C = \frac{4\sqrt{A} + 1.52L_o}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \Rightarrow T_C = \frac{4\sqrt{1300} + 1.52 \times 85}{0.8\sqrt{1081.26 - 150}} \quad \dots\dots (1.11)$$

$$\text{avec:} \quad H_{min} = 150m, \quad H_{moy} = 1081.26m \Rightarrow T_C = 10.84 \text{ heures}$$

En bref, la détermination du temps de concentration donne une idée sur le débit maximum des crues pour différentes fréquences voulues. $T_c = 10.84$ heures, le temps le plus court influe sur l'hydrogramme de crue et leurs risques.

Le temps de concentration des eaux est non seulement fonction de la surface mais aussi d'autres paramètres tels que la forme de relief, la lithologie, la pluviométrie.

Tableau 1.5 : Caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant Oued l'Abiod.

| Type de paramètre | Unité | Symbole | Valeur |
|-------------------------------------|--------------------|-----------------|---------|
| Superficie | Km ² | S ou A | 1300 |
| Périmètre | Km | P | 206 |
| L'altitude | M | H | |
| Max | M | | 2328 |
| Min | M | | 150 |
| Moy | M | | 1081.26 |
| Médiane | M | H50 | 1170 |
| Largeur de R équivalent | Km | l | 14.72 |
| Longueur de R équivalent | Km | L | 88.72 |
| L'indice de pente moyenne | % | I _p | 25.82 |
| L'indice de pente globale | m/Km | I _g | 24.67 |
| L'indice de pente de roche | - | I _{pv} | 1.075 |
| L'indice de compacité de Gravilius | - | K _c | 1.59 |
| Coefficient de torrentialité | + | C _t | 13.26 |
| Densité de drainage | Km/Km ² | D _d | 2.53 |
| Longueur de Talweg principale | Km | L | 85 |
| Temps de concentration | Heures | T _c | 10.84 |
| La différence d'altitude spécifique | m | D _s | 889.48 |

1.1.4. La végétation et l'occupation du sol

La couverture végétale, en particulier les forêts, vient ajouter son influence à celle de la nature géologique des terrains pour conditionner la rapidité du ruissellement superficiel, le taux de l'évaporation et la capacité de rétention du bassin, la végétation naturelle est constituée de forêt (cèdres, chênes vert, pin d'alpe et maquis) les vergers et jardins à auquel s'ajoutent des cultures céréalières, intensives modernes et traditionnelles ainsi les cultures céréalières de montagnes intermittentes qui couvrent une grande partie du bassin, le reste présente des affleurements rocheuses, sol très érode, maigres végétation ou sol nu.

1.1.4.1. La répartition de la couverture végétale

1.1.4.1.1. Le couvert forestier

Les terres forestières occupent une superficie totale de 29 050, 455 hectares, elles sont administrées par trois districts :

- Celui d'Ichemoul qui gère le nord du bassin versant formés par les forêts domaniaux des Aurès avec une superficie de 5 014, 726 hectares.
- La partie sud est gérée par le district de T'kout elle est formée par le forêt domaniale de Bouslimane des Aurès et Ghassira, elle couvre une superficie de 998 447 hectares.
- La partie centrale de bassin versant est géré par la circonscription d'Arris elle couvre le forêt domaniale des Aurès avec une superficie de 14 935, 282 hectares.

En général, le bassin versant d'oued l'Abiod est mis à part le forêt de pin d'alep que l'on trouve sur Dj Zellatou et qui s'étend sur 8 176, 296 hectares et les maquis s'étendent sur 2 021, 625 hectares.

1.1.4.1.2. Les différents types de couvert végétal

a) Le cèdre :

Le cèdre est l'espèce endémique des monts des Aurès les principaux facteurs qui déterminent la zone du cèdre sont le climat et l'altitude de point de vue climatique.

b) Le chêne vert :

Il se présente sous différents faciès de végétation il est en mélange soit avec le cèdre en hauteur, soit avec le pin d'Alep, soit avec le genévrier oxycèdre.

c) Le pin d'Alep :

Se développe dans une série beaucoup plus vaste on le rencontre à partir des zones de haute altitude (versant sud), entre les étages bioclimatique semi aride et subhumide.

d) Peuplement de genévrier oxycèdre et le genévrier de Phénicie :

Ces deux types de formation peuvent être distincts. L'une située en altitude renferme, le genévrier oxycèdre en mélange avec le chêne vert formant un maquis l'autre formations est composée de genévrier de phénicie ce dernier est principalement localisé sur les versants chauds et secs, généralement sur les calcaires et même gypseuse.

1.1.4.1.3. Les parcours

Occupent une totalité de 4 7 83, 180 hectares, parmi les espèces fourragères qu'on trouve sont :

- L'alfa : c'est une plante qui peut se croître dans le semi aride et le climat froid surtout au dessous des sols légers et caillouteux.
- Les prairies : se sont des terres très humides réservés au pâturage et qu'on trouve dans des dépressions souvent inondable, elle couvre une superficie de 20 hectares.

1.1.4.1.4. Les terres improductives

Se sont des terres où aucune culture ne peut être pratiquée à cause de leur :

- Infertilité (des terres plus éprouvées et moins fertiles).

- Situation (route, zone d'agglomération, zone dégradées, zone de conservation contre l'érosion).
- Relief (forte pente, topographie complexe).

Ces terres couvrent une superficie de 2 770, 065 hectares.

1.1.4.1.5. Les cultures

a) Arboricultures : dans la zone d'étude les arbres fruitiers à pépins sont les plus dominants surtout le pommier qui occupe la première place, les superficies de ce dernier augmentent de plus en plus à cause de sa valeur économique et des conditions favorables. On trouve des vergers surtout au niveau des terrasses dans la vallée où le nombre des forages des puits est très élevé. La superficie totale de l'arboriculture est de 2 283 hectares.

b) Céréaliculture : se sont des terres riches et fertiles que l'on trouve souvent sur les pentes légères (0 – 3%) au niveau des terrasses ainsi que des petits enclos en forêt. Ces terres couvrent une superficie de 12 200 hectares dont le blé dur occupe une superficie de 4 600 hectares et l'orge le reste de la surface.

c) Cultures maraîchères : dans notre zone d'étude les cultures maraîchères couvrent une superficie de 787 hectares elle est représentée par l'oignon, la pomme de terre, l'ail,...

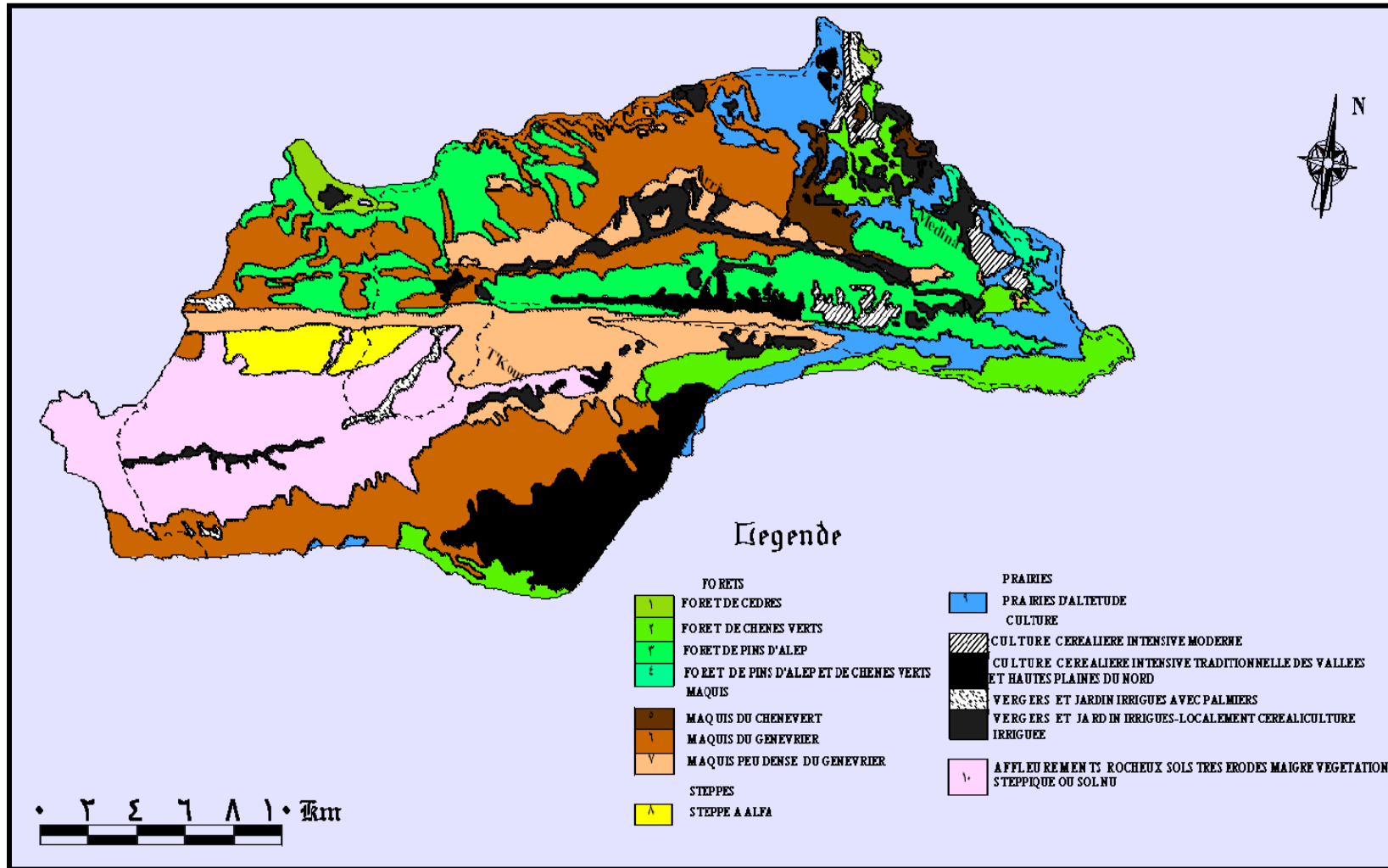


Figure 1.6 : Carte d'utilisation et des formations végétales du B.V.

1.1.5. Conclusion

Les différents paramètres calculés montrent bien que le bassin versant étudié présente une forme allongée. Les indices de pente permettent de dire que le ruissellement est fort et par conséquent l'infiltration est limitée sauf dans la mesure où les faciès lithologiques le permettent.

A travers l'étude réalisée et tenant compte de ses résultats, nous avons conclu que :

- Le bassin versant d'Oued l'Abiod présente une exposition dominante nord-ouest et sud - Est.
- La zone d'étude est située entre deux étages bioclimatique semi aride et aride.
- Le bassin versant d'Oued l'Abiod occupe une superficie environs 1300 km².
- Le bassin versant d'Oued l'Abiod est drainé par un talweg principal d'une longueur de 85 km.
- La végétation dans la zone d'étude peut se diviser en deux :
 - * Forêt (pin d'Alep chêne vert...)
 - * Maquis (génivrié)
- L'occupation du sol est basée sur la céréaliculture et l'arboriculture.

1.2. Aperçu géologique

Nous attelleront à l'étude géologique de l'ensemble de la structure en décrivant la stratigraphie et la lithologie de toutes les formations présentes tout autour d'oued l'Abiod, la série commence par :

1.2.1. Cénomanién

Le cénomanién existe dans tous les anticlinaux de l'Aurès, en auréole autour des massifs formés par le crétacé inférieur, en plus il forme le cœur d'ondulations de moindre importance, il est caractérisé par une forme abondante surtout à la partie supérieure de l'étage qui est le plus souvent marno calcaire, tandis que la partie inférieure généralement marneuse, les faciès calcaires et surtout représente dans le sud-est des Aurès aux environs de Biskra; la présence de gypse et de brèches sédimentaires montre que les conditions de formation peuvent être lagunaires.

1.2.2. Turonien

Le Turonien est celui des étages crétacés qui occupe en affleurement les aires les plus considérables dans l'Aurès, alors que les étages plus anciens sont souvent encore enfouis et que les étages plus récents ont été de mantelées par l'érosion, le turonien quant à lui s'étend sur les grandes surfaces.

1.2.3. Sénonien et Danien

Le sénonien existe dans tous les synclinaux de l'Aurès très épais il occupe en affleurements d'immenses surfaces, la partie supérieure de l'étage formée généralement de calcaires massifs, donne de très haute crête continues qui sont un des éléments caractéristiques de l'orographie de la région, ce sont ces assises calcaires qui sont responsables des formes en val des synclinaux de l'Aurès, dans le sénonien nous incluons les sous étages classiques à savoir, le coniacien, le sontonien, la camparien et le maestrichtien, l'ensemble est constitué par une grande variétés de faciès.

1.2.4. Le nummulitique

Il est constitué de deux séries :

- Une série marine à la base.
- Une série continentale au sommet.

Il est très bien représenté dans tous les synclinaux de l'Aurès et sur la flexure saharienne, le nummulitique englobent donc tous les terrains compris entre le danien et le miocène inférieur marin transgressif pour une meilleure compréhension le nummulitique appelé l'éocène qui se subdivise ainsi :

- ❖ Eocène supérieur : Baconien.
- ❖ Eocène moyen : Lutétien
- ❖ Eocène inférieur : Londonien, Paléocène.

1.2.5. Eocène inférieur et moyen

Au danien marin succèdent, en concordance, des couches marines manro calcaires dans les quelles latéralement, en certains points, s'intercalent des couches lacustre et des couches rouges d'origine continentales, mais il s'agit de conditions exceptionnelles car l'éocène inférieur et l'éocène moyen sont essentiellement marins.

Le nummulitique est très développé sur la flexure saharienne et occupe tout le centre du synclinal de Ghassira, il peut être facilement étudié grâce aux gorges de l'oued l'Abiod qui l'entament profondément et fournissent de bonnes coupes.

Dans les gorges de M'Chouneche, au dessous le maestrichtien calcaire et le danien calcaire et phosphaté.

1.2.6. Eocène supérieur et Oligocène

Au dessus des dernières couches de l'éocène moyen se sont déposées des sédiments d'origine subaérienne de nature variée, mais toujours rouges.

Le nummulitique supérieur continental se trouve dans les synclinaux où il a commencé à se former dès l'émergence de la région, recouvrant en concordance le lutétien et parfois supportant le burdigalien dans l'axe du synclinal de Ghassira, les couches surmontent le lutétien sans interruptions dans la sédimentation à Ghoufi dans le ravin qui entaille les couches rouges.

1.2.7. Miocène inférieur

La miocène inférieure repose directement sur le maestrichtien juste au nord de M'Chouneche, il est simplement constitué par des alternances de poudingues à ciment calcaire et de lentilles de marnes.

1.2.8. Miocène supérieur

Au dessus de miocène inférieur marin viennent des assises continentales très développées, notamment au sud de l'Aurès où elles acquièrent une épaisseur considérable.

La superposition des couches rouges au sud de l'Aurès d'après les travaux de sondages constitué de :

- 250 m (argiles rouges avec rare intercalation de bancs gréseux à grains fins).
- 200 m (grès grossiers avec rares de bancs de graviers et de poudingues mal cimentés).
- 100 m (poudingues grossiers à gros éléments).

Donc le miocène supérieur d'origine continentale, est constitué de :

- A la base des argiles rouges.
- Au milieu des grès ou sables rouges ou bruns.
- Au sommet des poudingues rouges.

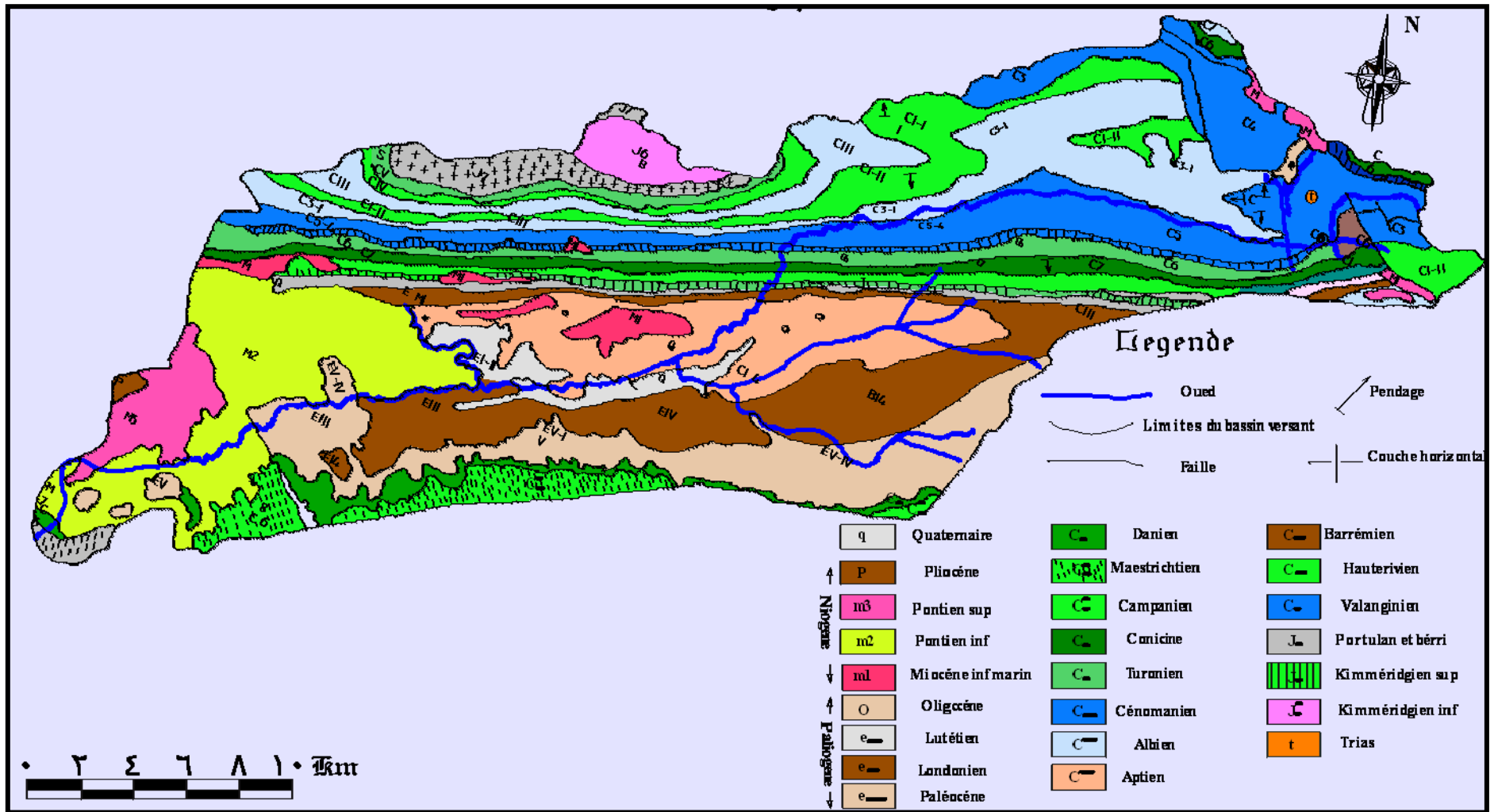
1.2.9. Tectonique

Le massif de l'Aurès possède une structure généralement assez simple, et ci-dessous ou décrit le synclinal de Ghassira.

1.2.9.1. Le synclinal de Ghassira

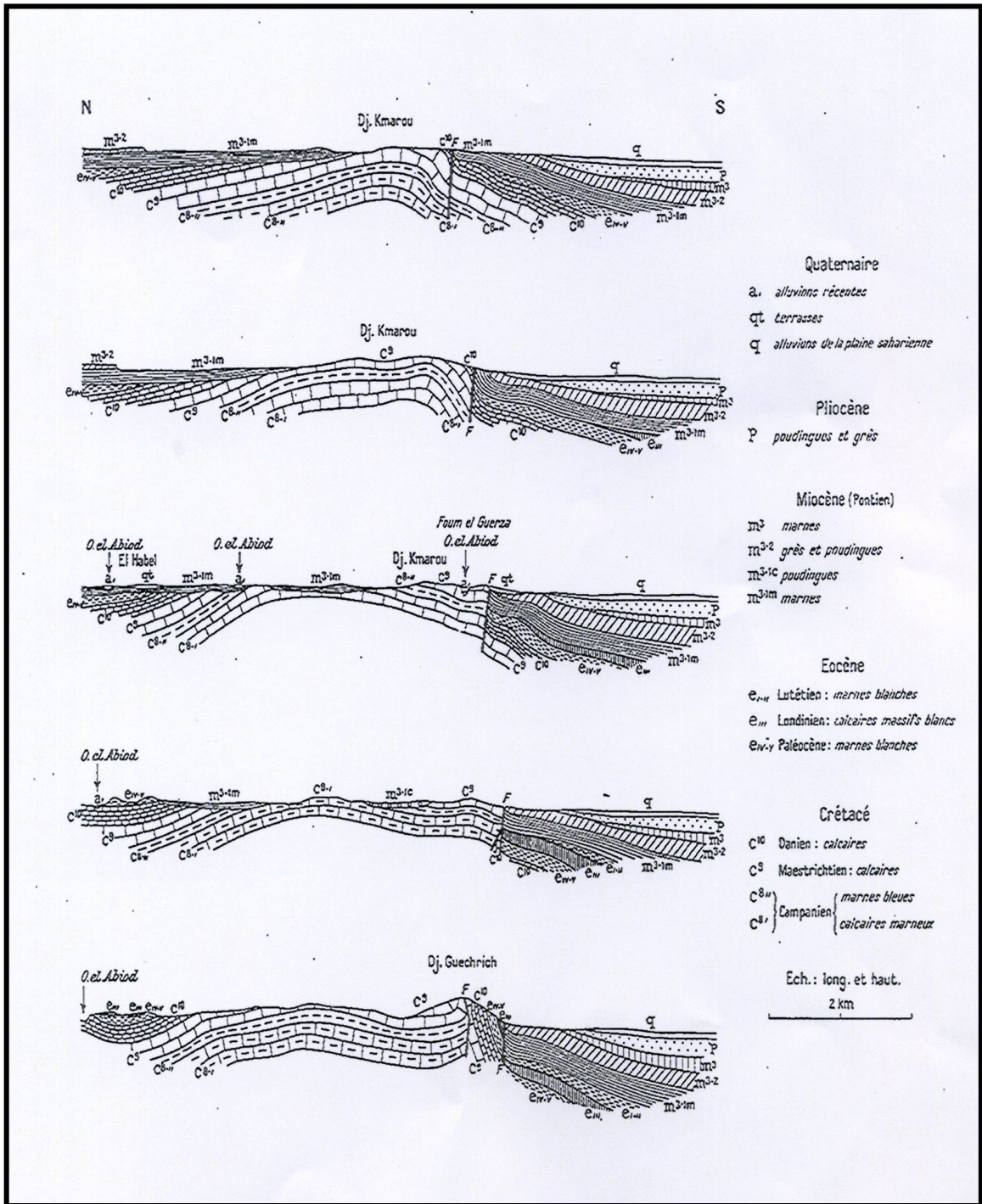
Ce synclinal est le plus important de l'Aurès il prend naissance sur le bord sud est du bassin d'El Outaya sa partie inférieure est occupée par les poudingues pliocène que l'érosion quaternaire a mis en relief dégageant à leur périphérie, les sables du Pontien, dans le bas synclinal affleurent notamment au nord de M'Chouneche les sables et argiles du Pontien, ceux-ci au sud de M'Chouneche sont surtout conservés dans des ravins entaillés dans les calcaires du maestrichtien conservant ainsi un réseau hydrographique.

- Le synclinal est affecté par un repli anticlinal traversé très net, recoupé perpendiculairement par l'oued l'Abiod en une gorge très étroite et profonde.
- Le flanc nord est normal, par contre le flanc sud ouest est faillé et la faille affecte les grès du Pontien à la partie nord ouest de l'anticlinal sur la rive droite de l'oued l'Abiod, à la sortie des gorges, les grès et les argiles du Pontien sont relevés presque à la verticale, une conséquence de ces plissements transversaux a été le creusement de gorges de l'Oued l'Abiod sur l'emplacement des anticlinaux.
- Le synclinal vers le nord ouest est très régulier ses bords sont formés par les calcaires maestrichtiens qui constituent les crêtes de l'Hamar Khadou, le centre synclinal est occupé par les nummulitiques, marnes et calcaires marins à la base, couches rouges lutésiennes et surtout post lutésiennes au sommet, tout cet ensemble est recouvert par le miocène marin au sud de T'kout.
- Le synclinal est affecté par un léger repli anticlinal au nord, l'axe de synclinal s'abaisse rapidement vers le mont Chélia (2328m) où suite à un accident, il butte contre le crétacé inférieur en une faille provoquant une dénivellation de près de 5000 mètres.



Source : La carte géologique d'Aurès de Laffitte 1939

Figure 1.7 : Carte géologique du bassin versant.



Source : U.R.B.A Biskra

Figure 1.8 : Coupes géologiques.

1.3. Aperçu climatologique

La conservation et l'exploitation des eaux sont intimement liées aux précipitations et aux et à leurs répartitions (ruissellement, infiltration, évaporation, évapotranspiration...) à la surface du sol, donc à l'établissement d'un bilan hydrique.

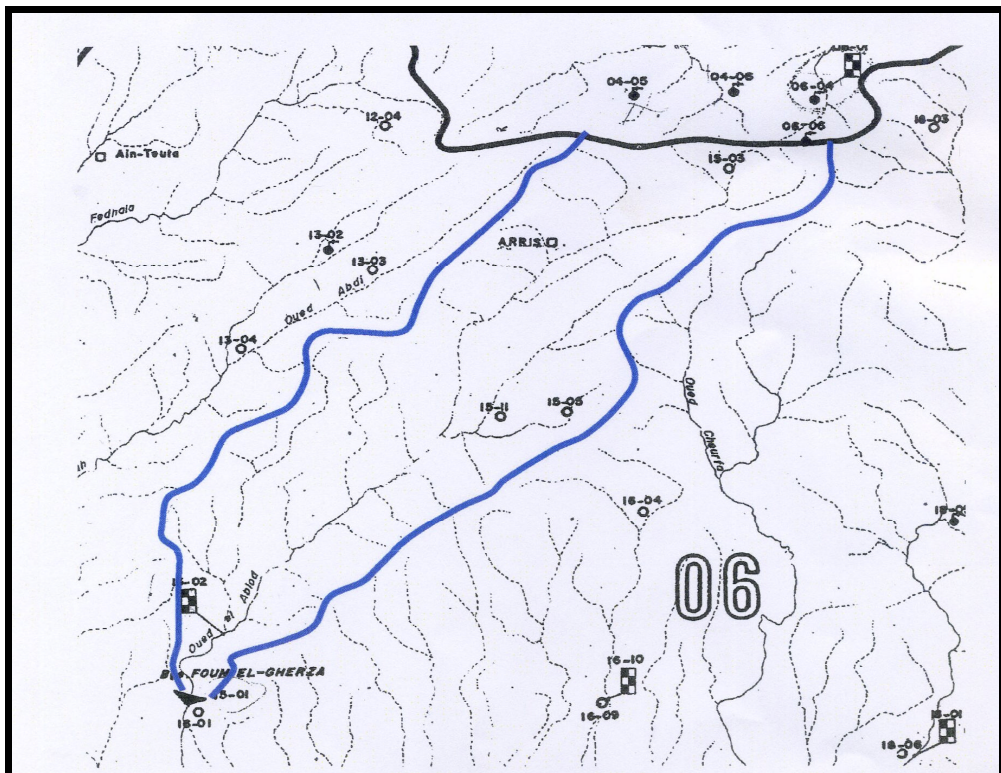
Pour se faire, nous allons procéder à l'étude des différents paramètres climatologiques.

1.3.1. Etude des précipitations

1.3.1.1. Réseau pluviométrique

Cette étude est basée sur les données fournies par l'ANRH, relatives à cinq (04) stations pluviométriques inventoriées au niveau du bassin versant d'oued Abiod (Tableau N°I.6).

La figure suivante montre le bassin versant et les différentes stations pluviométriques :



Source : ANRH d'Alger

Figure 1.9 : Stations pluviométriques.

Tableau 1.6 : Caractéristiques des stations pluviométriques.

| Nom de Stations | Code des stations | Cordonnées Lambert | | Altitude (m) |
|-----------------|-------------------|--------------------|--------|-----------------|
| | | X (km) | Y (km) | |
| Foum el gherza | 061601 | 794,4 | 177,6 | 100 |
| T'Kout | 061505 | 829,15 | 210,05 | 998 |
| Tefelfel | 061511 | 821,9 | 207,65 | 740 |
| Médina | 061503 | 849,7 | 230,15 | 1570 |

1.3.1.2. Précipitation moyennes mensuelles

Pour caractériser les pluies mensuelles, on détermine, mois par mois, pendant la période d'observation les caractéristiques suivantes :

- la moyenne mensuelle des précipitations
- maximum, et minimum mensuel observés.
- Pour bien mettre en évidence la répartition des pluies mensuelles, indépendamment de leur valeur absolue.

On calcule le coefficient pluviométrique mensuel de chaque mois qui est le rapport en % d'une pluie mensuelle à la valeur d'une pluie moyen mensuel fictive égale moyenne annuelle (1/12) du module pluviométrique moyenne annuelle. Le tableau ci dessous présente les valeurs estimées.

La répartition de la pluie mensuelle, et saisonnière nous permet de voir comment s'organisent ces pluies en fonction du temps, les données du tableau ci dessus, nous permet de distinguer comme critère le coefficient pluviométrique en %, un mois est considéré comme pluvieux si sa moyenne est supérieure de 8,3%, les mois les plus pluvieux sont les mois de septembre, novembre, mars, avril, totalisent de 40% de la pluie totale.

La représentation graphique de la pluie mensuelle, voir figure N°I.11 reflète mieux la variation saisonnière de la pluie, on distingue deux saisons pluvieuses (l'automne et le printemps), la hauteur moyenne de pluie reçue pendant ces deux saisons représente environs 68% de la moyenne annuelle, en hiver la quantité d'eau reçue est moins faible par

rapport à ces deux saisons qui se caractérisent par des chutes de pluie d'orages de forte intensité.

Tableau 1.7 : Précipitations moyennes mensuelles des trois stations pluviométriques Foum el gherza (1960 – 2005), T'Kout (1969 – 2004), Tefelfel (1972 – 1998).

| Station pluviométriques | Mois | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai | Jui | Jul | Aut |
|-------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|
| | Valeurs | | | | | | | | | | | | |
| T'KOUT | Moyenne | 27,5 | 25 | 23,7 | 17,1 | 16,6 | 16,4 | 27,6 | 23,6 | 23,2 | 15,2 | 5,8 | 16,9 |
| | Maxima | 88 | 84 | 75 | 78 | 77 | 76 | 118 | 60 | 161 | 68 | 40 | 104 |
| | Minima | 1,4 | 3,2 | 1 | 1,4 | 2 | 1 | 1,3 | 1,7 | 2,1 | 1,4 | 0,5 | 1,7 |
| | C.P en% | 10,3 | 8,22 | 9,32 | 9,05 | 9,5 | 9,83 | 11,9 | 9,09 | 8,52 | 5,97 | 3,58 | 5,54 |
| TEFELFEL | Moyenne | 16,5 | 16,8 | 14,5 | 9,4 | 8,55 | 14,8 | 18,25 | 16,3 | 11,9 | 6,4 | 1,8 | 9,9 |
| | Maxima | 52 | 121 | 56 | 44 | 34 | 66,5 | 68 | 48 | 60 | 57,5 | 15,1 | 80,5 |
| | Minima | 1 | 3,5 | 1 | 4 | 1 | 4 | 4 | 4,8 | 3 | 3,2 | 1 | 3 |
| | C.P en% | 8.64 | 10.7 | 9.21 | 6.73 | 6.41 | 7.96 | 13.18 | 12.05 | 12.85 | 4.62 | 2.23 | 5.0 |
| FOUM EL GHERZA | Moyenne | 11.4 | 10 | 13.1 | 5.60 | 7.24 | 9.68 | 12.8 | 10.5 | 7.09 | 3.78 | 0.5 | 4.22 |
| | Maxima | 40 | 37.5 | 42.5 | 21 | 49 | 48 | 58 | 70 | 40 | 35 | 9.3 | 30 |
| | Minima | 0.5 | 0.5 | 1.5 | 1.5 | 2 | 1 | 2.5 | 1.8 | 1.5 | 2 | 2 | 1.3 |
| | C.P en% | 10.4 | 9.39 | 15.5 | 5.95 | 7.58 | 10.1 | 13.4 | 10.99 | 7.42 | 3.95 | 0.52 | 4.42 |

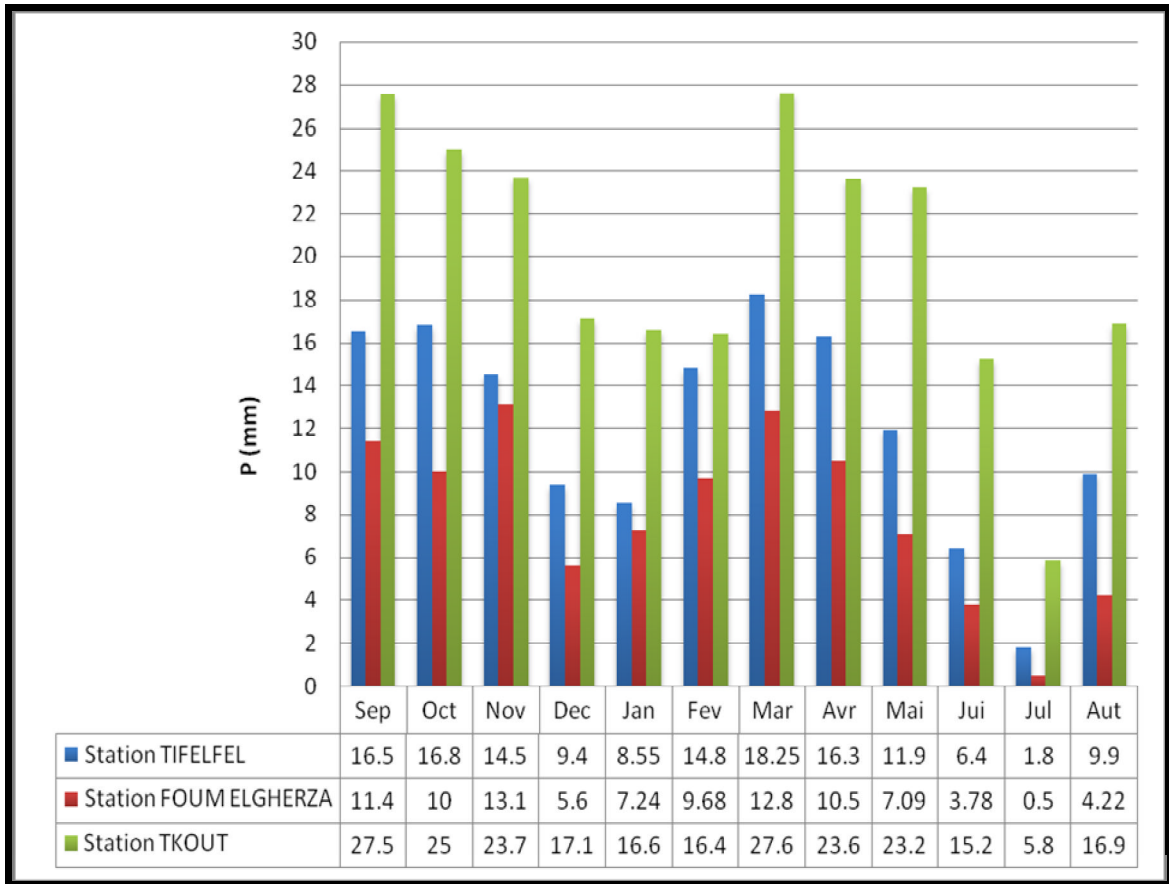


Figure 1.10 : Répartition des précipitations moyennes mensuelles.

1.3.1.3. Précipitation moyenne annuelle

Les années les plus pluvieuses varient d'une station à une autre. Les figures 1.12, 1.13, 1.14, et 1.15 : indiquent clairement la variabilité du régime et de la pluviométrie, le coefficient d'irrégularité météorologique (Cirr), qui peut être considéré comme un des critères, pour détecter la dominance des processus irréguliers est défini comme le rapport entre les précipitations annuelles maximales, et la précipitation annuelles minimales durant la période d'observation.

$$Cirr = (P_{a \max} / P_{a \min}) \dots\dots\dots (1.12)$$

Nous remarquons une diminution régulière du nord vers le sud, la station la plus au Nord (06-15-03) étant la plus arrosée, alors que la station la plus au sud (06-16-01) est la moins arrosée.

Tableau 1.8 : Précipitation annuelle station médina (1969 – 2004).

| Années | Pluies | Années | Pluies | Années | Pluies | Années | Pluies | Années | Pluies |
|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| 69 / 70 | 523,6 | 76 / 77 | 521,3 | 83 / 84 | 236,4 | 90 / 91 | 318,7 | 97 / 98 | 540,7 |
| 70 / 71 | 244,6 | 77 / 78 | 345,2 | 84 / 85 | 434,2 | 91 / 92 | 483,3 | 98 / 99 | 316,6 |
| 71 / 72 | 482,9 | 78 / 79 | 280,4 | 85 / 86 | 512,4 | 92 / 93 | 360,9 | 99 / 00 | 348,7 |
| 72 / 73 | 658,7 | 79 / 80 | 373,6 | 86 / 87 | 420 | 93 / 94 | 251,6 | 00 / 01 | 252 |
| 73 / 74 | 331,7 | 80 / 81 | 517,2 | 87 / 88 | 251,3 | 94 / 95 | 347,1 | 01 / 02 | 254,4 |
| 74 / 75 | 388,6 | 81 / 82 | 465,3 | 88 / 89 | 537,1 | 95 / 96 | 487,7 | 02 / 03 | 527,4 |
| 75 / 76 | 546,4 | 82 / 83 | 380,1 | 89 / 90 | 527,2 | 96 / 97 | 225,1 | 03 / 04 | 896,4 |

Tableau 1.9 : Précipitation annuelle station TKOUT (1969 – 2004).

| Années | Pluies | Années | Pluies | Années | Pluies | Années | Pluies | Années | Pluies |
|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| 69 / 70 | 171 | 76 / 77 | 522 | 83 / 84 | 10 | 90 / 91 | 208 | 97 / 98 | 304 |
| 70 / 71 | 101 | 77 / 78 | 177 | 84 / 85 | 278 | 91 / 92 | 294 | 98 / 99 | 149 |
| 71 / 72 | 121 | 78 / 79 | 172 | 85 / 86 | 287 | 92 / 93 | 268 | 99 / 00 | 237 |
| 72 / 73 | 209 | 79 / 80 | 330 | 86 / 87 | 209 | 93 / 94 | 165 | 00 / 01 | 134 |
| 73 / 74 | 52 | 80 / 81 | 290 | 87 / 88 | 215 | 94 / 95 | 263 | 01 / 02 | 222 |
| 74 / 75 | 44 | 81 / 82 | 170 | 88 / 89 | 356 | 95 / 96 | 552 | 02 / 03 | 352 |
| 75 / 76 | 222 | 82 / 83 | 156 | 89 / 90 | 382 | 96 / 97 | 98 | 03 / 04 | 495 |

Tableau 1.10 : Précipitation annuelle station TEFELFEL (1974 – 1992).

| Années | Pluies | Années | Pluies | Années | Pluies |
|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| 74 / 75 | 109 | 80 / 81 | 164 | 86 / 87 | 48 |
| 75 / 76 | 190 | 81 / 82 | 97 | 87 / 88 | 132 |
| 76 / 77 | 238 | 82 / 83 | 130 | 88 / 89 | 133 |
| 77 / 78 | 209 | 83 / 84 | 69 | 89 / 90 | 259 |
| 78 / 79 | 82 | 84 / 85 | 154 | 90 / 91 | 104 |
| 79 / 80 | 206 | 85 / 86 | 80 | 91 / 92 | 133 |

Tableau 1.11 : Précipitation annuelle station FOUM EL GHERZA (1971 – 1997).

| Années | Pluies | Années | Pluies | Années | Pluies | Années | Pluies | Années | Pluies |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 71 | 24,6 | 77 | 74,6 | 83 | 59 | 89 | 106,7 | 95 | 76,4 |
| 72 | 134,4 | 78 | 35,7 | 84 | 65,3 | 90 | 195,5 | 96 | 123 |
| 73 | 49,6 | 79 | 50 | 85 | 105 | 91 | 135 | 97 | 119,2 |
| 74 | 44,6 | 80 | 76 | 86 | 131 | 92 | 114,5 | | |
| 75 | 118,5 | 81 | 109,1 | 87 | 69 | 93 | 86,2 | | |
| 76 | 182,5 | 82 | 142,4 | 88 | 35,4 | 94 | 114,5 | | |

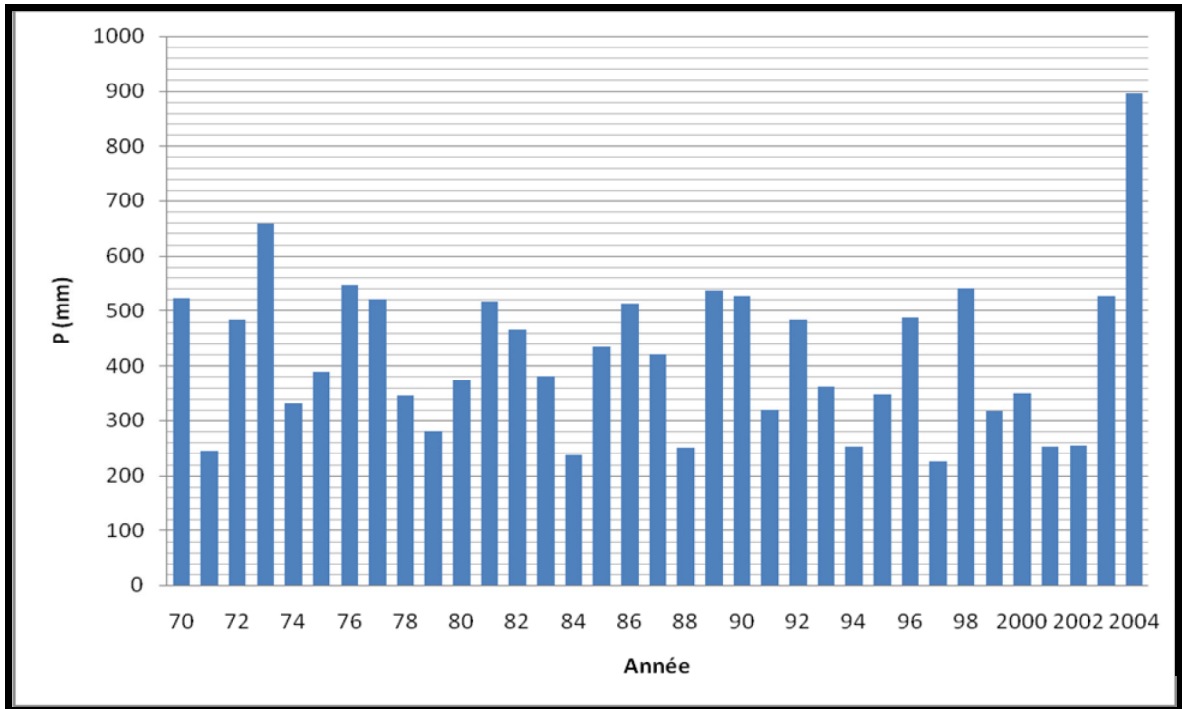


Figure 1.11 : Répartition des précipitations moyennes annuelles de la station de médina (1969 – 2004).

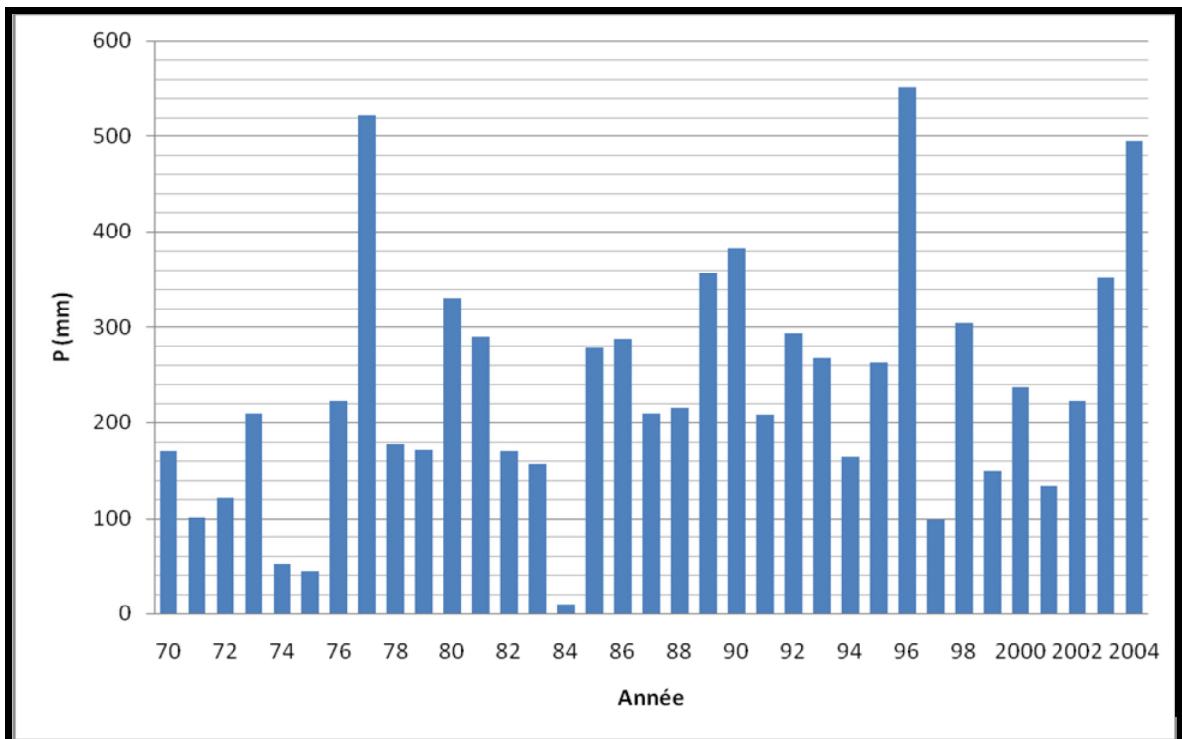


Figure 1.12: Répartition des précipitations moyennes annuelles de la station de TKOUT (1969 – 2004).

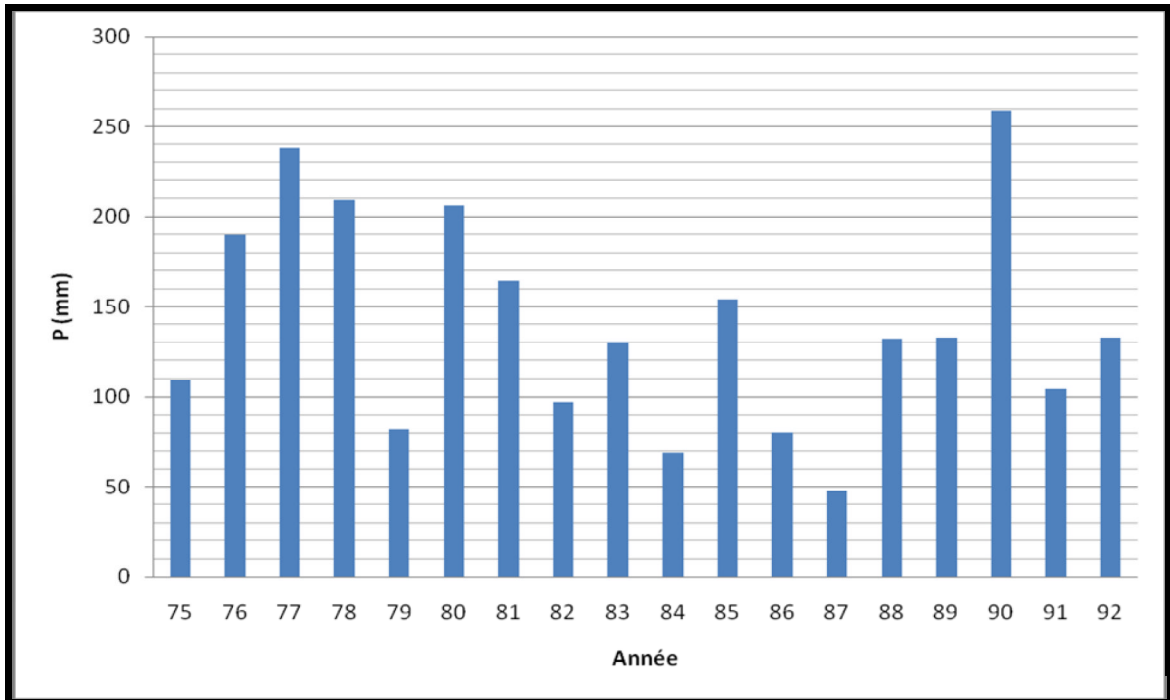


Figure 1.13 : Répartition des précipitations moyennes annuelles de la station de TEFELFEL (1974 – 1992).

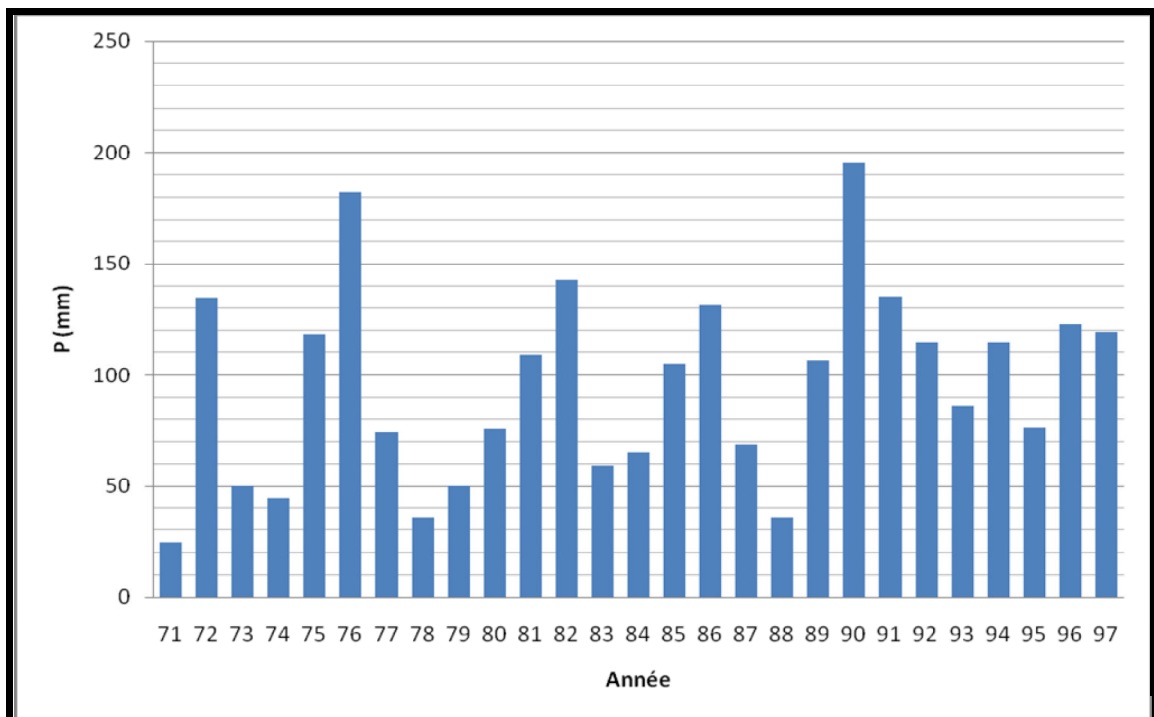


Figure 1.14 : Répartition des précipitations moyennes annuelles de la station de FOUM EL GHERZA (1971 – 1997).

1.3.1.4. Estimation des précipitations moyennes annuelles

1.3.1.4.1. Méthode arithmétique

Si les stations pluviométriques sont assez nombreuses et très bien réparties sur toute la superficie de B.V, on pourra utiliser cette méthode pour les hauteurs des pluies annuelles des toutes stations.

$$P = \frac{\sum P_i}{N} = 216,91 \text{ mm} \dots\dots\dots (1.13)$$

Pi : hauteur de pluie moyenne annuelle d'une station.

N : nombre des stations.

Tableau 1.12 : Représentation des précipitations dans toutes les stations concernées.

| Numéro | Station | Altitude | Précipitation (mm) annuelle | Année |
|--------|----------------|----------|-----------------------------|---------|
| 1 | Médina | 1451 | 416,82 | 69 – 04 |
| 2 | T'kout | 998 | 238 | 69 – 04 |
| 3 | Foum el gherza | 100 | 95,74 | 71 – 97 |
| 4 | M'Chouneche | 295 | 120,88 | 25 – 78 |
| 5 | Thniet El Abed | 1320 | 282,04 | 75 – 98 |
| 6 | Tifelfel | 740 | 148 | |

Source : L'A.N.B

1.3.2. Température

Tableau 1.13 : Températures moyennes mensuelles(c°).

| Station | Medina | M'chounech |
|------------|-----------|-------------|
| Années | 1971-1991 | 1971 – 1991 |
| l'altitude | 1100 m | 330 m |
| mois | C° | C° |
| S | 20,25 | 28,50 |
| O | 15,00 | 22,30 |
| N | 9,90 | 16,20 |
| D | 5,75 | 11,90 |
| J | 5,35 | 11,60 |
| F | 6,55 | 13,70 |
| M | 8,80 | 15,70 |
| A | 13,15 | 19,80 |
| M | 15,80 | 24,60 |
| J | 22,30 | 29,20 |
| J | 24,60 | 33,50 |
| A | 23,65 | 32,80 |

(Source: ONM)

Les observations effectuées à médina nous ont servi dans la partie nord du bassin versant et celle de M'Chouneche sa part du sud, les observations de ces deux stations s'étendent sur des périodes assez longues.

L'examen des températures de médina montre que les minimums s'observent pendant les trois mois d'hiver et les maximums en saison de l'été avec des températures moyennes au printemps et automne, même si les mois d'hiver enregistrent quelques valeurs négatives à cause de la chute brutale de température, et l'accumulation des neiges.

Par contre la station de M'chouneche on remarque que les valeurs enregistré indiquent une nette opposition entre hiver doux et été très chaud la saison de printemps et presque absente, les températures restent dans cette station et cette partie du bassin versant assez élevées et contribuent à augmenter les phénomènes d'évaporation et imposent un bilan hydrique souvent déficitaire.

1.3.3. Les vents

Le vent joue un double rôle, en plus de son action sur l'érosion éolienne, il augmente le pouvoir évaporant de l'atmosphère c'est surtout en hiver et au début du printemps que le nombre de passages du vent est plus élevé.

L'érosion éolienne est fréquente, et le vent dépose les particules transportées, en accentuant ainsi l'effet de désertification des terres agricoles, les mesures des autres

paramètres météorologiques notamment l'insolation et la neige est quasi absente donc nous avons utilisé la station de Batna et la station de Biskra.

* A Batna le vent souffle généralement en direction nord est, sud ouest.

*A Biskra, Seltzer a observé des vents ayant comme direction le nord ouest, sud est.

L'étude de Seltzer estime les maximums des vents pendant le mois d'Avril, Décembre et Janvier pour Batna et les mois de juillet à Août pour Biskra.

Les mesures de vitesse maximale moyenne de 3,9 m/s durant le mois de Septembre et une vitesse maximale moyenne de 4,5 m/s au mois de Janvier (voir tableau 1.14).

Les jours où le vent dépasse 5m/s montrent un maximum pendant les moins de Janvier et février avec 13,7 jours/mois.

Tableau 1.14 : Mesure des vitesses de vents (Biskra).

| Mois | Vitesse m/s | Période jours |
|---------------------|----------------|------------------|
| S | 3,9 | 8,1 |
| O | 4,4 | 11,1 |
| N | 4,1 | 9,7 |
| D | 4,5 | 11,6 |
| J | 4,5 | 13,7 |
| F | 5,2 | 13,7 |
| M | 4,6 | 12,2 |
| A | 4,4 | 11,0 |
| M | 4,2 | 9,6 |
| J | 4,0 | 8,1 |
| J | 4,0 | 9,0 |
| A | 4,2 | 10,3 |
| Moyenne Annuelle | 4,3 | 10,7 |

I.3.4. L'Humidité

L'humidité relative est assez importante dans les régions élevés et froides du bassin, elle se dégradé assez rapidement vers le sud où elle est voisine 20 % en été.

Tableau 1.15 : Humidité relative en % de Batna (zone de montagne) et Biskra (zone saharienne) les moyennes observées 7h, 13h, 18h.

| Station | Heure | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A |
|-------------------|-------|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|
| Batna (h r) | 7 h | 57 | 72 | 79 | 88 | 85 | 886 | 72 | 59 | 54 | 50 | 45 | 49 |
| | 13 h | 32 | 44 | 52 | 56 | 56 | 45 | 37 | 34 | 29 | 22 | 22 | 23 |
| | 18 h | 45 | 59 | 68 | 71 | 71 | 56 | 46 | 44 | 41 | 41 | 32 | 31 |
| Biskra (h r) | 7 h | 50 | 64 | 69 | 62 | 62 | 58 | 47 | 47 | 42 | 36 | 38 | 57 |
| | 13 h | 34 | 45 | 49 | 52 | 52 | 40 | 32 | 32 | 27 | 20 | 25 | 39 |
| | 18 h | 39 | 45 | 60 | 58 | 58 | 48 | 37 | 37 | 32 | 26 | 30 | 47 |
| H relative du B.V | | 42 | 53 | 60 | 65 | 65 | 57 | 50 | 41 | 40 | 35 | 29 | 32 |

Source : mémoire de fin d'étude (détermination du coefficient de ruissellement)

1.3.5. L'Evaporation

Comme notre bassin s'étale sur deux zones climatiques différentes nous avons utilisé les données enregistré dans les stations de Batna et de Biskra pour étudier l'évaporation, les données de la station de Biskra enregistré depuis 1950 et la station de Batna, les données enregistré dans l'observation (1990 – 2005).

Tableau 1.16 : Evaporation moyenne mensuelle des deux stations Biskra – Batna.

| Mois Station | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A |
|--------------|--------|--------|-----|------|------|-------|--------|--------|--------|-----|--------|--------|
| Biskra | 285 | 175 | 126 | 103 | 97 | 105 | 159 | 203 | 265 | 243 | 380 | 362 |
| Batna | 207,18 | 154,31 | 95 | 61,3 | 57,8 | 75,87 | 189,93 | 150,93 | 205,57 | 274 | 333,31 | 304,06 |

Source : mémoire de fin d'étude (détermination du coefficient de ruissellement)

On remarque que les taux d'évaporation en station de Biskra sont élevés que la station de Batna et cette preuve sur le climat semi Aride et les différences des étages bioclimatiques entre le nord et le sud du bassin versant de oued l'Abiod.

1.3.6. Evapotranspiration

L'évapotranspiration destine l'ensemble des phénomènes qui transforment l'eau en vapeur par processus spécifiquement physique, la transpiration est une évaporation biologique par les plantes qui sera conditionné par les caractéristiques climatiques de l'atmosphère, on remarque que le B.V de Oued l'Abiod est soumis à l'influence de deux modes climatiques, aride et semi aride.

Tableau 1.17 : Les résultats calculés par la formule de TURK (mm).

| Mois Station | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|--------------|------|------|------|------|-----|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| Biskra | 51 | 64 | 101 | 155 | 195 | 268 | 262 | 252 | 171 | 112 | 72 | 51 |
| Médina | 27,4 | 37,4 | 62,3 | 90,1 | 122 | 157,1 | 173 | 154,8 | 117,8 | 77,12 | 46,71 | 30,12 |

Source : mémoire de fin d'étude (détermination du coefficient de ruissellement)

Formule de TURC :

$$ETP = 0,40 (I_g + 50)K \times t/(t+15)$$

1.3.7. Etude des crues

1.3.7.1. Données disponibles

On dispose des informations suivantes concernant les crues de l'oued Abiod :

- Quelques données historiques citées dans la monographie de la SCET,
- Des données à la station hydrométrique de M'Chounech (station 06-15-02) qui contrôle 1 250 km² du bassin versant (relevés des débits de pointe et débits moyens journaliers entre 1975/76 et 1986/87),
- De données relatives à la gestion du barrage permettant de reconstituer les apports de crues.

Ces différentes données sont présentées ci-dessous.

1.3.7.1.1. Données historiques

La monographie de la SCET cite une crue survenue en 1902, c'est à dire avant la construction du barrage, dont l'estimation du débit de pointe est comprise entre 800 et 1 500 m³/s.

Cette même monographie cite une crue survenue le 10 octobre 1966, dont le débit de pointe horaire aurait atteint 1 980 m³/s. L'apport moyen journalier de cette crue est estimé à 270 m³/s, soit un apport de 23 Mm³.

Enfin, une crue importante est survenue en mars 2004 dont le débit de pointe horaire peut être évalué à 1 000 m³/s environ.

1.3.7.1.2. Station de M'Chounech

Les données relatives à la station de M'Chounech proviennent de différentes sources :

- La monographie de la SCET qui fournit des débits maximaux journaliers de la période 1947 à 1970,
- Un mémoire de fin d'étude portant sur l'envasement du barrage de Foum el Gherza et fournissant les débits maximaux journaliers et les débits de pointe instantanés sur la période 1975-1987,
- Un certain nombre d'hydrogrammes de crues fournis par l'ANRH

Le tableau ci-dessous présente les débits de pointe et les débits moyens journaliers des crues maximales disponibles à la station 06-15-02.

Tableau 1.18 : Données disponibles à la station hydrométrique de M'Chounech.

| Source | Année | Q pointe (m ³ /s) | Qmax (m ³ /s) | Qp / Qm |
|---|-------------|------------------------------|--------------------------|---------|
| Monographie de la SCET | 1947 – 1948 | / | 20 | / |
| | 1951 – 1952 | / | 6,2 | / |
| | 1952 – 1953 | / | 7,2 | / |
| | 1953 – 1954 | / | 4 | / |
| | 1954 – 1955 | / | 2,9 | / |
| | 1955 – 1956 | / | 11,74 | / |
| | 1956 – 1957 | / | 7 | / |
| | 1957 – 1958 | / | 2,1 | / |
| | 1958 – 1959 | / | 12,5 | / |
| | 1959 – 1960 | / | 8,2 | / |
| | 1960 – 1961 | / | 8,2 | / |
| | 1961 – 1962 | / | 11,3 | / |
| | 1962 – 1963 | / | 7,56 | / |
| | 1963 – 1964 | / | 23,1 | / |
| | 1964 – 1965 | / | 115,5 | / |
| | 1965 – 1966 | / | 16,5 | / |
| | 1966 – 1967 | / | 270 | / |
| | 1967 – 1968 | / | 80 | / |
| | 1968 – 1969 | / | 23 | / |
| 1969 – 1970 | / | 68 | / | |
| Mémoire de fin d'étude sur l'envasement du barrage de Foum el gherza 1990 | 1975 – 1976 | 107 | 28 | 3,82 |
| | 1976 – 1977 | 169 | 50 | 3,88 |
| | 1977 – 1978 | 237 | 22,3 | 10,63 |
| | 1978 – 1979 | 34,3 | 11 | 3,12 |
| | 1979 – 1980 | 283 | 73,4 | 3,86 |
| | 1980 – 1981 | 297 | 54 | 5,50 |
| | 1981 – 1982 | 116 | 28,3 | 4,10 |
| | 1982 – 1983 | 312 | 50 | 6,24 |
| | 1983 – 1984 | 247 | 28,3 | 8,73 |
| | 1984 – 1985 | 105 | 38,4 | 2,73 |
| | 1985 – 1986 | 188 | 19,6 | 9,59 |
| 1986 – 1987 | 63 | 19,6 | 3,21 | |

Notons que le débit de pointe de la crue de 1966-67 est estimé dans la monographie de la SCET à 1 980 m³/s, sans autre précision.

1.3.7.1.3. Relevés au barrage de Foum El Gherza

On dispose au barrage de quelques relevés de cotes du plan d'eau en crue qui permettent de reconstituer approximativement les débits entrants.

Parmi ces relevés, deux méritent une attention particulière :

- La crue survenue en mars 2004,
- La crue qui lui a fait suite en avril 2004.

1.3.7.2. Hydrogrammes et forme des crues

1.3.7.2.1. Données de l'ANRH

Les données fournies par l'ANRH ont permis de sélectionner un certain nombre de crues et de définir leurs caractéristiques : Q_p , Q_{24h} , rapport Q_p/Q_{24h} . Il y a lieu de noter que les débits de pointe ne sont pas parfaitement cohérents avec les débits de pointe cités dans le mémoire de fin d'étude cité plus haut et dont les valeurs sont reproduites dans le tableau ci-dessus.

Les figures suivantes représentent les quatre hydrogrammes de débit de pointe les plus importants.

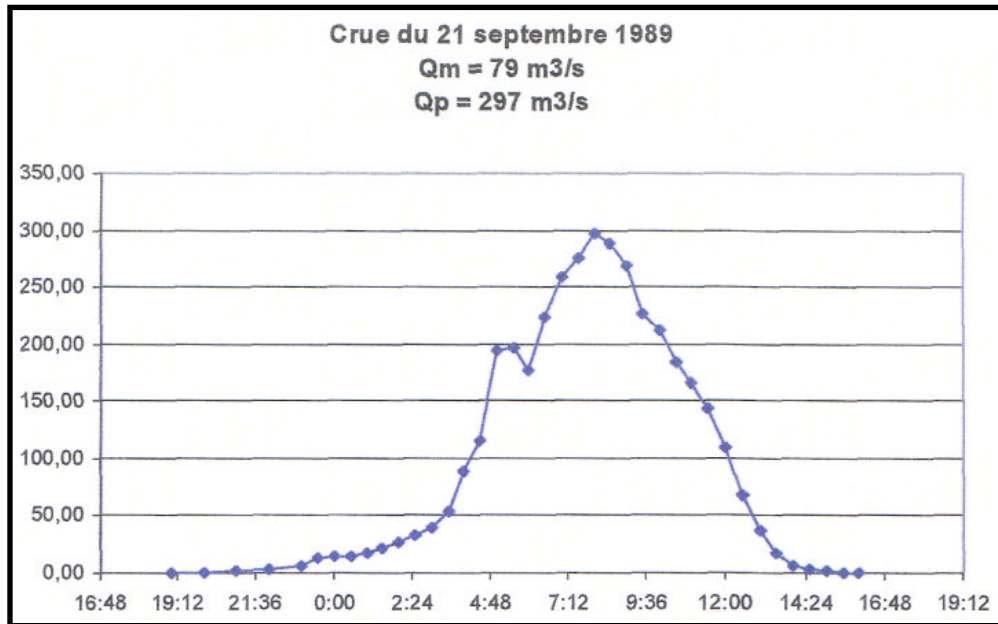


Figure 1.15 : Hydrogramme de la crue du 21 septembre 1989.

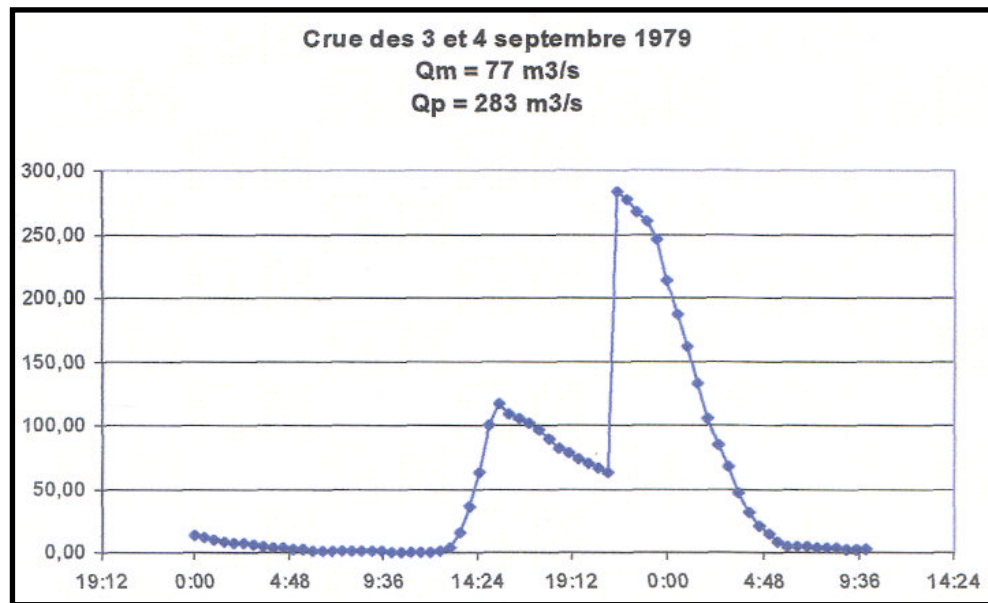


Figure 1.16 : Hydrogramme de la crue du 3 et 4 septembre 1979.

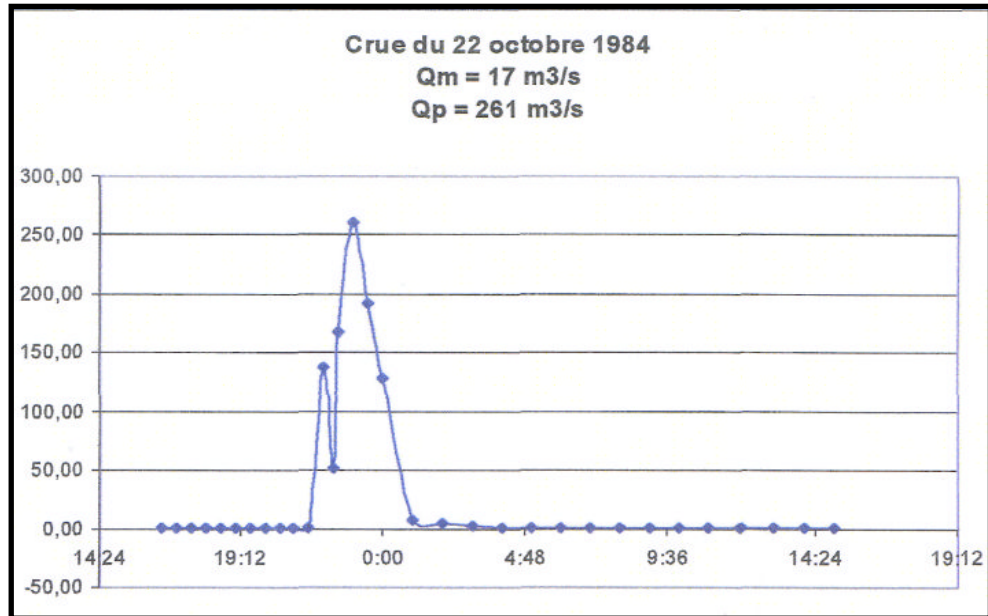


Figure 1.17: Hydrogramme de la crue du 22 octobre 1984.

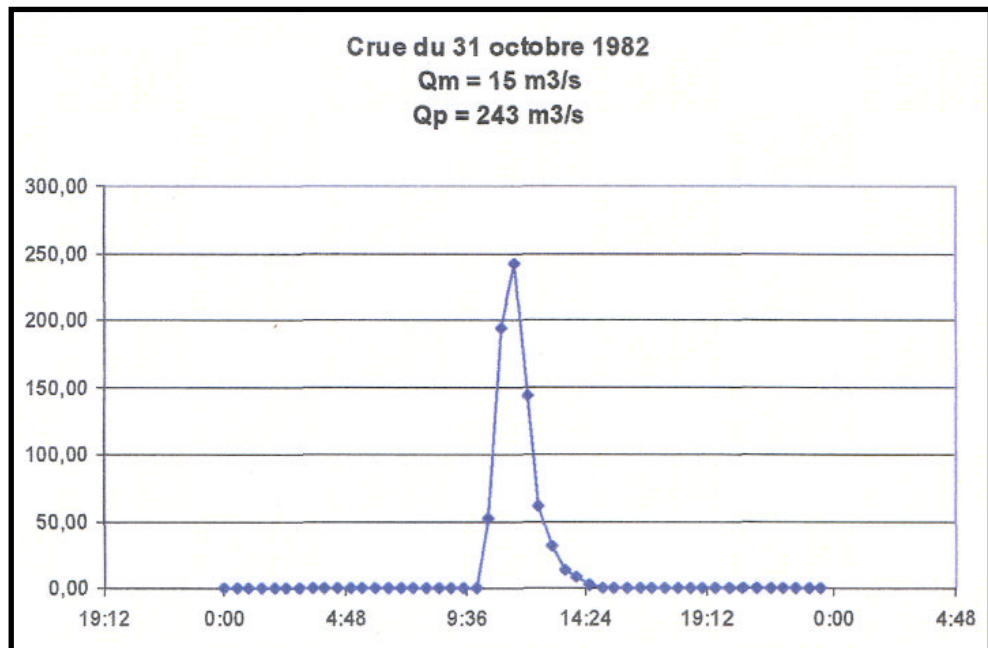


Figure 1.18 : Hydrogramme de la crue du 31 octobre 1982.

On constate d'une façon générale des temps de montée très rapides, des temps de descente également rapides conduisant à des hydrogrammes à peu près symétriques et des durées de crues inférieures à 24 h.

1.3.7.2.2. Reconstitution des crues au barrage de Foug El Gherza

Les figures suivantes représentent les hydrogrammes reconstitués au barrage pour la crue de mars 2004 et la crue d'avril 2004.

La crue la plus importante a eu lieu le 30 mars 2004. Au cours de cette crue, le plan d'eau a atteint la cote 202,55, ce qui correspond à une lame déversante de 3,65 m, soit un débit maximal évacué de 570 m³/s.

Les relevés disponibles de cotes du plan d'eau permettent de reconstituer au pas horaire le débit entrant dans la retenue. L'hydrogramme ainsi reconstitué est présenté sur la figure ci-après.

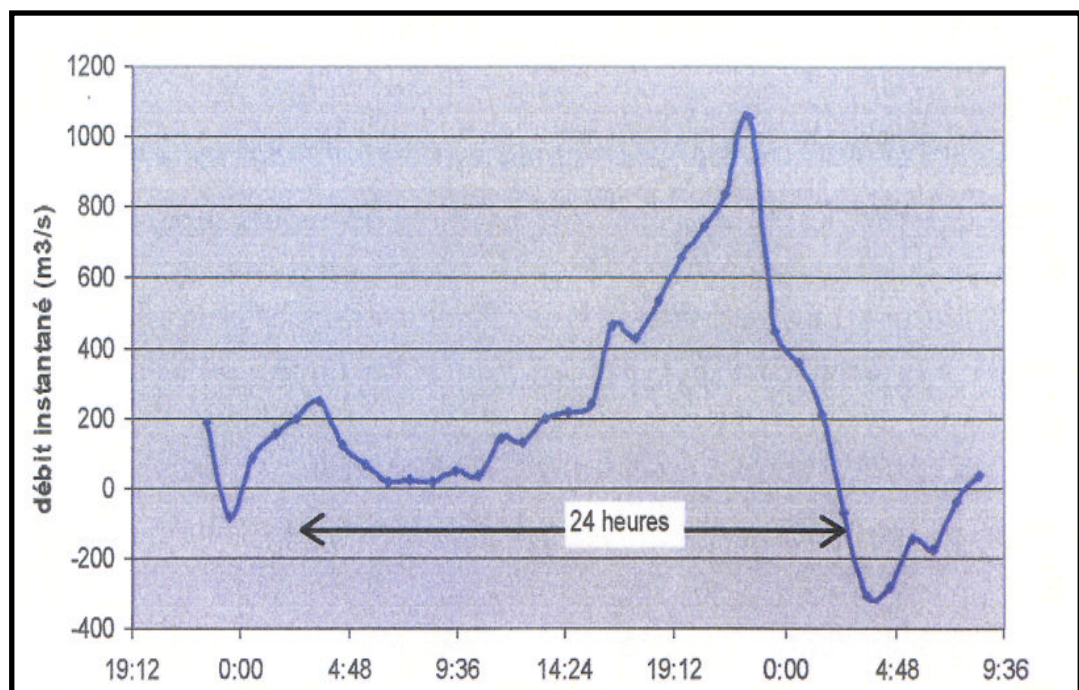


Figure 1.19 : Hydrogramme de la crue du 29 et 30 mars 2004.

Le débit de pointe entrant est de l'ordre de 1 000 m³/s. On notera qu'en fin de crue, le débit reconstitué est négatif, ce qui traduit probablement des imprécisions sur les cotes observées.

L'épisode principal de crue est bref, avec un temps de montée de l'ordre de 10 heures et un temps de descente de quelques heures.

Le débit moyen sur 24 h est de 310 m³/s.

La figure suivante représente l'hydrogramme reconstitué de la crue survenue les 15 et 16 avril 2004, peu de temps après la crue précédente.

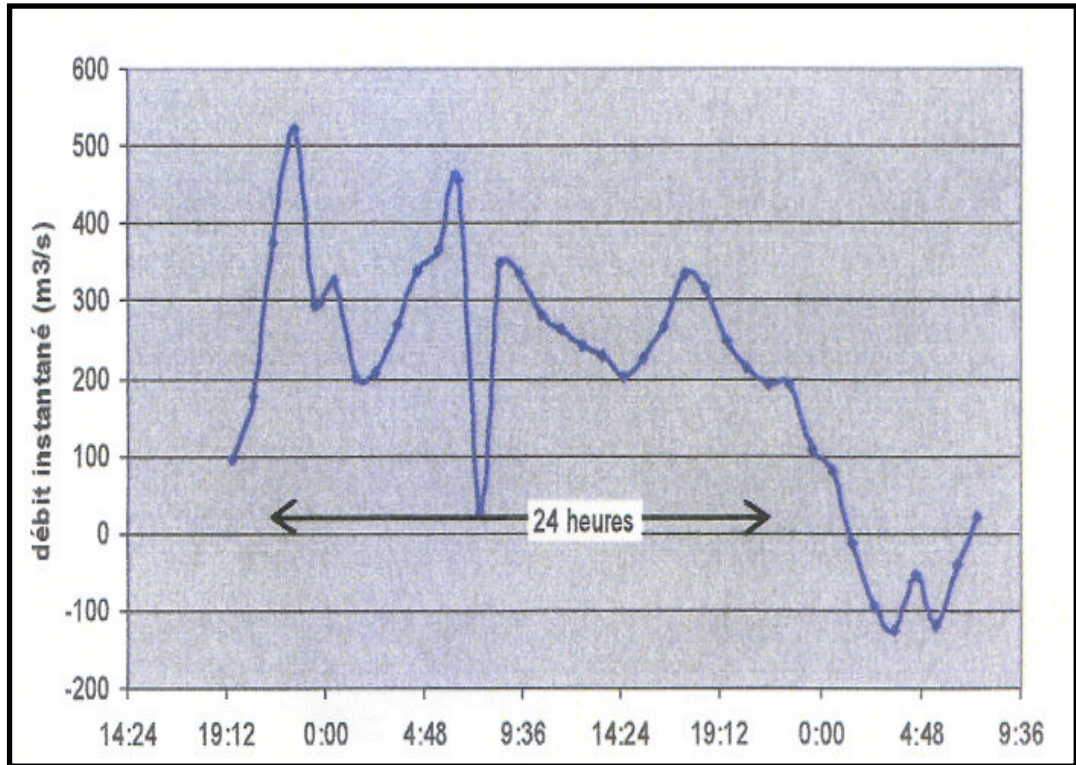


Figure 1.20 : Hydrogramme de la crue du 15 et 16 avril 2004.

On constate également sur cette crue des épisodes de montée très rapides. L'imprécision sur les cotes de plan d'eau (particulièrement la nuit) explique sans doute les fluctuations observées.

Le débit moyen par contre peut être estimé avec une meilleure précision. Il est égal sur cet épisode à 285 m³/s.

1.4. Conclusion

Le bassin versant est caractérisé par une irrégularité inter annuelle et mensuelle.

Le bassin versant d'oued El Abiod se caractérise :

- par un temps de réponse très court,
- par une pluviométrie très variable entre la partie amont et la partie aval du bassin,

Les précipitations saisonnières de sous bassin Amont sont concentrées essentiellement en automne et au printemps, par contre le sous bassin aval, les précipitations sont concentrées en Automne et hiver ; alors que la zone d'étude montre une diminution des précipitations et augmentation des températures du Nord vers le Sud, de climat semi aride en Amont vers l'aride en Aval.

Le bilan Hydrologique de sous bassin Amont montrent un excès d'eau qui alimente le ruissellement, alors que le sous bassin aval est nettement marqué un déficit au cours de l'année.

En gros, le régime hydrologique du bassin versant se caractérise par l'irrégularité d'un mois à l'autre, et d'une année à l'autre exprimée par les fortes valeurs de variations.

En général, les crues de fortes puissances d'automne et de printemps sont produites par des averses violentes ; qui caractérisent le climat semi aride et aride, dans ses conditions ; on peut prévenir que le transporter des matériaux arrachés devient très important, surtout de la partie Amont.

CHAPITRE 2

EROSION ET TRANSPORT SOLIDE DANS LE BASSIN VERSANT D'OUED EL ABIOD

2.1. Aperçu bibliographique

2.1.1. Introduction

En raison de son climat semi-aride, de la présence de relief abrupt et de la pauvreté de la végétation, le Maghreb est l'une des régions les plus vulnérables au monde à l'érosion des sols.

L'ampleur de l'alluvionnement et l'exhaussement du fond des barrages par dépôts successifs des sédiments ramenés, par les cours d'eau maghrébins, ont suscité l'intérêt d'un grand nombre de chercheurs qui ont tenté d'expliquer les mécanismes complexes du transport solide et de quantifier les volumes des sédiments transportés.

Le volume de matériaux qui se déposent chaque année dans les retenues des barrages algériens sont évalués, en moyenne à 20 millions de m³ par an (Remini, 1999), ce qui contribue à réduire de 0.3% par an les capacités de stockage de l'eau estimées à 6,2 milliard de m³ (Riad et al. 1999), dans des régions caractérisées par une pluviométrie à la fois faible et irrégulière.

2.1.2. Généralités

D'une manière générale, l'érosion des sols correspond au " détachement " et au " transport " des particules de sol, par différents agents (gravité, eau, vent, glace), de leur emplacement d'origine à un endroit de "dépôt" à l'aval. Dans tous les cas, ces mouvements de sol sont des processus discontinus à fortes variations spatio-temporelles, difficiles à décrire sous forme d'équations mathématiques. Nous, nous intéressons dans cette étude plus particulièrement à l'érosion hydrique, qui est un phénomène largement répandu et dont les conséquences peuvent entraîner des pertes de terre irréversibles et une diminution des capacités de stockage des barrages.

L'érosion hydrique constitue en Algérie un phénomène très grave qui affecte durement le patrimoine foncier. Elle touche 45% des zones telliennes soit 12 millions d'hectares cultivables (Bouanani, 2004).

Les deux agents principaux de l'érosion hydrique sont les précipitations et le ruissellement superficiel. Toutefois un grand nombre de facteurs (intensité et agressivité des précipitations, caractéristiques du sol, pentes et longueur de pente, le couvert végétal et l'état hydrique initial) et de mécanismes affectent la relation "chute de pluie – ruissellement- entraînement des terres".

2.1.3. Les principaux agents de l'érosion hydrique

2.1.3.1. Intensité et agressivité des précipitations

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 .

$$E_c = \frac{1}{2} m V^2 \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Où, m est la masse de la goutte (kg) et V la 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. Il existe d'ailleurs une relation empirique reliant l'intensité d'une pluie et son énergie cinétique (Bouanani, 2004).

$$E_c = 11.9 + 8.73 \log I_p' \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Avec, E_c : Energie cinétique en $\text{j/m}^2/\text{mm}$ et I_p' : intensité de pluie en mm/h .

Les pluies, lors de l'impact des gouttes, provoquent un détachement des matières et une destruction des agrégats lors de la conversion de l'énergie cinétique en efforts de cisaillement.

Plusieurs phases sont à considérer lors d'une averse. Les premières gouttes de pluies 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 "l'effet splash" ou érosion par rejaillissement (Ramez, 1995).

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 (Poessen, J. 1984).

$$D_p = a \cdot E_c^b \dots\dots\dots (2.3)$$

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.

Ces processus de désagrégation de la surface du sol et d'érosion par rejaillissement conduisent à la fermeture des pores à la surface du sol et à la réduction de son infiltrabilité en formant une croûte de battance.

Jusqu'à ce stade, on ne peut parler de transport proprement dit. Il faut que le ruissellement démarre pour qu'il y ait une prise en charge des particules détachées par mise en suspension ou par charriage.

2.1.3.2. Le ruissellement

Le ruissellement apparaît dès que l'intensité d'une pluie devient supérieure à la vitesse d'infiltration du sol. Il est nettement plus élevé sur sol nu que sous cultures. Les plus faibles ruissellements proviennent des pluies tombantes après une période sèche. Par contre, les ruissellements et les pertes en terres les plus élevées ont eu lieu à une époque où le sol est déjà très humide et dans le cas de pluies exceptionnelles et des orages d'automne et de printemps (Chibbani, R. et al. 1999).

Le ruissellement ne débute qu'après un cumul pluviométrique journalier de 18 à 20 mm (Laouina, A. 1998) sur sol sec même si les pluies sont intenses ou après un cumul de 4 mm sur sol humide et compact (Chibbani, R. et al. 1997).

Ces seuils de hauteur dépendent en partie des caractéristiques des pluies (intensité, mais aussi du volume de pluie tombant après saturation du sol) et surtout de l'état de surface du sol (plus le sol est dégradé plus le ruissellement est rapide).

Selon Laouina, A. et al. (1993), les pluies continues mais de faibles intensités permettent une certaine infiltration de l'eau et réduisent le ruissellement sur les versants, par contre les épisodes de fortes intensités entraînent un ruissellement plus important. 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.

D'une manière générale, il est admis que la vitesse du ruissellement est le paramètre prépondérant de l'action érosive du ruissellement superficiel. En 1965, Meyer a proposé la relation suivante pour évaluer cette vitesse (Meyer, L.D. 1965) :

$$V_r = (I^{0.33} \cdot Q_R^{0.33}) / n^{0.66} \dots\dots\dots (2.4)$$

- Où Vr : vitesse de ruissellement
 I : pente du terrain
 QR : Débit du ruissellement
 n : rugosité du sol.

Les facteurs qui régissent le ruissellement sont principalement :

a) L'infiltration

Tous les sols sont plus ou moins perméables. Le coefficient de perméabilité qui représente la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol dépend essentiellement de la porosité du sol.

Pour un sol homogène initialement non saturé, la surface du sol présente une certaine infiltrabilité définie comme le flux maximum qu'elle peut absorber lorsqu'elle est maintenue en contact avec l'eau et la pression atmosphérique. Au cours du temps cette baisse par l'action de la compaction des sols, que ce soit sous l'action des agents climatiques ou par l'action de l'homme, conduit à une réduction de la porosité et donc de la conductivité hydraulique. La diminution de la capacité d'infiltration constitue ainsi un facteur défavorable générateur de ruissellement et de transport de sédiments.

En revanche, cette même diminution de l'infiltrabilité joue un rôle positif contre l'érosion puisqu'elle renforce la résistance au cisaillement des sols. L'équation de Coulomb donnant la charge de rupture (τ) montre le rôle des deux paramètres essentiels :

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg}\varphi \dots\dots\dots (2.5)$$

Avec, C : la cohésion qui dépend des forces capillaires et de la teneur en eau du sol ;
 φ : l'angle de frottement interne qui dépend de la porosité du matériau et donc de la compacité du sol.

b) Détention superficielle et rugosité du sol

Elle correspond à la capacité de stockage temporaire de la surface du sol vis-à-vis de l'eau. La détention superficielle se fait sous forme de flaques dans les micro-dépressions, dont la capacité de stockage est liée à la rugosité.

c) Pente et longueur de pente

L'influence de la pente est complexe. Le plus souvent, l'érosion augmente avec la pente.

Il se développe une érosion en rigoles dix fois plus agressive que l'érosion en nappe (Roose, E. et al. 1998). Quant à la longueur des pentes, il semble que son influence sur la naissance de rigoles dépend de diverses interactions avec la rugosité et la perméabilité du sol, le type et l'abondance du couvert végétal.

d) Le couvert végétal

Il est clair que le couvert végétal est efficace pour réduire le ruissellement. La couverture du sol, plus particulièrement celle assurée par la strate herbacée et les résidus végétaux, constitue la protection la plus efficace du sol. Elle intervient vis à vis du sol par :

- l'interception nette : une partie de la pluie qui tombe sur la végétation est directement reprise par l'évaporation. Elle ne participe alors, ni à l'infiltration, ni au ruissellement.

- La dissipation de l'énergie cinétique : une partie de la pluie interceptée par le feuillage continue sa course jusqu'au sol. L'énergie cinétique des gouttes s'en trouve alors modifiée.

2.1.3.3. Etat hydrique initial

L'état hydrique du sol au moment d'une pluie a une très forte influence sur la dégradation, la formation des croûtes et la réduction de l'infiltrabilité résultante (Lebissonais, Y. 1992). Les agrégats secs sont plus sensibles à l'éclatement. En effet l'intensité de ce processus croît avec le volume d'air piégé (Boiffin, J. 1984 ; Lebissonais, Y. 1988) en particulier sous des pluies de forte intensité qui peuvent former des croûtes très rapidement.

L'état hydrique initial influence aussi la succion exercée à la surface du sol par les couches sous-jacentes et donc l'infiltration au travers de cette surface.

Lorsque le sol en surface est argileux sensible à la dispersion par l'effet de l'impact des gouttes de pluie à la désagrégation mécanique par l'alternance des cycles de dessiccation et d'humectation, il y a mobilisation des particules argileuses sous l'action de l'impact des pluies (Chibbani, R. et al. 1997). En effet, l'humectation des sols argileux entraîne un gonflement qui est une forme analogue de désagrégation. Cette argile mobilisée migre dans l'eau de l'infiltration, couvre la périphérie des agrégats et colmate les interstices intra-agrégats ou bien se dépose à la surface du sol pour former une croûte. La formation des croûtes ou organisation pelliculaire de surface, entraîne une réduction de l'infiltrabilité, accroît les risques de ruissellement et d'érosion.

2.1.4. Formes de manifestation de l'érosion hydrique

2.1.4.1. Erosion en nappe

Elle se produit lorsque l'écoulement et l'érosion se font sur toute la surface du sol, ce qui provoque une usure homogène non perceptible dans la majorité des cas.

Ce type d'érosion entraîne des conséquences morphologiques et pédologiques fâcheuses suite à un décapage de l'horizon superficiel diminuant insidieusement sa réserve en éléments fertilisants et un entraînement préférentiel des particules les plus fines, de la matière organique et du carbonate de calcium.

2.1.4.2. Erosion linéaire

Elle se manifeste lorsque la concentration des eaux conduit à la formation de chenaux de dimension croissante : griffes (quelques centimètres de profondeur), rigoles (incision dans la couche labourée), ravines (incision dépassant la couche labourée).

- Erosion en griffes et rigoles

Elle se produit lorsque l'écoulement d'eau se concentre et choisit son passage. Dès qu'une griffe s'établit, l'eau de ruissellement tend à se réunir, et plus elle se creuse plus il y a appel d'eau dans la rigole. Ainsi le phénomène de creusement s'accélère de lui-même.

De point de vue quantitatif, ce type d'érosion reste dans les mêmes proportions que l'érosion en nappe.

- Erosion par ravinement

Les ravines suivent la ligne de plus grande pente des versants. Puisque le ruissellement provenant des versants peut atteindre 50 à 80% durant les averses exceptionnelles tombant sur les terres battues ou compactées, l'essentiel du transport solide provient des ravines et des oueds (Arabi, M. et al. 1991).

Lorsque le sol est peu perméable, saturé et peu couvert, le ruissellement est abondant. Ce dernier creuse des ravines et augmente les pointes de crue des oueds, ce qui favorise le sapement des berges et les glissements de terrain, et par conséquent l'envasement des barrages, la destruction des infrastructures et la dégradation des terres. En Algérie, l'érosion ravinante a déplacé 90 à 300 t/ha/an ce qui correspond à une vitesse d'altération des versants de 8 à 17 mm/an (Chibbani, R. et al. 1999).

2.1.5. Quantification de l'érosion hydrique

Il existe plusieurs formules permettant la quantification de l'érosion hydrique, nous ne citerons que celles qui impliquent des paramètres physiques représentatifs.

2.1.5.1. Formule de Wischmeier et Smith (1978)

La formule s'écrit :

$$Ps = Ep.Es.Flp.Fp.Fam.Fv..... (2.6)$$

Avec

Ps : pertes annuelles de sol (t/ha/an) ;

Ep : érosivité des précipitations (N/h) ;

Es : érodabilité du sol ou susceptibilité du sol à l'érosion (t.h/N.ha) ;

Flp : facteur de longueur de pente (sans dimension) ;

Fp : facteur de pente (sans dimension) ;

Fam : facteur d'aménagement (sans dimension) ;

Fv : facteur de conservation des sols pratiqué (sans dimension).

2.1.5.2. Formule de Fournier (1960)

$$Ass = \frac{1}{36} \left(\frac{P_m^2}{P_{am}} \right)^{2.65} \left(\frac{h^2}{S} \right)^{0.46} \dots\dots\dots (2.7)$$

Avec

Ass : apport solide spécifique (t/km2/an) ;

Pm : précipitations moyennes mensuelles du mois le plus pluvieux (mm) ;

Pam : précipitations moyenne annuelles (mm) ;

h : dénivelée moyenne (m) ;

S : superficie du bassin versant (km2).

De cette formule peut apparaître l'action érosive de la pluie à travers la recherche d'une relation entre la précipitation et la dégradation spécifique.

2.1.5.3. Formule de Tixeront (1960)

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

$$Ass = 354.E^{0.15} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$Ass = 92.E^{0.21} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$Ass = 200. E \dots\dots\dots (2.10)$$

Avec :

Ass : apport solide spécifique en t/km2/an

E : Ecoulement en mm

Les formules (2.8), (2.9), (2.10) sont, respectivement valables pour les bassins tunisiens, la région est algérien et centre algérien.

2.1.5.4. Formule de la Sogreah

Basée sur les données de 30 bassins algériens, de superficie comprise entre 100 et 300 km², soumis à une pluviométrie annuelle comprise entre 300 et 1000 mm.

$$Ass = \alpha E^{0.15} \dots\dots\dots (2.11)$$

Avec :

Ass : apport solide spécifique (t/km²/an) ;

α : coefficient dépendant de la perméabilité du sol (sans dimension), donné au Tableau ci-dessous ;

E : Ecoulement annuel (mm).

Tableau 2.1 : Valeurs de α pour différentes perméabilités.

| Perméabilité | α |
|---------------------|----------|
| Forte | 8.5 |
| Moyenne | 75 |
| Moyenne à faible | 350 |
| Perméabilité faible | 1400 |
| imperméable | 3200 |

2.1.6. Le transport solide

Le transport solide représente l'entraînement de granulats sous l'action d'un écoulement fluide. Il existe dans différents phénomènes physiques, naturels ou industriels, et constitue un écoulement à surface libre ou en charge.

Le transport solide dans les 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 (Hug, M. 1975).

Les matériaux alluvionnaires constituant le lit des cours d'eau proviennent de :

- L'élaboration des éléments de surface, en général des matériaux meubles du bassin versant. Si l'on ne tient compte que de l'érosion en nappe évaluée au maximum à 20t/ha/an, cette ablation est de l'ordre de 1.3 mm/an (Chebbani, R. et al.1999).

- L'érosion des berges du lit des cours d'eau et de leurs affluents. D'après les travaux effectués sur le fleuve du Sénégal, la Garonne et sur des rivières des Etats Unis, ce type d'érosion produit 20 à 30% du tonnage total des sédiments exportés (Propst, J.L.et al. 1989).

Ces sédiments localisés dans les lits des oueds sont transportés par les crues pour être déposés soit sur des plaines à faible pente, soit dans des cuvettes de barrage ou encore en arrivant jusqu'à la mer.

Hjulstrom [Biju-Dval] a élaboré un diagramme (Figure 2.1) qui rappelle que lorsque la vitesse est élevée l'action des courants est érosive et que lorsque la vitesse diminue le transport est actif puis cesse, aboutissant au dépôt des particules.

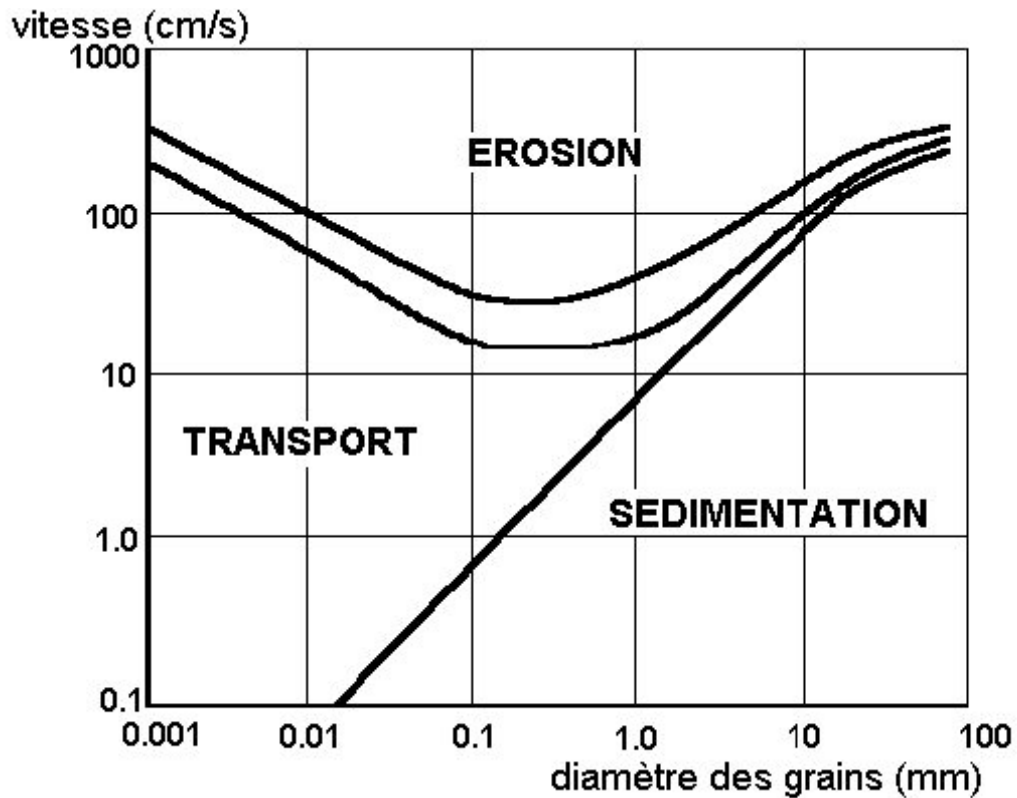


Figure 2.1 : Diagramme de Hjulstrom (Boulvain, 2004).

Généralement deux modes de transport solide sont considérées : le transport solide par charriage et le transport solide en suspension. Les deux modes diffèrent par deux aspects essentiels : dans le premier cas, les particules se déplacent par roulement et glissent sur le fond et leurs vitesses est inférieure à celle de l'écoulement. Dans le deuxième cas, les particules se déplacent au sein de l'écoulement avec une vitesse de même ordre de grandeur que celle du fluide. Il n'existe pas de délimitation nette entre ces deux modes de transport.

Il y a même des auteurs qui considèrent un troisième mode caractéristique intermédiaire, la saltation, où les particules se déplacent par des bonds, en alternant le charriage et la suspension (Bouanani, 2004).

Le mode de transport dépend essentiellement des caractéristiques des particules (taille, forme, concentration, vitesse de chutes et densité des particules).

2.1.6.1. Le transport solide par charriage

Les cours d'eau sont également capables de transporter des matériaux de diamètre important : grains de sable, galets, et même blocs et rocher pendant les épisodes de crues. Ces matériaux ne peuvent rester en suspension. ils sont soumis à une suite de sauts : arrachés du fond par l'effort exercé par l'écoulement, ils retombent un peu plus loin, roulent, puis sont arrachés de nouveau, etc. A la différence de la suspension ou les matériaux solides sont présents, avec une concentration variable, dans tout l'écoulement, le transport des matériaux par charriage concerne uniquement une couche assez fine située à proximité du fond.

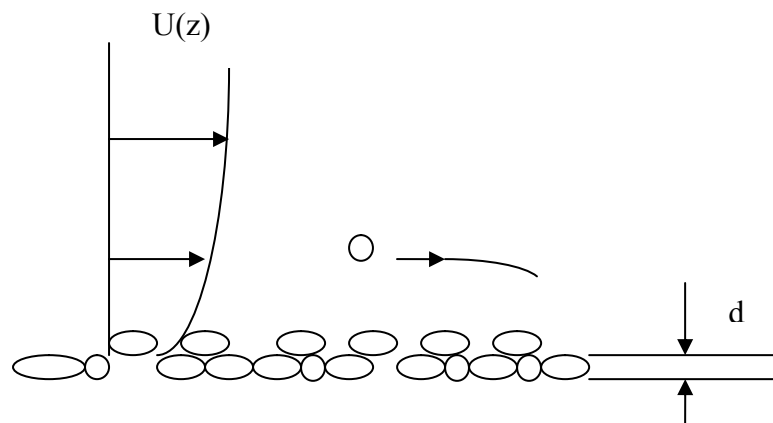


Figure 2.2 : Transport par charriage.

C'est le charriage qui entraîne la formation des dunes et des rides sur le fond. ces rides et ces dunes sont responsables d'une augmentation de la perte de charge : en présence de telles ondes de sable, l'échelle de longueur de la rugosité, ζ , ne doit plus dépendre de diamètre des matériaux du fond, appelé d (rappelons que ζ est généralement de l'ordre de $3d$ sur un fond naturel à peu près plat) ; mais doit être estimée à partir des caractéristiques géométriques des dunes ou des rides.

Même un courant de vitesse faible peut transporter des particules fines en suspension. En revanche, le charriage est caractérisé par un seuil de mouvement : en dessus d'une certaine vitesse, l'effort exercé par l'écoulement sur un grain n'est pas suffisant pour

arracher ce grain du fond, compte tenu de son poids et du frottement sur les autres grains.

Le transport solide par charriage, correspond à l'ensemble des sédiments grossiers (sables, gravier, galets et blocs), de diamètre supérieur à 1 mm, transitant dans la couche de fond. L'épaisseur de cette dernière est d'environ 2 fois le diamètre des sédiments constituant le fond du chenal (Einstein, 1950 ; Bagnold, 1966).

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 sont difficiles à mener en l'absence de bases de données. On se contente généralement d'études sur modèles réduits pour déterminer la proportion du charriage par rapport à la suspension ou au transport total. Pour quelques bassins versants le taux de charriage a été estimé à 12.5 % de la suspension (Djebbi, M. 1990).

Cette fraction du débit solide est la moins facile à déterminer. Un certain nombre des équations de transport de fond peuvent être utilisées pour estimer approximativement le taux d'apport solide. Cette méthode ne s'applique, que lorsque le débit de charriage de la rivière représente la majeure partie du débit solide, c'est à dire qu'il est inutile de tenir compte des particules les plus fines, tel que les silts et les argiles de dimensions inférieures à 0,062 mm.

Il en est aussi, des retenues où les fines particules restent en suspension et franchissent le barrage par les vannes de chasse.

Les équations les plus fréquentes utilisées, dans le monde actuellement sont celles de :

- MEYER PETER - MULLER (1948).
- SCHOKLITSCH (1935).
- ACKERS et WHITE (1973).
- EINSTEIN modifiée - vitesse xi (1972).
- ENGELUND et HANSEN (1972).
- YANG (1942).
- PARKER (1982).
- LAUSEN (1958).

Ces équations nécessitent pour leur utilisation des échantillons de matériaux représentatifs du lit de la rivière et des caractéristiques hydrauliques du cours d'eau.

Ces formules permettent d'estimer le débit q_s linéique, c'est -à-dire par unité de largeur .Citons simplement deux exemples de ces formules expérimentales :

La formule de Meyer Peter et Muller décrit le débit solide transporté par charriage :

$$q_s = 0 \quad \text{si } \tau_p < \tau_{pc}$$

$$q_s = 8\rho_s \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}} g d^3 (\tau^+ - \tau_c^+)^{\frac{3}{2}} \quad \text{si } \tau_p > \tau_{pc} \dots\dots\dots (2.12)$$

Où τ_p^+ est la contrainte adimensionnelle de début d'entraînement des grains donnée par la courbe de Shields. La variable de cette formule est probablement limitée à une granulométrie comprise entre 0.4 et 30 mm (sables et graviers) et à un paramètre τ^+ compris entre 0.05 et 0.3.

La formule d'Engelund et Hansen représenté le total (charriage +suspensions) de sables fins (granulométrie entre 0.15 et 0.9 mm) :

$$q_s = 0.05 \rho_s u^2 \sqrt{\frac{\rho d}{(\rho_s - \rho)}} \tau^{+\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (2.13)$$

2.1.6.2. Le transport solide en suspension

Le transport solide en suspension représente le transport de sédiments fins (argiles, limons, sable fins), de taille microscopique, 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.

Quelques valeurs indicatives, permettent de délimiter les deux modes de transport. Ces valeurs utilisent le rapport entre vitesse de l'écoulement V sur le lit du cours d'eau, et la vitesse W de chute des particules, (Graf, 1971)

$V/W > 0.10$ début de transport par charriage.

$V/W > 0.40$ début de transport en suspension.

Les critères de suspension, donnés par Bagnold, Van Rijn, Eugelund et Schields sont représentés dans la figure 2.3

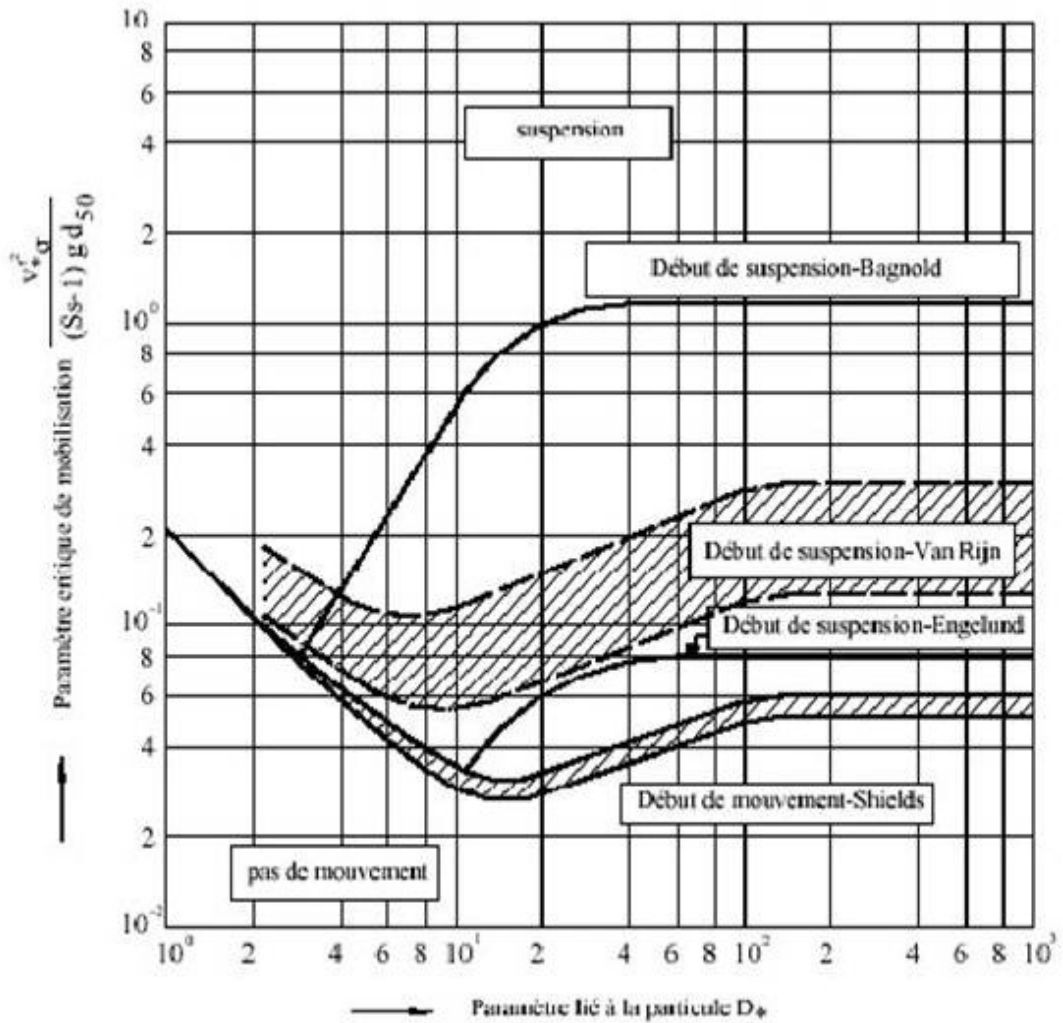


Figure 2.3 : Critères de suspension (Van Rijn, 1984).

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.

Le transport en suspension est le processus dominant du transit sédimentaire, puisqu'il représente 90% de la charge totale annuellement transportée des fleuves vers les océans (Milliman et Meade, 1983).

2.1.6.2.1. Technique de prélèvement pour la mesure du transport solide en suspension (ou turbidité)

La mesure du transport solide se fait sur toute la largeur de la section de mesure. La méthode utilisée consiste à explorer le champ des vitesses et des concentrations sur une section donnée du cours d'eau.

Des prélèvements d'échantillons par des équipements spécifiques, au droit de la section de mesure, se font parallèlement au jaugeage de débit au moulinet pour différentes largeurs et différentes profondeurs de la section de mesure.

Le prélèvement d'échantillons doit se faire avec des appareils à action très rapide. Il existe plusieurs appareils de prélèvements d'échantillons actuellement utilisés, à savoir :

- Turbidisonde NEYRPIC.
- Turbidisonde DELFT
- Prélèvement au moyen d'une pompe.
- Prélèvement au moyen de bouteilles.

Pour les faibles courants d'eau, le prélèvement peut être fait à l'aide de bouteille que l'on envoie à la profondeur voulue grâce à un câble.

2.1.6.2.2. Procédé de mesure des matériaux en suspension

Les échantillons prélevés sont pris au laboratoire .Les eaux sont filtrées .les matériaux en suspension sont récupérés sur des filtres en papier ou des membranes cellulosiques préalablement pesés. Ces dernières sont séchées à l'étuve à environ 100°C. Le filtre séché est pesé avec une balance de précision et le poids de la charge solide est ramené à l'unité de volume. La turbidité ou la concentration en élément en suspension s'exprime en mg/l ou g/m³.

Si l'échantillonnage a eu lieu sur une eau relativement calme et peu chargée, il convient de calciner l'ensemble papier et charge au four à moufle (500°C) afin d'éliminer les matières organiques incluses dans la charge filtrée.

2.1.6.2.2.1. Procédé de quantification du débit solide

Sur un certain nombre de points répartis sur plusieurs verticales A, B, C, D,...d'une section, nous avons fait des prélèvements et déterminé aussi bien le débit liquide spécifique instantané que la concentration C en g/m³ de matériaux en suspension .

En reportant cette section, sur un système d'axe XoY, avec en abscisse la largeur de la rivière (rive droite à rive gauche) et en ordonnée les profondeurs à partir de la surface de l'eau, n'importe quel point de mesure sera identifié comme le montre la Figure 2.4.

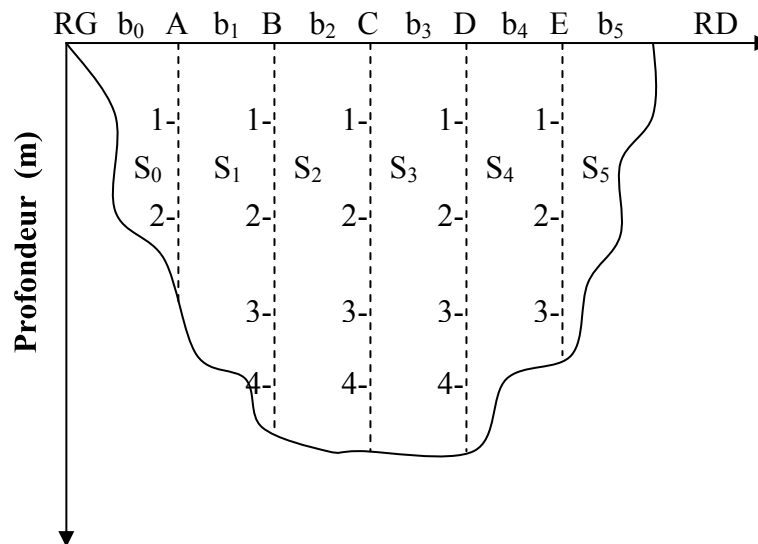


Figure 2.4 : Section de mesure du débit liquide instantané spécifique.

L'épure des débits solides élémentaires est tracée pour chacune des verticales comme le montre la Figure N°II.5 pour la verticale A prise comme exemple.

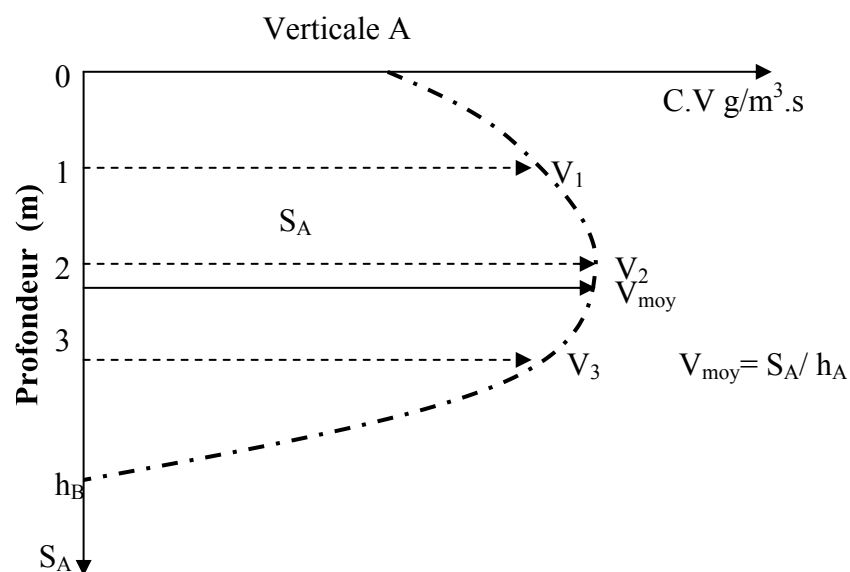


Figure 2.5 : Epure des débits solides élémentaires (Verticale A).

Le débit solide élémentaire est donné par la formule suivante :

$$q_s = \int_0^{Y_d} C.V.d_y \quad \text{En g/m.s..... (2.14)}$$

Le débit solide en suspension par unité de largeur de la rivière est déterminé pour chacune des verticales. Le débit solide total Q_s exprimé en g/s n'est que l'intégration des différents débits solides élémentaires des différentes verticales (Figure 2.6).

Le débit solide donné à travers la section de mesure est donné par la formule suivante :

$$Q_s = \int_0^X q_s(X)dx \quad \text{en g/s ou en tonne/an..... (2.15)}$$

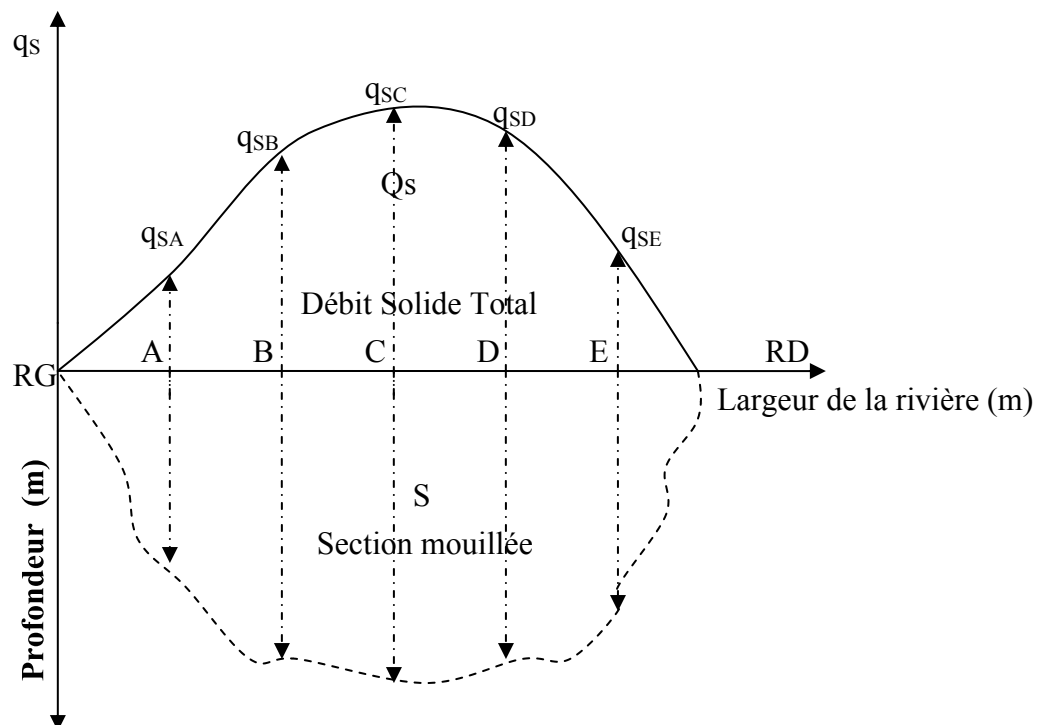


Figure 2.6 : Epure du débit solide

2.1.6.2.3. Evolution des débits solides en fonction des débits liquides

La mobilisation des matériaux solides sur les versants et leur transport éventuel par les cours d'eau, représente deux phénomènes distincts, mais liés entre eux. Le débit solide moyen des sédiments en suspension qui transitent sur une section d'écoulement moyen est calculé par le produit de la concentration moyenne des sédiments en suspension C par le débit liquide moyen Ql durant une période de temps donné.

$$Q_s = Ql C \dots\dots\dots(2.16)$$

Depuis longtemps, on a essayé de corrélérer les débits solides aux débits liquides et de déterminer une relation qui permettrait d'estimer les premiers à partir des seconds. A ce titre, nous citons les travaux de Jakuschoff (1932) sur les rivières de Turquie et ceux de Straub (1936) sur le fleuve du Missouri (USA) (Einstein., 1950, Leopold. et al. 1953).

La concentration des sédiments en suspension C et le débit liquide évoluent en général suivant un modèle de puissance $Y = a X^b$ (Etchanchu et al. 1986 ; Walling. et al. 1981 ; Wood P.A., 1977).

$$C = a Ql^{b-1} \dots\dots\dots(2.17)$$

Une autre relation empirique communément appelée courbe du transport solide (Cambell F.B et al. 1940 ; Crawford, 1991) lie le débit solide au débit liquide :

$$Q_s = a Ql^b \dots\dots\dots (2.18)$$

Ce type de relation a été proposé dès 1895 par Kenedy, (Einstein, 1989). Depuis, plusieurs chercheurs ont essayé d'identifier surtout la valeur de l'exposant b . Leopold et al. (1953) proposent pour les rivières de l'ouest des Etats Unis d'Amérique des valeurs de b variant entre 2 et 3, d'autres auteurs tels que Parsons et al.(1963), Muller et Forstner (1968), Bruschin et Trau (1977), Wood (1977), Finlatson (1978), Walling et Webb (1981,1982), Meybeck (1984) ainsi que Probst et Bazerabachi (1986) les limitent entre 1 et 2, en fonction des caractéristiques physiques, climatiques et hydrologiques des bassins versants, ou des conditions hydrauliques de l'écoulement dans les cours d'eau.

2.2. Aspect semi quantitatif de l'érosion

Le but sur l'étude d'érosion est d'estimer la perte annuelle de sol et évaluée l'état de milieu naturel pour intervenir par mieux opération d'aménagement d'une part, et déterminé la durée de vie des ouvrages hydrauliques (barrage, retenue collinaire,...) d'autre part.

2.2.1. Formule de Fournier

$$Ass = \frac{1}{36} \left(\frac{P_m^2}{P_{am}} \right)^{2.65} \left(\frac{h^2}{S} \right)^{0.46} \dots\dots\dots (2.19)$$

Avec

Ass : apport solide spécifique (t/km²/an) ;

P_m : précipitations moyennes mensuelles du mois le plus pluvieux (mm) ;

P_{am} : précipitations moyenne annuelles (mm) ;

h : dénivelée moyenne (m) ;

S : superficie du bassin versant (km²).

Tableau 2.2 : Résumés des résultats calculés par Fournier

| Station | Medina | Tifelfel | M'chouneche | T'kout |
|--|---------|----------|-------------|---------|
| apport solide spécifique (t/km ² /an) | | | | |
| Ass | 6876,37 | 8984,20 | 4305,47 | 6256,98 |

2.2.2. Formule de TEXERONT

$$Ass = 354.E^{0.15} \dots\dots\dots (2.20)$$

Avec :

E : Ecoulement en mm.

2.2.2.1. Calcul de la lame d'eau écoulée sur l'ensemble du Bassin Versant

La lame d'eau écoulée est le rapport entre le volume de pluie précipité et leur déficit par les phénomènes (évaporation, infiltration, évapotranspiration).

Pour calculé la lame d'eau écoulée, on utilisé la méthode de l'ANRH.

Formule de l'A.N.R.H :

La lame d'eau écoulée est donnée par la formule :

$$\bar{A} = Q \cdot N \quad \text{Et} \quad E = \frac{\bar{A}}{S \cdot 10^{-3}} \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

A : apport annuel (Hm3)

Q : débit moyen annuel (m3/s)

N : nombre de seconds de l'année = 365 x 24 x 3600 = 31536000 seconde

$$A = 0.915 \cdot P^{2.684} \cdot S^{0.842} \cdot 10^6 \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

P : pluviométrie moyenne annuelle du B.V. (216,91 mm) = 0,2169 m

A = 6,340 Hm3

E = 4,87 mm

Donc : $\text{Ass} = 461,72 \text{ t/km}^2/\text{an}$

2.2.3. Conclusion

Des écarts importants apparaissant d'une régions à l'autre et d'une méthode à l'autre en raison d'approches différentes utilisées par chaque auteur ; il est vrais que la méthode de Fournier ; par exemple ; est basée juste sur l'étude des nombreux bassins d'Algérie mais nous pensons qu'elle sous estime de loin importance de l'érosion dans ces bassins en particulier comme nous le verrons en raison des nombreux facteurs favorables à l'érosion à savoir : une lithologie contrastée et souvent marno argileuse très érodable du sud du bassin, l'absence relative du couvert végétale, mais aussi le caractère irrégulier et brutale des précipitations et des écoulements.

2.3. Transport solide en suspension dans le bassin versant d'Oued El Abiod

2.3.1. Variation annuelle de l'écoulement

L'étude des apports liquides sera basé essentiellement sur les données hydrométriques de la station de M'Chouneche comme seule station jaugeage dans le bassin versant de oued l'Abiod et ainsi situé à l'exutoire du bassin versant.

Le tableau ci dessous représente les apports liquides annuels et les débits moyens annuels enregistrés d'une série de 23 ans d'observations.

Tableau 2.3 : Les apports liquides et les débits moyens annuels à la station de M'Chouneche (Source L'ANRAH).

| L'année | L'apport liquide Hm3 | Débit m ³ /s |
|---------|-------------------------|-------------------------|
| 1971 | 21.6 | 0.686 |
| 1972 | 32.5 | 1.03 |
| 1973 | 8.77 | 0.28 |
| 1974 | 13.32 | 0.42 |
| 1975 | 17.99 | 0.57 |
| 1976 | 39.46 | 1.25 |
| 1977 | 7.87 | 0.25 |
| 1978 | 7.26 | 0.23 |
| 1979 | 21.8 | 0.69 |
| 1980 | 18.08 | 0.57 |
| 1981 | 4.7 | 0.15 |
| 1982 | 8.43 | 0.27 |
| 1983 | 2.51 | 0.08 |
| 1984 | 2.45 | 0.08 |
| 1985 | 8.73 | 0.29 |
| 1986 | 10.98 | 0.348 |
| 1987 | 3.36 | 0.112 |
| 1988 | 8.77 | 0.28 |
| 1989 | 19.8 | 0.63 |
| 1990 | 5.5 | 0.175 |
| 1991 | 3.55 | 0.113 |
| 1992 | 4.29 | 0.137 |
| 1993 | 3.09 | 0.098 |

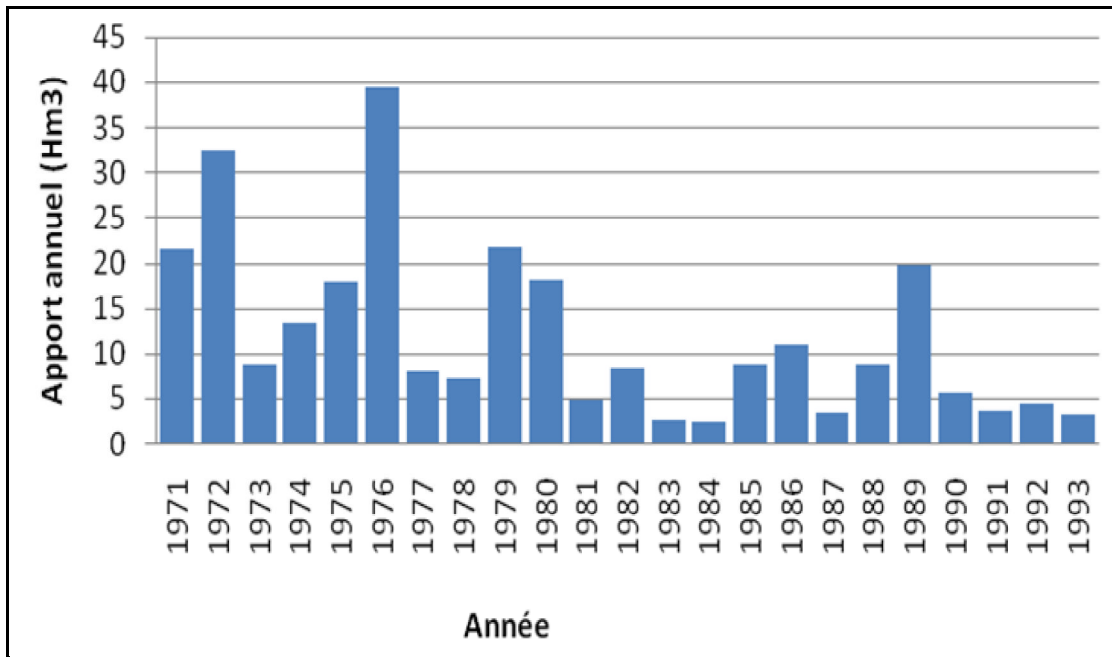


Figure 2.7 : Variation annuelle des apports liquides (station de M'CHOUNECHE).

A partir de la courbe tracée qui présente que le régime des apports liquides annuel est irrégulier et considérable dans certain années (32,50 à 1972) à cause de la nature des précipitations qui sont caractérisées par l'irrégularité et le caractère torrentiel ainsi que les autres facteurs favorisés l'écoulement superficiel (couverture végétale dégradée, formation lithologique peu perméable,...).

L'irrégularité des régimes hydrauliques est, bien entendue, encore plus accentuée que celle des précipitations.

Le tableau ci dessous donne le débit moyen annuel à la station de M'Chouneche, ces valeurs traduisent bien le régime d'écoulement.

L'irrégularité des débits annuels se caractérise par le coefficient d'hydraulicité (Rapport du module annuel de l'année QI au module inter annuel Q).

Tableau 2.4 : Le coefficient d'hydraulicité

| L'année | Débit m ³ /s | K |
|---------|-------------------------|------|
| 1971 | 0.686 | 1.91 |
| 1972 | 1.03 | 2.86 |
| 1973 | 0.28 | 0.78 |
| 1974 | 0.42 | 1.17 |
| 1975 | 0.57 | 1.58 |
| 1976 | 1.25 | 3.47 |
| 1977 | 0.25 | 0.69 |
| 1978 | 0.23 | 0.64 |
| 1979 | 0.69 | 1.92 |
| 1980 | 0.57 | 1.58 |
| 1981 | 0.15 | 0.42 |
| 1982 | 0.27 | 0.75 |
| 1983 | 0.08 | 0.22 |
| 1984 | 0.08 | 0.22 |
| 1985 | 0.29 | 0.81 |
| 1986 | 0.348 | 0.97 |
| 1987 | 0.112 | 0.31 |
| 1988 | 0.28 | 0.78 |
| 1989 | 0.63 | 1.75 |
| 1990 | 0.175 | 0.49 |
| 1991 | 0.113 | 0.31 |
| 1992 | 0.137 | 0.38 |
| 1993 | 0.098 | 0.27 |
| Moy | 0.38 | |

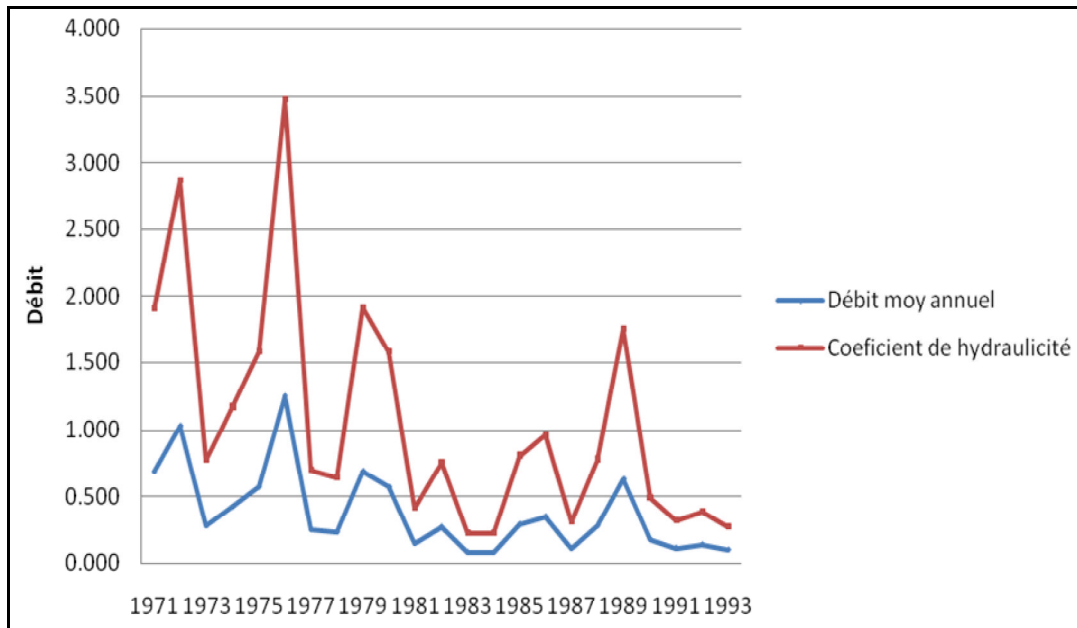


Figure 2.8 : Variation de débit moyen annuel.

La variation du coefficient de l'hydraulicité montre l'irrégularité du débit de l'oued l'Abiod de chaque année, les coefficients les plus élevés correspondent aux années humides, par contre les années sèches où le débit (module annuel) est inférieur au débit moyen qui est représenté par les coefficients inférieurs à l'unité.

2.3.2. Détermination des débits solides en suspensions

Les sédiments qui pénètrent dans une retenue et qui résultent de l'érosion, sont transportés jusqu'à la retenue par les lits mineurs des réseaux hydrographiques ainsi que par mis elle direct. Ces apports solides qui sont d'une granulométrie extrêmement variée, allant des graviers et des cailloux jusqu'aux particules de limons et d'argile.

$$Q_{ss} = Q_l \times C \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

Q_{ss} : débit solide en suspension (Kg/s)

Q_l : débit liquide (m³/s)

C : concentration des suspensions (Kg/m³)

Le tableau ci dessous représente la quantité des suspensions annuelle :

Tableau 2.5 : Transport solide en suspension par (1000T).

| L'année | Apport liquide annuel (Hm3) | Débit liquide (m ³ /s) | Débit solide (Kg/s) | Apport solide annuel (x1000 T) |
|---------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| 1971 | 21.6 | 0.686 | 22.0 | 474.2 |
| 1972 | 32.5 | 1.03 | 33.0 | 1071.2 |
| 1973 | 8.77 | 0.28 | 9.0 | 78.6 |
| 1974 | 13.32 | 0.42 | 13.4 | 179.0 |
| 1975 | 17.99 | 0.57 | 18.2 | 328.1 |
| 1976 | 39.46 | 1.25 | 40.0 | 1578.4 |
| 1977 | 7.87 | 0.25 | 8.0 | 63.0 |
| 1978 | 7.26 | 0.23 | 7.4 | 53.4 |
| 1979 | 21.8 | 0.69 | 22.1 | 481.3 |
| 1980 | 18.08 | 0.57 | 18.2 | 329.8 |
| 1981 | 4.7 | 0.15 | 4.8 | 22.6 |
| 1982 | 8.43 | 0.27 | 8.6 | 72.8 |
| 1983 | 2.51 | 0.08 | 2.6 | 6.4 |
| 1984 | 2.45 | 0.08 | 2.6 | 6.3 |
| 1985 | 8.73 | 0.29 | 9.3 | 81.0 |
| 1986 | 10.98 | 0.348 | 11.1 | 122.3 |
| 1987 | 3.36 | 0.112 | 3.6 | 12.0 |
| 1988 | 8.77 | 0.28 | 9.0 | 78.6 |
| 1989 | 19.8 | 0.63 | 20.2 | 399.2 |
| 1990 | 5.5 | 0.175 | 5.6 | 30.8 |
| 1991 | 3.55 | 0.113 | 3.6 | 12.8 |
| 1992 | 4.29 | 0.137 | 4.4 | 18.8 |
| 1993 | 3.09 | 0.098 | 3.1 | 9.7 |

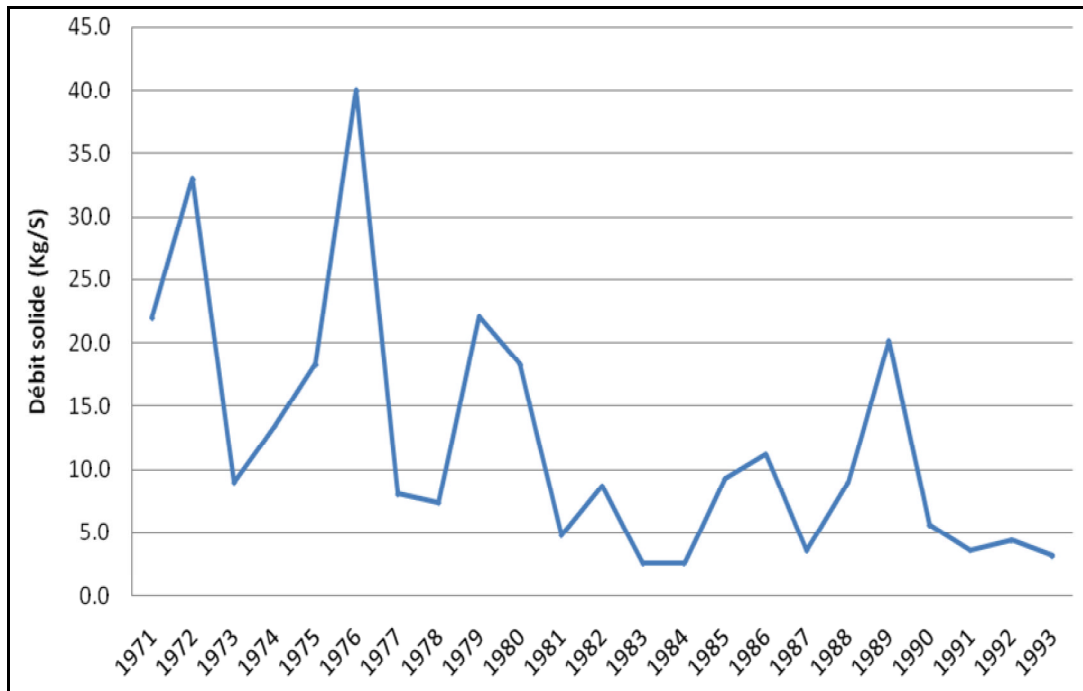


Figure 2.9 : Variation annuel de débit solide.

À partir des graphes on peut distinguer deux phases pluviométriques :

1^{ère} phase : 1971 – 1982

2^{ème} phase : 1982 – 1993

En première phase, on remarque que la quantité de transport solide augmente en parallèle avec l'apport liquide et on peut interpréter ce phénomène par l'érosion agressive qui résulte de la pluie torrentielle surtout après une longue période de sécheresse avec taux de reboisement faible et les manques relatifs des aménagements anti-érosifs.

En deuxième partie ; à partir de 1982 on observe que la régression du régime fluvial d'oued l'Abiod (sauf certaines crues) est causée par la dégradation climatique dans d'autres zones, avec décroissance des sédiments transportés par l'oued.

2.4. Conclusion

En général, la perte moyenne annuelle du bassin versant d'Oued El Abiod est estimée à 500 T/Km²/an environ. Ce qui laisse le barrage de Foug El Gherza en exposition au risque d'envasement rapide. Elle demande une intervention en urgence et efficace pour assurer une durée de vie optimale de cet ouvrage vital.

CHAPITRE 3

ENVASEMENT DE LA RETENUE DU BARRAGE DE FOUM EL GHERZA

3.1. Introduction

Les sédiments pénétrant dans une retenue, provenant du bassin versant sont transportés par le réseau hydrographique jusqu'à la retenue. Ces sédiments entrant dans une retenue s'y déposent ou franchissent le barrage. La partie déposée peut avoir un caractère permanent. Ces dépôts peuvent se progresser rapidement lors des crues importantes entrant dans le réservoir du barrage, à niveau minimum d'exploitation. Comme ils peuvent être chassés à travers les vidanges de fond. Cette portion des sédiments qui franchisse le barrage est généralement constitué de fines particules (0,062 mm) en suspension ou déplacées par des courants de densité au débit de la mise en eau de la retenue.

Toutes les retenues créées par des barrages sur des cours d'eau naturels sont exposés au risque d'envasement et de la sédimentation.

Les dommages causés à l'environnement et à la durée de vie du barrage par les dépôts peuvent être importants et ils peuvent s'avérer extrêmement difficile d'y remédier notamment dans les régions arides et semi-arides.

L'alluvionnement des retenues reste le plus préoccupant et pose problème au concepteur de barrages. Si, aujourd'hui il nous paraît plus aigu, c'est parce que les nécessités de la mise en valeur des ressources hydrauliques résultant de la croissance démographique sont mises à réflexion dans les pays en voie de développement. Les solutions à adopter pour faire face à cette menace qui contribue à la dégradation des aménagements hydrauliques résident dans l'évaluation correcte et la maîtrise de l'envasement annuel.

3.2. Les principaux facteurs dont dépendent les apports solides d'un bassin versant

Les apports solides venant de l'amont, sont fonction essentiellement des facteurs suivants :

- Volume et intensité des précipitations ;
- Géologie et nature du sol ;

- Couverture du sol (végétation, fragment de roches) ;
- Utilisation et exploitation de sol (méthode de culture, exploitation forestière, chantiers de construction) ;
- Géomorphologie et topographie ;
- Réseau hydrographique (pente, forme, dimensions et tracé des canaux) ;
- Ruissellement ;
- Caractéristiques des sédiments (granulométrie, minéralogie...) ;
- Hydraulique du lit (rugosité, rayon hydraulique...) ;

3.3. Conséquences de la sédimentation

Les conséquences de la sédimentation dans les barrages peuvent être extrêmement gênantes. Elle a un impact au niveau du réservoir lui-même, en amont et en aval du barrage [16].

3.3.1. Réduction de la capacité

Les dépôts successifs de sédiments dans une retenue de barrage réduisent la capacité utile d'un barrage, et par suite sa durée de vie. Ce phénomène se traduit par une diminution des niveaux de services rendus par le réservoir. L'actualisation de la courbe : hauteur-capacité devient indispensable pour la bonne gestion de l'eau du barrage. Elle demande des mesures du dépôt des sédiments de manière périodique (par exemple tous les deux ans) par la réalisation de levés bathymétriques [16].

3.3.2. Erosion des berges

L'évolution du fond vaseux engendre la remontée du plan d'eau qui peut provoquer une nouvelle érosion des berges [16].

3.3.3. Blocage des organes de vidange

La sédimentation peut provoquer l'obturation des pertuis de vidange. C'est ainsi que plusieurs barrages algériens ont connu un tel problème. La vanne de fond du barrage d'Oued El Fodda (Algérie) est bloquée depuis 1948 et se trouve actuellement sous plus de 40 m de vase, obligeant les services hydrauliques à équiper en 1961 l'ouvrage de cinq

vannettes de dévasement. Aujourd'hui, deux vannettes sont complètement bloquées suite à l'évolution du toit de la vase.

La vanne de fond du barrage de Zardezas a été aussi obturée suite à la forte sédimentation durant les années quatre vingt [16].

3.3.4. Sécurité de l'ouvrage

La sédimentation accélérée peut mettre en danger la stabilité de la digue, surtout pour les barrages en béton. La forte densité de la vase (elle peut atteindre 1,8) engendre une augmentation de la poussée hydrostatique exercée sur le barrage.

Pour minimiser la poussée hydrostatique exercée sur le barrage de Zardezas (Algérie), un volume d'eau de 9 millions m³ a été évacué en 1990 uniquement pour assurer la sécurité de l'ouvrage [16].

3.3.5. Dégradation de la qualité de l'eau

Les sédiments véhiculent des produits chimiques (nitrates, sulfates...) qui proviennent particulièrement des apports en éléments fertilisants aux cultures et qui se déposent dans les réservoirs ; ils entraînent ainsi une dégradation de la qualité de l'eau et favorisent l'eutrophisation des réservoirs [16].

3.3.6. Sédimentation dans les canaux d'irrigation

Les problèmes issus de la sédimentation ne se limitent pas à l'amont et au niveau du barrage, mais ils s'étendent bien en aval. Les sédiments se retrouvent en suspension dans l'eau distribuée par des canaux à partir des barrages ; ils se déposent dans ces ouvrages, réduisant ainsi leur section mouillée et le débit véhiculé. Le curage et le nettoyage des canaux deviennent une opération périodique et régulière [16].

3.4. Dépôts solides

Les dépôts solides résultant des actions mécaniques ou chimiques par lesquelles des sédiments s'accumulent dans un endroit (réservoir) au repos, ont des caractéristiques variables d'une retenue à l'autre. Les levés bathymétriques ou topographiques des retenues et les données recueillies sur les dépôts solides ont permis de déterminer et d'analyser un grand nombre de caractéristiques du phénomène de dépôts qu'il faut considérer dans les études.

Actuellement, nous disposons des relations empiriques établies à partir de levés topographiques des retenues et de données obtenues par des prélèvements d'échantillons, ces relations portent sur :

- Le taux de rétention des apports solides dans les réservoirs.
- La masse volumique des dépôts solides et la répartition des dépôts qui restent difficile à comprendre.
- La hauteur de la couche des sédiments au droit du barrage.

3.4.1. Taux de rétention

Le taux de rétention d'une retenue est défini, comme le rapport entre la quantité des sédiments déposée et les apports solides totaux. Ce rapport ou pourcentage de matériaux solides retenus ou décantés dépend du volume et de la granulométrie des sédiments entrant, du débit s'écoulant dans la retenue et des niveaux d'exploitation ; car le pourcentage de décantation est plus élevé lors de l'arrivée des premières crues, au moment où les niveaux d'eau sont bas.

3.4.2. Modes et facteurs de répartition des dépôts

La distribution, des sédiments transporté dans les retenues et graduellement décroissante, de l'amont vers l'aval d'après PARZONKA (1967-1986). Une fois, les sédiments arrivés dans une retenue, ils se déposent :

- La partie qui amenée par charriage se dépose tous près de l'entrée de la retenue en forme de delta, ce sont généralement les matériaux les plus grossiers.
- Les matériaux transportés en suspension se déposent d'une manière plus ou moins uniforme et dans les différentes parties de la retenue.

Les plus fins, peuvent même arriver près du barrage pour qu'ils se déposent ou bien ils franchissent ce dernier.

Les dépôts, formaient dans les parties amont du réservoir, peuvent être entraînés par la suite, vers les parties les plus avales au fur et a mesure de l'abaissement du plan d'eau. Ça se produit sans l'influence des vitesses d'écoulement à différentes profondeurs et pour un niveau constant du dépôt comme le montre la figure 3.1.

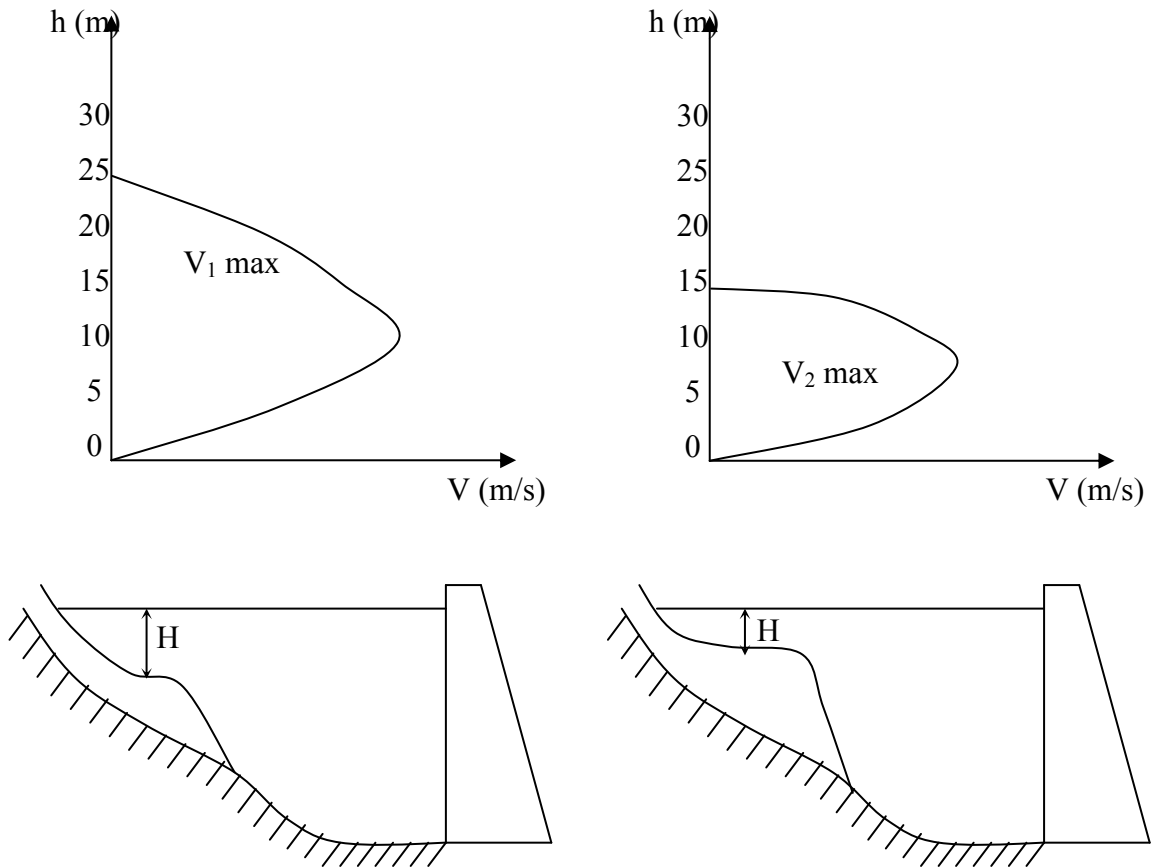


Figure 3.1 : Influence de la vitesse sur la répartition des dépôts.

$H_1 > H_2$ pour un même débit $\Rightarrow V_2 > V_1 \Rightarrow$ charriage 2 > charriage 1

Alors avec l'abaissement du plan d'eau, et pour un même débit d'écoulement, la pente de la vitesse s'approche du fond et par conséquent commence à entraîner les dépôts de l'amont vers l'aval.

Il existe aussi, comme facteurs influant la répartition des dépôts dans les retenues, la granulométrie. C'est à dire les particules de gros diamètre en général. Les plus pesante se déposent les premiers, juste à l'embouchure du réservoir ou il y'a lieu d'une diminution considérable de la vitesse qui fait former le delta.

La topographie est un autre facteur de grande importance qui influe par sa pente, sur la vitesse de l'écoulement, comme le montre cette relation :

$$V = C \sqrt{R \cdot I} \dots\dots\dots (3.1)$$

Avec :

V : Vitesse de l'écoulement (m/s) ;

R : Rayon hydraulique (m) ;

I : Pente naturelle (m/m) ;

C : Coefficient de Manning ($m^{1/2}/s$).

Le rayon hydraulique est lui-même, fonction de la topographie. Un fort séisme, pourrait une liquéfaction massive des sédiments, qui sous cette forme liquéfiée, se déplacerait alors vers l'aval et se déposent d'une nouvelle manière et même peut obstruer les prises d'eau.

3.4.3. Prévion des taux de consolidation des dépôts solides

Les prélèvements de sédiments, déposés au fond des retenues fournis des informations nécessaires et utiles, sur la masse volumique des dépôts solides, qu'il faut la connaître pour calculer le volume qui doit occuper ces derniers.

La masse volumique est exprimée en masse sèche par volume unitaire, sert à convertir en volume, la masse des apports solides totaux dans une retenue. La nécessité de la conversion apparaît quand ces apports sont calculés à partir des programmes de quantifications, par prélèvement de sédiments en suspension et de sédiments charriés.

Il n'y a aucun problème pour le calcul de masse volumique. Dans le cas des éléments de granulométrie supérieurs à 0,1 mm, leur masse volumique variée très peu. Il est possible de considérer une valeur moyenne de 1300 Kg/m^3 . Par contre la présence d'éléments de granulométrie inférieure à 0,01 mm complique beaucoup de problème car il y'a d'autres facteurs ou paramètres et du temps de sédimentation aussi.

3.4.3.1. Les facteurs influant sur la masse volumique

Les principaux facteurs dont dépend la masse volumique des dépôts solides dans une retenue sont :

- Le mode d'exploitation de la retenue.
- La texture et les dimensions des particules solides déposées.
- Le taux de consolidation des dépôts solides.

Le mode d'exploitation de la retenue est probablement le facteur le plus déterminant. Les sédiments déposés dans les retenues soumis à des creux, considérables se trouvent à découvert pendant de longue période au cours de la quelle, ils se consolident.

Les dimensions des éléments solides entrant dans le réservoir influent largement sur la masse volumique, les dépôts constitués de silt et de sable ont une masse volumique supérieure à celle où l'argile est dominante.

Une première classification des sédiments, suivants leurs dimensions a été proposée par l'American Géophysical Union, est très utilisée actuellement dans le monde.

Tableau 3.1: Classification des sédiments selon leurs tailles.

| Type de sédiments | Dimension en mm |
|-------------------|-----------------|
| Argile | <0,004 |
| Silt | 0,004 - 0,062 |
| Sable | 0,062 - 2 |

Source : Bulletin 67 CIGB 1989

L'accumulation des nouvelles couches de sédiments, sur les anciennes modifie la masse volumique des couches de dépôts antérieurs durant la durée de vie d'un barrage. La capacité de stockage perdu, peut être récupérable par une consolidation des sédiments déposés.

3.4.3.2. Les relations empiriques de la masse volumique moyenne

Un groupe d'ingénieurs canadiens, à travaillé sur le barrage de Péligre en (Haïti), établissait une relation empirique pour déterminer la masse volumique des différents dépôts, selon l'expression suivante :

$$\rho_d = \frac{G_s}{1 + W \frac{G_s}{S_r}} \rho_w \dots\dots\dots (3.2)$$

Où :

ρ_w : La masse volumique de l'eau ;

S_r : Degré de saturation ($S_r = 100\%$) ;

G_s : Densité relative des grains ;

W : Teneur en eau.

L'USBR lui-même a bien présenté une relation qui s'avère efficace à la détermination de la masse volumique moyenne ce qu'elle prend en compte des trois facteurs précités et repose sur la formule de tassement mise au point par MILLER CR (1953).

Le mode d'exploitation et certainement le facteur prépondérant en raison de l'importance de consolidation ou séchage, que risque de subir l'argile présentée dans les dépôts quand une retenue est soumise à des creux de grande amplitude. La taille des particules solides entrant dans la retenue influe aussi comme le montre la variation de la masse initiale.

Une étude sur les masses initiales de quelques 1300 échantillons, analysées statistiquement par LARA J.M et PEMBERTON.E.L (1963). Conduit à formuler les équations mathématiques donnant les variations des masses initiales des dépôts suivant le mode d'exploitation de la retenue considérée. D'autre donnée sur la masse volumique des matériaux déposés fournis par de nouveaux levés topographiques, ont affiné les équations de Lara et Pemberton et de Lane et Koezler.

Les modes d'exploitation des retenues ont été classés comme montre le tableau 3.2 :

Tableau 3.2 : Modes d'exploitation des retenues.

| Type | Exploitation de la retenue |
|------|---|
| 1 | Sédiment toujours submergé ou pratiquement submergé |
| 2 | Creux moyen à considérable en temps normal |
| 3 | Retenue vide en temps normal |
| 4 | Sédiment dans le lit mineur. |

Source : Bulletin 67 CIGB 1989

Une fois le type de retenue choisi, on peut facilement estimer la masse volumique initiale des dépôts en utilisant l'équation (3.3).

$$W1 = Wc.Pc + Wm.Pm + Ws.Ps \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

W1 : Masse volumique en kilogramme par mètre cube ;

Pc, Pm, Ps : Pourcentages respectifs de l'argile du silt et du sable.

Tableau 3.3 : Coefficient de l'équation (3.3)

| Type de retenue | Wc | Wm | Ws |
|-----------------|-----|------|------|
| 1 | 416 | 1120 | 1550 |
| 2 | 561 | 1140 | 1550 |
| 3 | 641 | 1150 | 1550 |
| 4 | 961 | 1170 | 1550 |

Source : Bulletin 67 CIGB 1989

Après une période d'exploitation, la masse volumique sera donnée par l'équation suivante :

$$W_T = W_1 + 0,4343K \left(\frac{T}{T-1} (\ln T) - 1 \right) \dots\dots\dots(3.4)$$

Dans laquelle :

W_T : Masse volumique moyenne après T années d'exploitation (Kg/m^3)

Tableau 3.4 : La constante K en fonction du mode d'exploitation et de la granulométrie.

| Type de retenue | K | | |
|-----------------|-------|------|--------|
| | Sable | Silt | Argile |
| 1 | 0 | 91 | 256 |
| 2 | 0 | 29 | 135 |
| 3 | 0 | 0 | 0 |

Source : Bulletin CIGB 1989

La valeur résultante est utilisée pour convertir la masse des dépôts occupant un volume dans la retenue à une période de 100 ans.

3.4.4. Les courants de turbidité ou de densité

Sous l'influence de leur poids, les sédiments déposés sur un fond rigide en pente, tendent à se mettre en mouvement par effet de la gravité. C'est la cohésion du matériau qui va s'opposer à ces efforts de gravité.

En effet un sol peu compact, à faible concentration en particules solides, s'écroule sur une pente assez faible, alors qu'un sol suffisamment tassé pourra se maintenir en équilibre le long de pentes plus raides.

Les vases qui s'écroulent sur les fonds sous forme d'un fluide plastique et homogène, peuvent se traduire par une dilution des sédiments dans le milieu aqueux (moins de 250g/l). On passera alors des dépôts à des suspensions dont la rigidité initiale est négligeable. C'est alors que des courants de turbidité apparaissent et se propagent sur les fonds à de grandes distances de leur lieu de formation. Ces courants transportent des quantités importantes de matériaux. En effet la masse vaseuse glisse, s'écroule et se fragmente sans qu'il y ait remise en suspension des particules élémentaires.

Il faudra distinguer la différence entre coulées et courants de turbidité : les courants de turbidité prennent naissance à partir de suspensions n'ayant pas de rigidité initiale, alors que les coulées boueuses sont liées à des sols compacts ou plastiques.

Les courants parcourent de très grandes distances sur des fonds de faible pente et n'érodent que les fonds peu consolidés. Ils transportent de grandes quantités de matières et sont donc agents de sédimentation. Les coulées par contre, prennent naissance à partir d'une rupture de l'équilibre des sols (glissement) et peuvent se transformer en avalanches sous-marines. Elles ont un pouvoir érosif important, surtout si la pente du fond est importante.

La vitesse de formation d'un courant de turbidité peut s'exprimer par :

$$V = K (g'H)^{1/2} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$\text{Avec : } g' = g (\rho_m - \rho_0)/\rho_0 \dots\dots\dots (3.6)$$

g = accélération de la pesanteur, g' = pesanteur réduite ;

ρ_m = densité de la suspension ;

ρ_0 = densité de l'eau claire ;

H = hauteur des eaux claires ;

K = coefficient expérimental ($K = 0.7$ pour de faibles viscosités).

Ces courants régis par la gravité réduite qui dépend d'une différence de densités, sont aussi appelés courants de densité. Ce sont des courants lents.

Les courants de turbidité déposent leurs matériaux dès que le nombre de Reynolds de l'écoulement turbide devient inférieur à : $Re = VH/\nu \leq 2000$ (avec ν = viscosité cinématique de la suspension).

Les figures 3.2 et 3.3, illustrent le comportement des sédiments fins dans la retenue et l'écoulement d'un courant de densité.

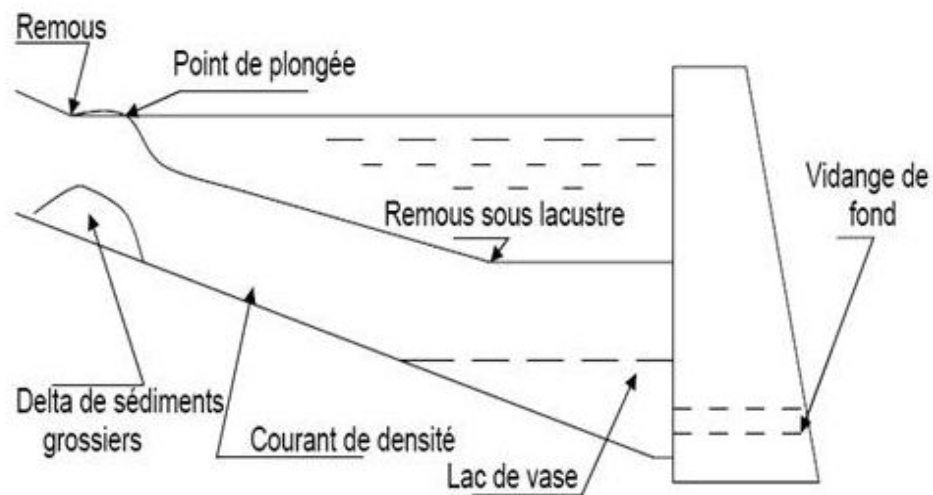


Figure 3.2 : Comportement des sédiments fins dans la retenue.

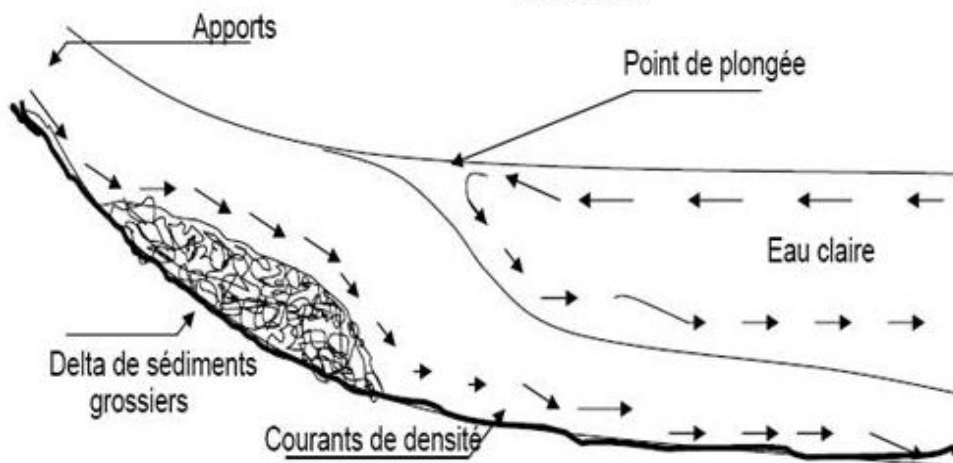


Figure 3.3 : Ecoulement d'un courant de densité.

3.5. Présentation du barrage de FOUM EL GHERZA

3.5.1. Historique du barrage

Les gorges de Foug-el-Gherza, creusées par l'oued el Abiod dans les Monts de l'Aurès, ont depuis longtemps attiré l'attention des techniciens ; étroites et profondes, elles permettent d'établir un barrage important par la construction d'une digue haute et de longueur réduite. En amont, parcourue par l'oued, s'étend une dépression où un volume d'eau considérable peut être accumulé ; à l'aval, dans la plaine saharienne, aux environs de l'oasis de Sidi Okba et Seriana, des terres alluvionnaires de bonne qualité justifient une mise en valeur rationnelle par le moyen des irrigations.

Ces avantages du site de Foug-el-Gherza, ont conduit les services de l'hydraulique à cette époque de réaliser pas mal d'ouvrages jusqu'à la réalisation du barrage de Foug el-Gherza comme il est à son état actuel. Dans ce qui suit nous citerons les différentes étapes de réalisation de ce patrimoine hydrique.

Le besoin en eau de la région de Sidi Okba et de Seriana, pour faire l'épandage afin d'irriguer les céréales et les palmeraies des plaines qui se trouvent à l'aval des gorges de Foug-el-Gherza, a conduit les services de l'hydraulique en 1847 à réaliser le premier barrage de dérivation, à cet époque un ouvrage avait été construit en amont de la gorge de Foug-el-Gherza. Les eaux étaient dérivées par une galerie souterraine creusée dans les calcaires de la rive droite.

En 1902, des travaux de dérivation de l'oued sont entrepris, mais dans la nuit du 15 au 16 septembre 1902 une crue violente variant entre $800 \text{ m}^3/\text{s}$ à $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ ravage le chantier. Dans le rapport relatant cet incident, l'ingénieur ordinaire, Monsieur, Mercadier propose la construction d'un barrage réservoir qui aurait le double avantage, de permettre l'extension des Oasis et de les défendre contre les crues.

De 1912 à 1918, un barrage poids de 3 m de haut est édifié au milieu de la gorge. Une galerie de 400 m a été creusée en rive droite, prolongée par un canal d'aménagé cimenté de 3 kilomètres et par un aqueduc franchissant l'oued El Biraz (nom de l'oued El-Abiod à l'aval de la gorge) alimentait l'Oasis de Sidi Okba.

En Juin 1920, une crue a été évaluée à $330 \text{ m}^3/\text{s}$ de débit maximum.

En 1926, la société française de stéréo topographie avait dressé un plan de la cuvette de Foug El Gherza au $1/5000^e$.

En 1927, l'administration commence à établir un projet de grand barrage réservoir.

En 1941, une étude géologique détaillée de l'emplacement du barrage a été faite par Monsieur, R. Laffite, ingénieur du service de la carte géologique.

En 1944, exécution d'une série de sondage dans le thalweg de l'oued El-Abiod, pour connaître la nature du bed rock.

En 1946, le concours pour la construction du barrage de Foum-El Gherza est ouvert le 25 avril 1946.

En 1947, l'ouverture des plis a lieu le 17 janvier 1947.

En 1948, le marché est approuvé le 26 février 1948, les fouilles des ancrages sont attaquées en mars 1948, le bétonnage a été exécuté en Août 1948 « travail de nuit en raison de la température élevée ».

De 1948 à 1950, travaux de collage, de consolidation et de traitement de l'écran d'étanchéité.

En 1950, la voûte et la culée ainsi que les ponts sur les déversoirs sont terminés en octobre 1950.

En 1951, mise en eau du barrage, la mise en place des déchargeurs et l'installation de la centrale hydroélectrique sont effectuées.

Dé 1950 à 1951, le renforcement des ailes de l'écran primitif. De 1952 à 1954, renforcement de l'écran d'étanchéité.

De 1954 à 1957, exécution d'un masque plaqué contre l'écran d'étanchéité et à l'amont de celui-ci, ces travaux sont terminés en 1957.

Le 10 octobre 1966 une crue exceptionnelle a pu être mesurée grâce aux mouvements de la retenue. Son débit maximum a été de $1980 \text{ m}^3/\text{s}$ durant près d'une heure. L'apport total de cette crue a été de 235 millions m^3 ,

En 1967, un levé bathymétrique a été effectué, la capacité de la retenue était de 35 millions de m^3 .

Le 10 octobre 1967, on enregistrait une crue de $80 \text{ m}^3/\text{s}$ en débit moyen sur 24 heures.

En 1970, des travaux de canalisation et de jaugeage des eaux de fuites ont été effectués.

En 1980, des fuites atteignant plus de 20 millions de m^3 ont été enregistrées dans ce barrage.

En 1986, un levé bathymétrique de la retenue a été effectué par GEOKART, la retenue est envasée à 50% et le réaménagement des équipements hydromécaniques et bâtiments de services ont été aussi effectués.

De 1989 à 1992, les résurgences de la rive droite ont été comblées par le rehaussement du lit suite aux différentes chasses effectuées de septembre 1989 à 1992.

De 1992 à 1993 l'Agence Nationale des Barrages, a effectuée une étude sur les variations des températures, pH, salinité, oxygène dissout, DBO5.

En 1996, des travaux de réhabilitation du réseau de piézomètres et drains par l'UFSI ont été réalisés, la rénovation des organes de prise d'eau et de vidange de fond par ENCC et l'assainissement du béton du corps du barrage par TRAVOMED.

En 1998, du 6 au 9 septembre, la première campagne de mesure des paramètres physico-chimiques a été effectuée par le Centre Des Techniques Nucléaires (CDTN).

En 2004, un levé bathymétrique de la retenue a été effectué, la retenue est envasée à plus de 68%.

En 2005, une première campagne des travaux de dragage des sédiments a été lancée en Mars et qui a été sanctionnée par l'extraction d'un volume de 4 millions de mètres cubes de vase en 21 mois.



Figure 3.4 : Barrage de Fom El Gherza

3.5.2. Caractéristiques techniques

Le barrage de FOUM EL GHERZA est l'unique barrage voûte en ALGERIE. La hauteur de la voûte est de 65 m au dessus du thalweg. La hauteur du déversoir du radier au couronnement est de 4,35 m. La largeur maximale au niveau des fondations est de 11,48 m, alors que la largeur au couronnement est de 3 m. La longueur en crête du barrage est de 126 m, à laquelle s'ajoutent 60 m de culée en rive gauche dont le sous-sol est étancheisé par un voile d'injection à une seule rangée qui s'étend jusqu'au versants latéraux.

3.5.2.1. Géométrie

- Hauteur de la voute au-dessus du thalweg 65 m
- Cote de la chaussée sur la voute 203,25 m
- Hauteur de la voute au-dessus du niveau inférieur des fondations 73 m
- Longueur de la crête de voûte 126 m
- Longueur totale y compris culée 186 m
- Epaisseur de la voute de base (cote 136,00 dans l'axe du barrage) 8,40 m
- Epaisseur en crête 9,265 m
- Largeur au couronnement 3,00 m
- Ouverture de l'arc 100,50 g
- Evacuateur de crue : 2 déversoirs superficiels sur la crête 2 X 18,00 m

3.5.2.2. Retenue et bassin versant

- Capacité initiale 1950 47 hm³
- Apport moyen annuel 21.066 Hm³
- Envasement moyen annuel 0.6 Hm³ / an
- Volume mort 30.104 Hm³
- Surface bassin versant 1300 Km²
- Surface de la retenue au niveau normal 3,1 km²
- Cote de la retenue normale 198,90 m

3.5.2.3. Destination

Elle permet d'assurer l'irrigation des palmeraies de SIDI OKBA, GARTA, SERIANA THOUDA d'une superficie totale de 850 Ha Correspondant a 150000 palmiers. L'irrigation se fait jusqu'en 1968, au rythme de 19 jours tous les 2 mois avec un débit de 1250 L / s.

Tableau 3.5 : Répartition des débits et des surfaces d'irrigation.

| Palmeraies | Nombre de palmiers | Débit attribue | Surfaces | Obs |
|------------|--------------------|----------------|----------|------------------------------------|
| Sidi okba | 130000 | 1000 l/s | 750 ha | 30000 palmiers plantés depuis 1954 |
| Garta | 11000 | 100 l/s | 60 ha | |
| Seriana | 5500 | 90 l/s | 25 ha | |
| Thouda | 3500 | 60 l/s | 15 ha | |
| Total | 150000 | 1250 l/s | 850 ha | |

3.5.2.4. Ouvrages annexes

3.5.2.4.1. L'évacuateur des crues

L'évacuation des crues se fait au moyen de deux déversoirs aménagés sur une jonction de la crête du barrage à la cote de 198.90 m. Ces déversoirs peuvent évacuer un débit de 730 m³ / s, pour une lame d'eau de 4.35 m de hauteur, soit une cote du plan d'eau maximum de 203.25 m.

3.5.2.4.2. La vidange de fond

Calée à la cote 149.25 m dans le plot central du barrage, la vidange de fond permet d'évacuer un débit de 110 m³ / s sous la retenue maximum.

Le dispositif de vidange de fond est constitué par :

- Une vanne batardeau de garde type Wagon.
- Un pertuis blindé.
- Une vanne de décharge type Secteur.

3.5.2.4.3. La prise d'eau

Les trois prises d'eau sont situées dans une tour demi cylindrique accolée à l'amont du plot central.

Les prises sont calées respectivement aux cotes 160.75 m, 178.25 m, 188.25 m .elles permettent de dériver un débit de 4 m³ /s.

Une grille fine allant de la cote 157.25 m à la cote 203,25 m s'appuie sur des poutres en béton faisant corps avec la tour de prise d'eau.

Les organes de manœuvre de chaque vanne sont constitués par un cric à crémaillère de 10 tonnes de force utile commandé à main un mouflage par câbles, une série de brimballes reliant l'attache du câble à celle du tablier et 2 poulies de renvoie.

Les vannes sont actionnées depuis la chambre de manœuvre situé dans le plot central à la cote 198.25 m. Dans cette même chambre se trouvent les organes de commande du batardeau de la vidange de fond.

Et se terminent à l'aval par une bride sur laquelle est raccordée la conduite forcée.

3.5.2.4.4. La conduite forcée

C'est la canalisation qui relie la tour de prise d'eau à l'usine hydro-électrique à 165 m de longueur et diamètre intérieur de 0.95 m.

Cette canalisation emprunte la galerie de 3x2.5 m aménagée dans la voute à la cote 157.75 m, elle est ancrée sur des massifs en béton armé.

3.6. Etat actuel de l'envasement du barrage du FOUM EL GHERZA

Les levés bathymétriques constituent l'un des moyens efficaces permettant d'informer sur l'évolution du toit de vase dans le temps au sein de la retenue. Cela signifie que l'estimation du volume des sédiments captés par un barrage est une chose possible à partir des résultats de prospections bathymétriques qui reposent sur une série de levés régulièrement répartis dans le temps.

Les études basées sur la bathymétrie sont d'autant plus précises que la régularité et la fréquence des levés sont plus importantes.

Cette étude n'aborde que sur les levés bathymétriques, ces derniers permettant d'évaluer la quantité réelle de la vase accumulée dans la retenue du barrage.

3.6.1. Méthodologie de réalisation d'un levé bathymétrique

La réalisation d'un levé bathymétrique commence par des levés terrestres des zones immergées et des zones émergées. Elle nécessite comme donnée d'entrée:

- Le schéma de triangulation et de polygonation avec ces coordonnées Lambert.
- Le plan topographique de la cuvette, de préférence à l'échelle 1/500.

Un point important à vérifier au stade de la préparation des mesures, est l'éventualité d'un affaissement ou d'une déformation de la cuvette de la retenue, cette déformation peut être due à la masse d'eau stockée dans la retenue ou à une autre activité géologique dans la région. Cette dernière peut produire un changement mineur de point de référence qui peut affecter considérablement la détermination de la nouvelle capacité de la retenue.

3.6.1.1. Gamme de travaux à exécuter

Il faut disposer d'une embarcation, d'un appareillage de sondage acoustique pour enregistrer un tracé continu du fond de la retenue quand l'embarcation se déplace le long d'un axe de référence.

Il faut étalonner les sondeurs avec l'ancien type d'appareillage pour ne pas fausser les résultats de mesures.

L'embarcation doit se déplacer à une vitesse pratiquement constante de 2 à 5 nœuds.

Il faut repérer l'embarcation soit par le procédé de triangulation classique, soit par un système électronique plus complexe de mesures. C'est pour qu'il permet de recueillir les données en un temps plus court.

Les données recueillies doivent être traitées par un micro-ordinateur muni de logiciels spécifiques.

3.6.1.2. Analyse des données fournis par les levés bathymétriques

La comparaison des capacités entre deux levés permet de mesurer le volume des sédiments accumulés. Pour le calcul, il est important que la méthode retenue pour déterminer la capacité de la retenue à partir des superficies correspondant aux courbes de niveau, soit la même pour les deux niveaux à comparer. En d'autres termes, si nous utilisons pour le calcul de la capacité initiale de la retenue, par exemple la loi "Prismoidal modifier", ou l'un des systèmes de mesures électroniques, il faut également l'employer pour le calcul de la nouvelle capacité.

Des levés ont permis d'autres analyses intéressantes, et consistent à tracer la courbe profondeur de la retenue en pourcentage en fonction du dépôt en pourcentage, ou la courbe du profil des dépôts solides dans l'axe longitudinal de la retenue. La première (%) est utilisée pour prévoir la répartition des dépôts solides dans la retenue. La deuxième fournit des informations intéressantes permettant de définir le delta, les pentes de couches des dépôts pour d'éventuels courants de densité qui ont une grande importance en cas d'une évacuation.

3.6.2. Capacité de la retenue et envasement

3.6.2.1. Evolution de la capacité de la retenue en fonction du temps

Le barrage de Foug El Gherza a connu 8 levés après sa mise en eau en 1950. Les résultats de ces levés sont consignés dans le Tableau 3.6.

Tableau 3.6 : Résultats des levés bathymétriques effectués au barrage de Foug EL Gherza.

| ANNEES | 1950 | 1952 | 1957 | 1967 | 1975 | 1986 | 1993 | 2001 | 2004 |
|-------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| CAPACITE INITIAL (R.N) EN Hm3 | 47 | 47.00 | 45.00 | 43.01 | 35.07 | 31.93 | 26.52 | 24.31 | 16.90 |
| CAPACITE EVALUEE (R.N) En Hm3 | 47 | 45.00 | 43.01 | 35.07 | 31.93 | 26.52 | 24.31 | 16.90 | 14.89 |
| ENVASEMENT ANNUEL EN Hm3 | 0 | 1.00 | 0.40 | 0.79 | 0.39 | 0.49 | 0.32 | 0.93 | 0.67 |
| PERTE DE CAPACITE EN Hm3 | 0 | 2.01 | 3.99 | 11.93 | 15.08 | 20.48 | 22.69 | 30.10 | 32.11 |
| TAUX D'ENVASEMENT EN % | 0 | 4.27 | 8.49 | 25.39 | 32.07 | 43.58 | 48.27 | 64.05 | 68.31 |
| CAPACITE RISDUELLE EN Hm3 | 47 | 45.00 | 43.01 | 35.07 | 31.93 | 26.52 | 24.31 | 16.90 | 14.89 |
| SURFACE EVALUEE EN Km2 | 3.88 | 3.62 | 3.25 | 3.26 | 3.17 | 3.18 | 3.19 | 3.07 | 3.10 |

L'évolution de la capacité de la retenue, sous la cote de retenue normale 198,9 NGA est représentée sur la figure 3.5.

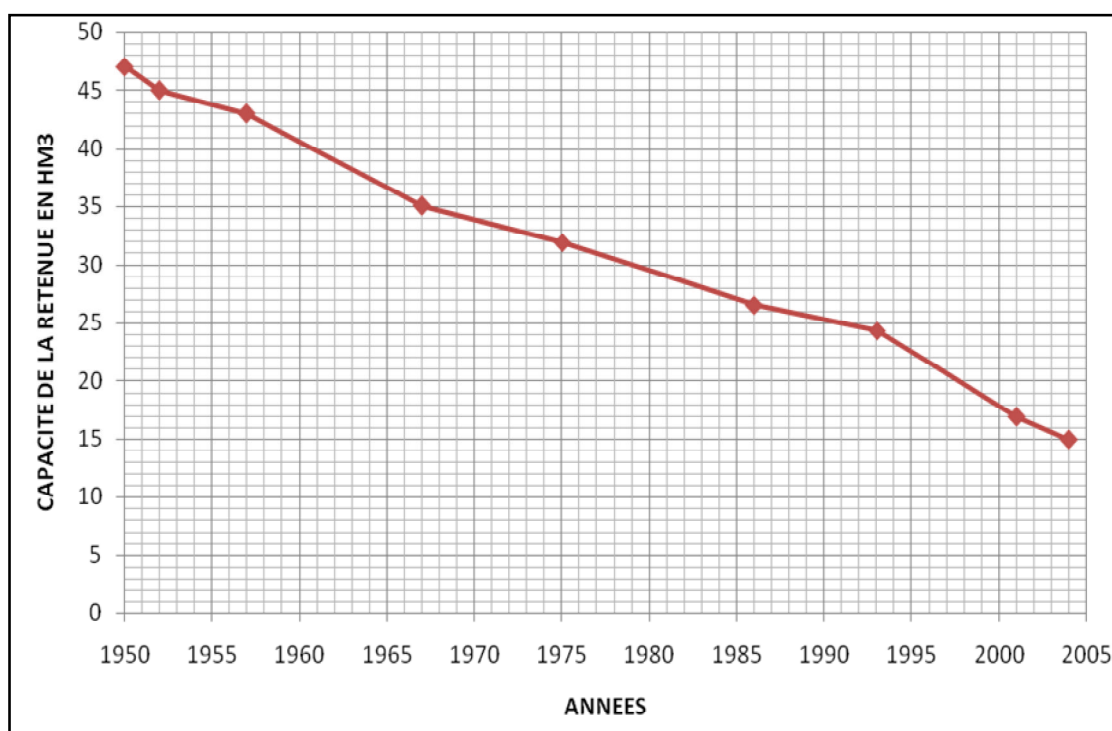


Figure 3.5 : Evolution de la capacité de la retenue en fonction du temps.

La perte annuelle de capacité est égale à 600000 m^3 par an.

Compte tenu de la surface du bassin versant, égale à 1300 Km^2 , les valeurs constatées conduisent à un taux d'abrasion égal à $600 \text{ T/Km}^2.\text{an}$, en retenant un poids volumique humide de 15 KN/m^3 , soit un poids volumique sec de 8 KN/m^3 .

3.6.2.2. Situation actuelle

La retenue fait l'objet d'un levé bathymétrique en janvier 2004, réalisé par le groupement GEOID/LEM. Suivant ce levé, la capacité actuelle, sous la cote de retenue normale, est de $14,89 \text{ Hm}^3$, la superficie à la même cote est de 310 Hectare.

La Figure 3.6 représente la courbe capacité-hauteur de la retenue d'après ce levé.

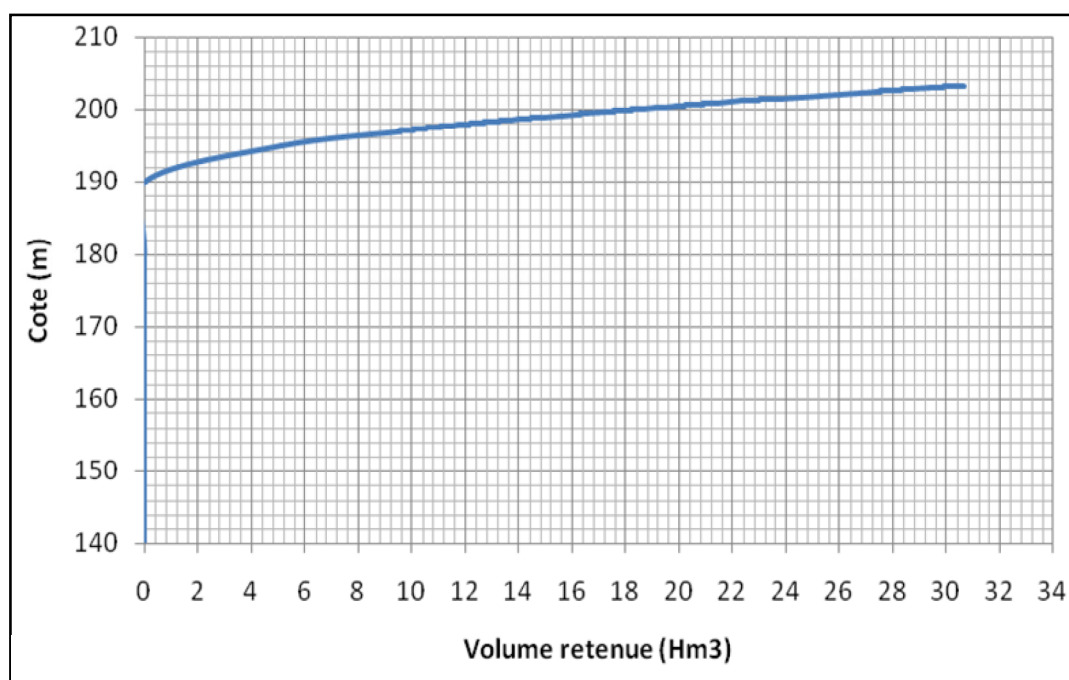


Figure 3.6 : Courbe hauteur capacité de la retenue en janvier 2004.

Cette figure montre que la retenue est totalement envasée jusqu'à la cote 190 environ, soit près de 50 m au dessus du fond initial de l'Oued.

3.6.2.3. Evolution de l'envasement en fonction du temps

L'utilisation de la technique du soutirage doit cependant être différente selon le barrage considéré, et plus précisément selon les conditions qui président à son exploitation : importance des apports de sédimentations, état de marche des systèmes de vidange, modifications apportées à la digue...etc. il en résulte que la détermination d'une loi d'évolution dans le temps des dépôts des sédiments dans une retenue de barrage dans laquelle cette technique est pratiquée, est indispensable pour :

- La prévision de l'envasement de la retenue
- L'évaluation de l'efficacité de la technique du soutirage
- L'évaluation de la durée de vie de l'ouvrage.

Tableau 3.7 : Volume de vase pour différents périodes d'exploitation.

| Année | Volume cumulé de la vase (Hm ³) | Moyen d'envasement entre 2 levés (Hm ³ /an) |
|-------|--|---|
| 1950 | 0 | 0.000 |
| 1952 | 2.005 | 1.003 |
| 1957 | 3.992 | 0.397 |
| 1967 | 11.932 | 0.794 |
| 1975 | 15.075 | 0.393 |
| 1986 | 20.481 | 0.491 |
| 1993 | 22.687 | 0.315 |
| 2001 | 30.104 | 0.927 |
| 2004 | 32.107 | 0.668 |

Les courbes d'évolution et loi de l'envasement en fonction du temps, sont représentées sur les figures suivantes.

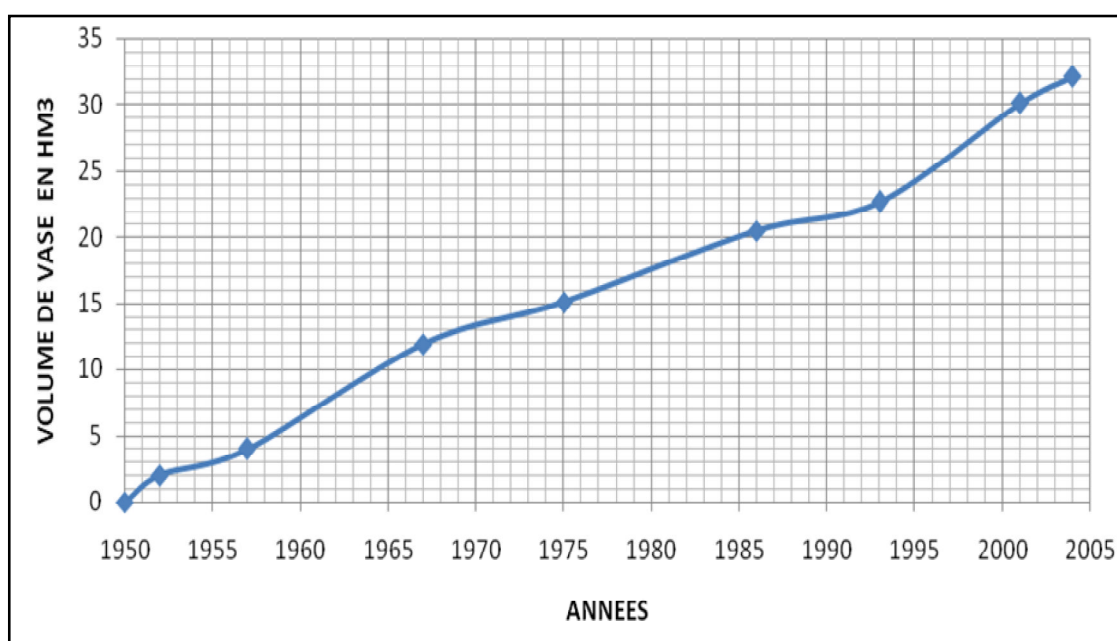


Figure 3.7 : Evolution de l'envasement en fonction du temps.

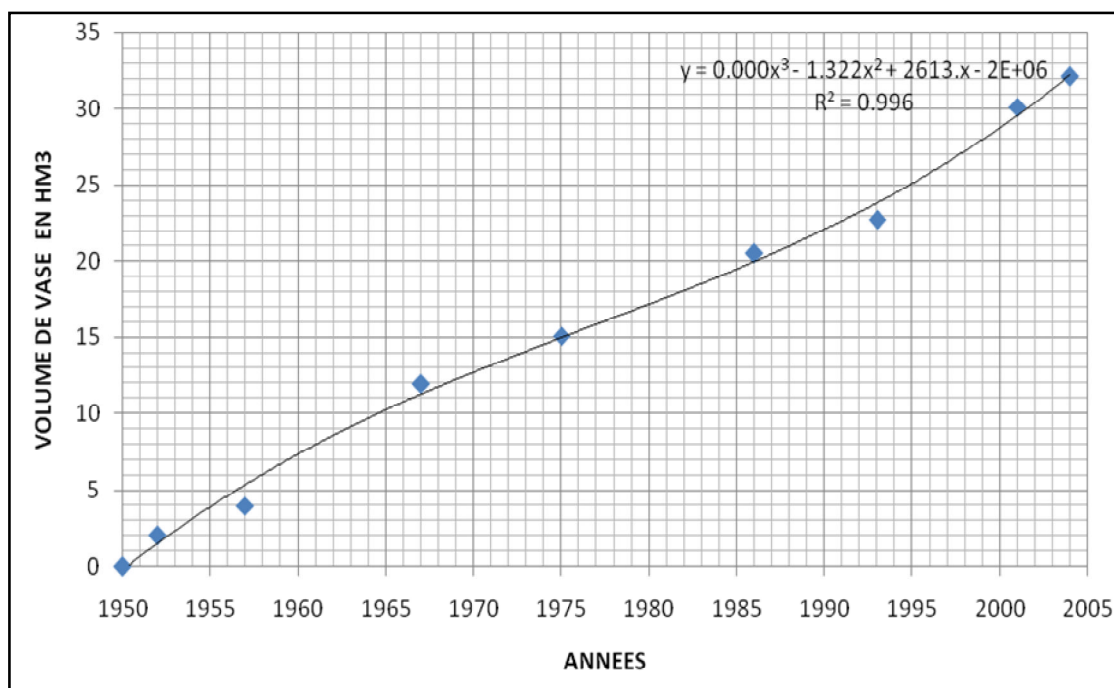


Figure 3.8 : Loi de l'envasement en fonction du temps.

Dés que le toit de vase atteint le seuil des vannes, la couche turbide se trouve au dessus, et son soutirage devient facile, en conséquence une quantité importante de sédiments sera évacuée, et la vitesse de sédimentation et la vitesse de sédimentation sera réduite par rapport aux premiers années de l'exploitation, ce ralentissement de l'envasement se traduira donc par une évolution dans le temps qui plus linéaire mais polynomiale, et lié a une tendance à la stabilisation.

La figure 3.7, représente l'évolution dans le temps de l'envasement, utilisant habituellement la technique du soutirage et qui ont enregistré un taux de comblement élevé (70%), il est possible de constater que la fonction est effectivement polynomiale de troisième degré, et lié à une nette régression de la vitesse de sédimentation dans le temps. La moyenne générale de l'envasement annuel enregistré entre 1950 et 2004 est égale à $0,624 \text{ Mm}^3/\text{an}$.

Il apparaît clairement que la vitesse de sédimentation dans le barrage depuis sa construction est régulier elle est à l'ordre de $600\ 000 \text{ m}^3/\text{an}$, c'est un taux d'envasement excessivement élevé il traduit les conditions morpho dynamique des B.V. d'une part, et une faible caractérisé des aménagements en amont d'autre part, ce qui influe directement sur la durée de vie.

3.6.2.4. Evolution de dépôts de vase suivant la profondeur

La détermination d'une loi d'évolution des dépôts sédimentaires dans une retenue de barrage est indispensable pour permettre la bonne gestion du volume utile d'eau du réservoir.

Tableau 3.8 : Hauteur et Volume de vase pour différents périodes d'exploitation.

| H(m) | H/H0(%) | 1952 | 1957 | 1967 | 1975 | 1986 | 1993 | 2001 | 2004 |
|--------|---------|----------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | VS/V0(%) | | | | | | | |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 6.200 | 9.538 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 11.200 | 17.231 | 0.030 | 0.315 | 0.315 | 0.315 | 0.315 | 0.315 | 0.315 | 0.315 |
| 16.200 | 24.923 | 0.023 | 0.574 | 0.574 | 0.574 | 0.574 | 0.574 | 0.574 | 0.574 |
| 21.200 | 32.615 | 0.049 | 0.909 | 0.936 | 0.936 | 0.936 | 0.936 | 0.936 | 0.936 |
| 26.200 | 40.308 | 0.183 | 2.149 | 2.277 | 2.277 | 2.277 | 2.277 | 2.277 | 2.277 |
| 31.200 | 48.000 | 0.323 | 4.038 | 4.746 | 4.782 | 4.783 | 4.783 | 4.783 | 4.783 |
| 36.200 | 55.692 | 0.517 | 5.285 | 8.871 | 8.936 | 8.945 | 8.945 | 8.945 | 8.945 |
| 41.200 | 63.385 | 0.800 | 6.000 | 15.209 | 15.055 | 15.319 | 15.319 | 15.319 | 15.319 |
| 46.200 | 71.077 | 1.011 | 5.787 | 18.389 | 23.265 | 23.714 | 23.723 | 23.719 | 23.723 |
| 51.200 | 78.769 | 1.526 | 5.766 | 19.918 | 26.616 | 34.998 | 35.344 | 35.331 | 35.350 |
| 56.200 | 86.462 | 2.185 | 7.111 | 22.755 | 29.461 | 40.917 | 45.589 | 51.950 | 52.457 |
| 61.200 | 94.154 | 3.121 | 7.436 | 24.163 | 30.654 | 42.248 | 46.987 | 60.956 | 64.610 |
| 62.200 | 95.692 | 3.271 | 7.764 | 24.549 | 31.059 | 42.612 | 47.331 | 61.996 | 65.828 |
| 63.200 | 97.231 | 3.421 | 7.691 | 24.549 | 31.079 | 42.595 | 47.297 | 62.465 | 66.616 |
| 64.200 | 98.769 | 3.652 | 7.843 | 24.743 | 31.324 | 42.831 | 47.528 | 63.062 | 67.346 |
| 65.000 | 100.000 | 4.935 | 9.176 | 26.077 | 32.815 | 44.250 | 48.944 | 64.700 | 68.968 |

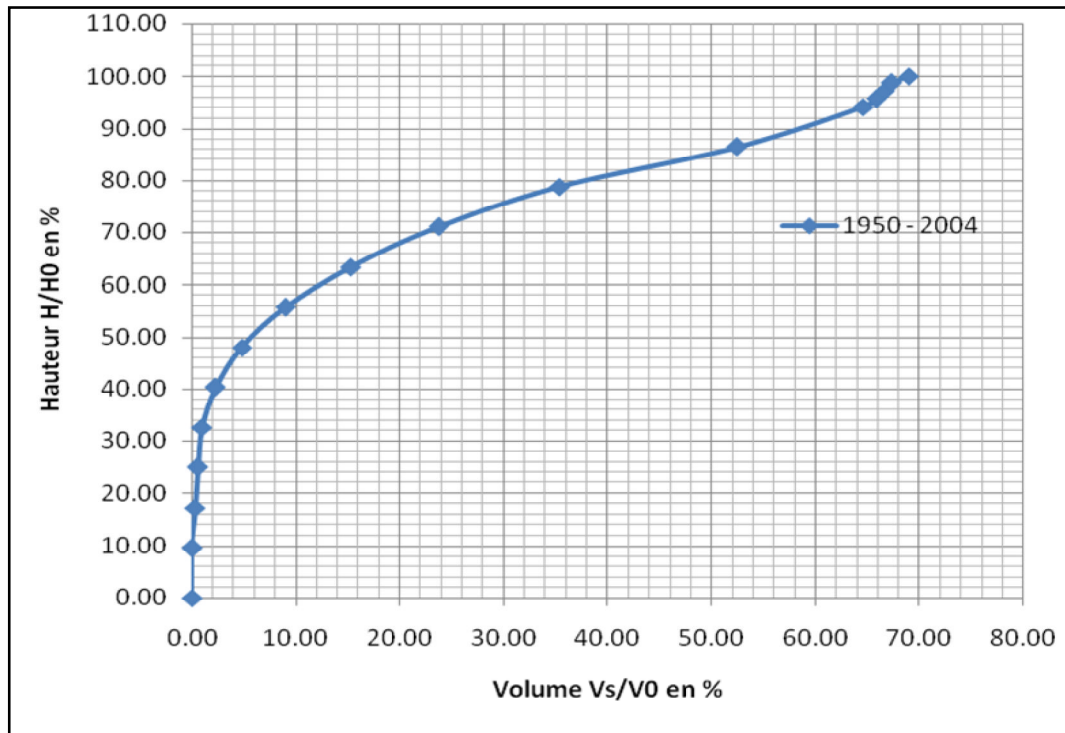


Figure 3.9 : Evolution de l'envasement en fonction de la profondeur.

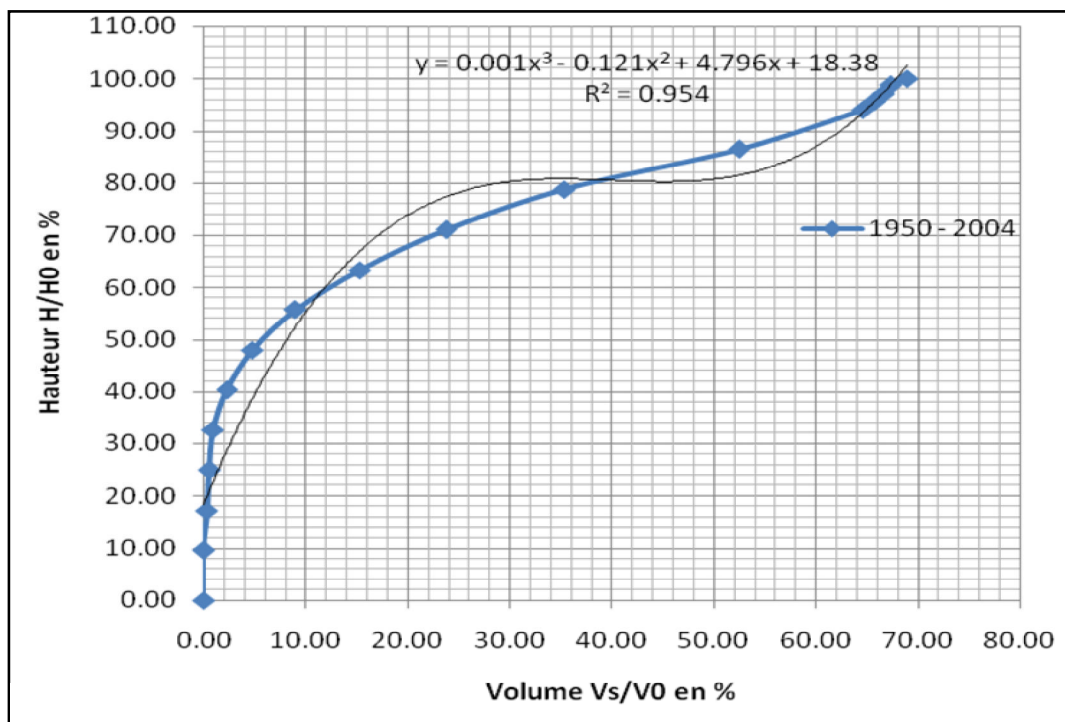


Figure 3.10 : Evolution de l'envasement en fonction de la profondeur.

Dés que le toit de la vase atteint le seuil des vannes de fond, les opérations de soutirage influent directement sur l'évolution des sédiments dans la retenue, et la loi d'évolution de l'envasement de fonction de la hauteur d'eau n'est plus linéaire, d'une part les sédiments déposées dans la partie basse de la retenue sont remaniés par les manœuvres des vannes et d'autre part ceux la partie haute sont saisonnièrement modifiés par l'arrivée de nouveau apports.

La figure 3.9, représente l'évolution de l'envasement en fonction de la hauteur, utilisant habituellement la technique du soutirage et qui ont enregistré un taux de comblement élevé (70%), il est possible de constater que la fonction est effectivement polynomiale de troisième degré.

On peut constater que le seuil du taux de comblement permettant de caractériser le type de la fonction de l'évolution (linéaire ou polynomiale).

3.7. Conclusion

Dans son état actuel, le barrage de Foum El Gherza présentant un fort taux d'envasement (plus de 68% en 2004), ne répond plus aux fonctions initiales pour lesquelles il fût conçu. Son historique met en évidence l'importance vitale d'un ouvrage de retenue d'eau pour la région à caractère agricole.

CHAPITRE 4

DEVASEMENT DU BARRAGE DE FOUM EL GHERZA

4.1. Introduction

L'état d'envasement présenté au chapitre 3, donne une idée sur le risque qui menace la retenue du barrage.

Il est évident que les sédiments se répartissent sur tout le fond de la retenue, d'une manière hétérogène. Cette répartition a une importance capitale, car elle montre si le volume utile qui est le plus affecté ou le volume mort. Elle donne une indication sur la durée de vie de la retenue.

4.2. Moyens de lutte contre l'envasement

De nombreux moyens sont mis en œuvre pour lutter contre les désordres causés par les phénomènes de l'envasement. De manière similaire à ceux de l'érosion, nous regroupons les étapes de lutte dans les trois zones :

- la zone 1, où il y a production des sédiments par dégradation des roches mères, il est nécessaire de protéger les berges des bassins versants : cultures en terrasses, reboisement,...
- la zone 2, définie comme étant la zone de transit des sédiments, les forces vives des ruissellements doivent être éliminées. La diminution de l'énergie cinétique des particules entraînera leur dépôt avant d'arriver dans la retenue.
- la zone 3, qui représente les sites des dépôts particulièrement privilégiés par les particules les plus fines, est la plus douloureusement touchée par l'envasement, il est inévitablement nécessaire de recourir à des moyens plus onéreux: les dragages et les vidanges.

Les deux premières zones sont liées aux conditions du climat local, à la géologie et la géomorphologie des terrains ainsi qu'aux conditions de drainage. Les altérations des sols dans la zone 1 et les désordres dus aux actions de l'eau transitant en zone 2, se traduisent par leur ampleur sur la zone 3, qui constitue notre préoccupation. Il est donc essentiel d'avoir une bonne connaissance des propriétés géomécaniques des matériaux à vidanger pour le choix et l'utilisation adéquate des moyens.

4.2.1. Mesures préventives

L'objectif principal est de présenter les mesures préventives d'une manière générale, en fonction de leur fiabilité et leurs effets escomptés nous pouvons distinguer:

- Les mesures anti-érosion.
- Les mesures pour interrompre le transport des sédiments.

Dés la phase des études ou dès les premières années d'exploitation, il faut penser aux moyens de prévention et aux modes par lesquelles on les rend pratique, en raison de leurs coûts de revient moins élevé par rapport aux moyens de dévasement. Les mesures anti-érosion se penchent dans ce sens elles portent sur, la conservation des sols, la diminution de ruissellement et la stabilisation des têtes des ravins. Ceci se concrétise par un aménagement hydro-agricole.

En cas où les mesures anti-érosion ne donnent pas les résultats escomptés, l'interruption du transport des sédiments sera obligatoire. Elle s'effectue par des travaux de correction de torrents à des endroits bien déterminés et par construction des barrages en limon dans des ravins fortement érodés. Du point de vue captage des sédiments ces retenues peuvent retenir le double ou le triple de leurs capacités de stockage d'eau.

L'inconvénient majeur de cette mesure est son coût élevé(en règle générale, plus la retenue est grande plus le coût par unité de stockage est faible). Notons aussi que cette solution ne s'adapte pas aux régions arides car elle empêche l'arrivée d'une quantité d'eau considérable à la retenue ciblée.

Une autre mesure s'avère efficace est l'utilisation de la végétation naturelle comme la Typholatifia qui produit un rideau de 2 à 3m de hauteur, une largeur et une longueur de quelque kilomètres, cette mesure peut avoir un rendement de piégeage atteint 90%.

4.2.2. Solution adéquate pour le problème de l'envasement

Pour les barrages déjà endommagés, l'intérêt des mesures préventives est moins important, il faut penser à d'autres mesures ou solutions pour atténuer la gravité causée par ce phénomène. Nous pouvons penser à des solutions considérées efficaces à savoir:

- La traversée des retenues par les apports solides.
- L'enlèvement mécanique des dépôts existants dans la retenue.

Il est remarquable que chacune de ces solutions ne peut être utilisée efficacement que dans certaines conditions.

4.2.2.1. Traversée des retenues par les apports solides

S'il faut maîtriser l'envasement, il est indispensable de pousser les sédiments à franchir la retenue, sachant que la concentration des sédiments entrants varie considérablement. L'idéale serait de retenir uniquement les eaux moins chargées en sédiments, et faire des chasses des dépôts en cas des eaux chargées. Ainsi il est préférable d'utiliser la technique des courants de densité quand les conditions de leur formation sont réunies.

Pour que ces opérations soient praticables, il nous faut en générale:

- Un volume d'eau excédentaire suffisant doit être disponible pour assurer le curage.
- Les ouvrages de vidange doivent avoir une capacité suffisante pour évacuer les dépôts en d'autres termes il faut un dimensionnement adéquat.
- Une exploitation judicieuse de la retenue par un personnel qualifié, le mode d'exploitation est souvent l'élément critique des opérations de chasse.

4.2.2.1.1. Chasses des dépôts

Comme il a été déjà cité, il est possible de chasser les sédiments accumulés dans les retenues. Si nous disposons d'un excédent d'eau puisse créer des courants capables d'entraîner la vase déposée.

Les modes opératoires des chasses sont différents. Ils peuvent se répartir en chasse par vidange de fond suivi par un abaissement du plan d'eau et vidange sans abaissement de ce dernier.

Cette opération nécessite un volume d'eau généralement exprimé par le rapport eau/sédiment de 20 à 40 pour une retenue comme celle de Gébide (Autriche) à titre d'exemple ; qui a connu des opérations de ce genre.

Un autre type de chasse est le dragage par aspiration, il ne demande qu'un volume d'eau inférieur que la chasse de fond, mais il n'est pas économique.

Une combinaison de ces modes peut être optimale en raison de minimiser le gaspillage des eaux de chasses. Si nous procédons à cette technique il faut créer une capacité de transport suffisante pour évacuer ces dépôts.

Un critère pour les dépôts de particules lamelliforme exige des vitesses d'écoulement de 1,2 à 1,3m/s pour entraîner les dépôts.

4.2.2.2. Evacuation des dépôts par les courants de densité

La majorité des alluvionistes disent que les courants de densité se forment principalement dans les grandes retenues à pente raide de dépôt dans la zone de delta, ces courants se manifestent quand une couche fluide passe sous une autre de plus faible densité résultant à la variation de la concentration des sédiments. Ces courants ne peuvent contribuer au transport de quantité importante de dépôt que lorsque leur concentration est élevée à l'entrée de la retenue. Tout ceci est nécessaire mais n'est pas suffisant, car le rôle des courants de densité ne peut être considéré séparément de celui des écoulements turbulents c'est à dire la nécessité d'un débit entrant élevé.

Il est sur que jusqu'à nos jours l'utilisation des courants de densité est le procédé de dévasement le plus économique prouvant un succès notable. Le barrage d'Ighil-Emda (Algérie) est le meilleur témoin, où on a évacué 53% des sédiments existants (Demak 1980), les résultats encore meilleurs ont été obtenus en Chine.

4.3. Les techniques de dévasement d'un barrage

Les techniques de dévasement des barrages peuvent être résumées globalement par les deux moyens suivants :

- l'utilisation des moyens de vidange dont est équipé le barrage (les soutirages). Dans ce cas l'état avancé de consolidation des sédiments, ou bien celui où les vases sont encore en suspension ne permettent pas l'utilisation efficace de cette technique.

- l'utilisation d'un moyen d'enlèvement des matériaux adapté à leur état de consolidation en place dans la cuvette de la retenue (les dragages).

4.3.1. Le soutirage

La méthode la plus utilisée pour récupérer une capacité utile du barrage est la chasse des sédiments par la vidange de fond (Figure 4.1).

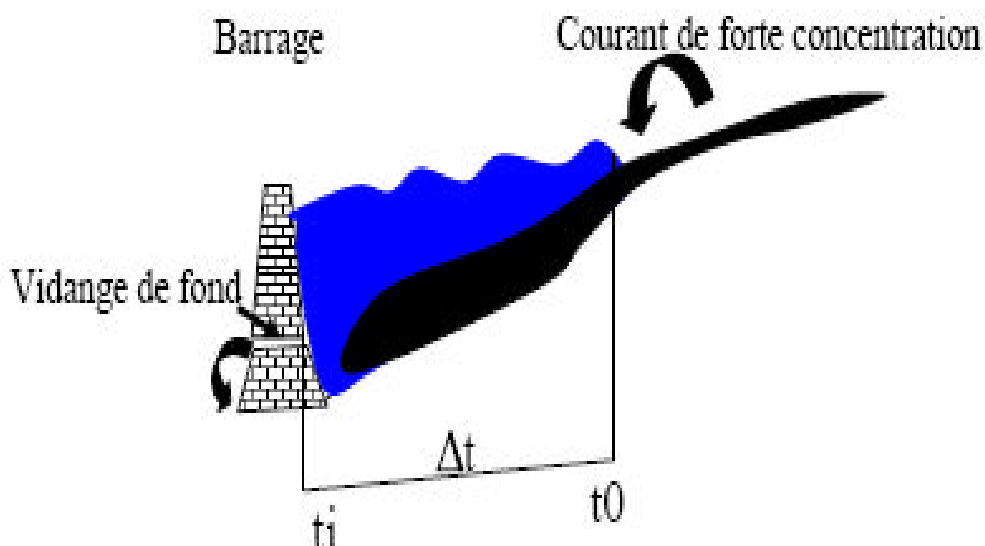


Figure 4.3: Méthode de chasse des sédiments par la vidange du fond.

Selon Rimini (2002), le moyen le moins coûteux reste l'évacuation des sédiments par les pertuis de vidange du barrage qu'il préfère appeler « technique de soutirage ». Cette technique qui peut contribuer effectivement à augmenter la durée de vie d'un réservoir, nécessite la bonne connaissance des écoulements divers dans la retenue, en plus de la dotation d'ouvrages à annexer au barrage dès sa conception initiale.

La mauvaise utilisation de cette technique de soutirage a entraîné l'obturation des vannes des barrages d'Oued El Fodda (1948), l'abandon du barrage des Cheurfas I (1966) et le comblement de 80% du barrage de Fergoug (1984) dû au mauvais soutirage au niveau du barrage de Bou Hanifia (se trouvant en amont du Fergoug sur la même rivière). C'est la méconnaissance du phénomène des courants de densité et du comportement des vases dans les réservoirs qui fut la principale cause de cet échec.

Le seul barrage qui ait enregistré des résultats encourageants est celui d'Ighil Emda: durant les années 1955-1956, plus de 50% des sédiments entrants dans la retenue ont été évacués. Une batterie composée de 8 vannettes de désenvasement et 3 vannes de dégravoiment a été installée dans le corps du barrage en 1953. C'est l'un des rares barrages dans le monde équipé d'un tel système. Au vu des résultats obtenus par ces pertuis de faibles diamètres, 6 vannettes de désenvasement ont été placées dans le barrage d'Oued El Fodda en 1961. 4 vannettes de désenvasement et 2 de dégravoiment ont été installées dans le corps du barrage d'Eurraguene en 1962.

Cette première technique de désenvasement nécessite une bonne gestion du barrage : allant de l'installation des vannes de vidanges appropriées à la bonne connaissance des moments d'arrivée des courants de densité chargés, pour permettre la synchronisation de l'ouverture de ces vannes avec l'arrivée de ces courants et avec une perte minimale des eaux claires. Par contre l'ouverture des vannes après remise en suspension des sédiments est inefficace.

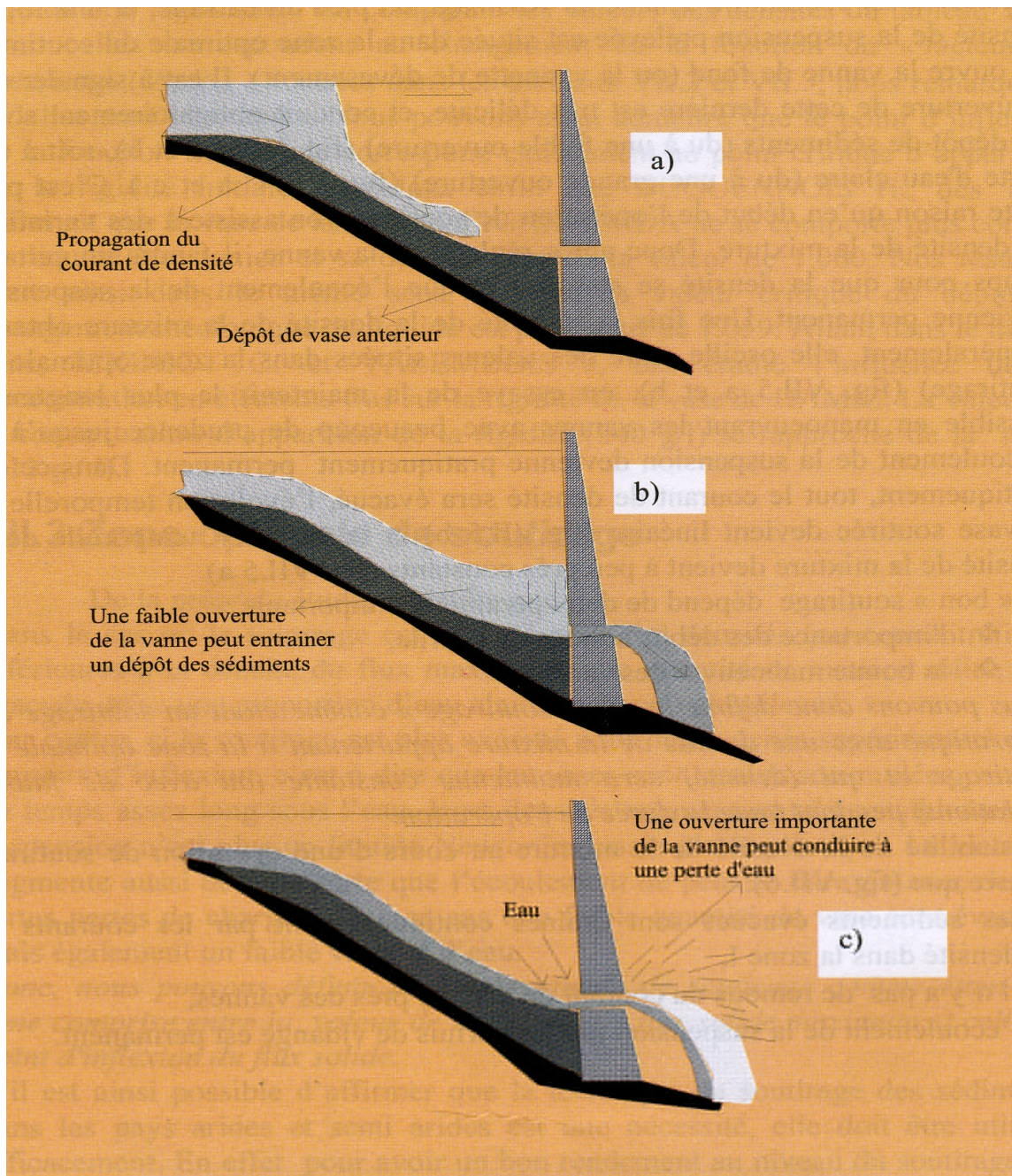


Figure 4.2: Début de l'ouverture des vannes. [17]

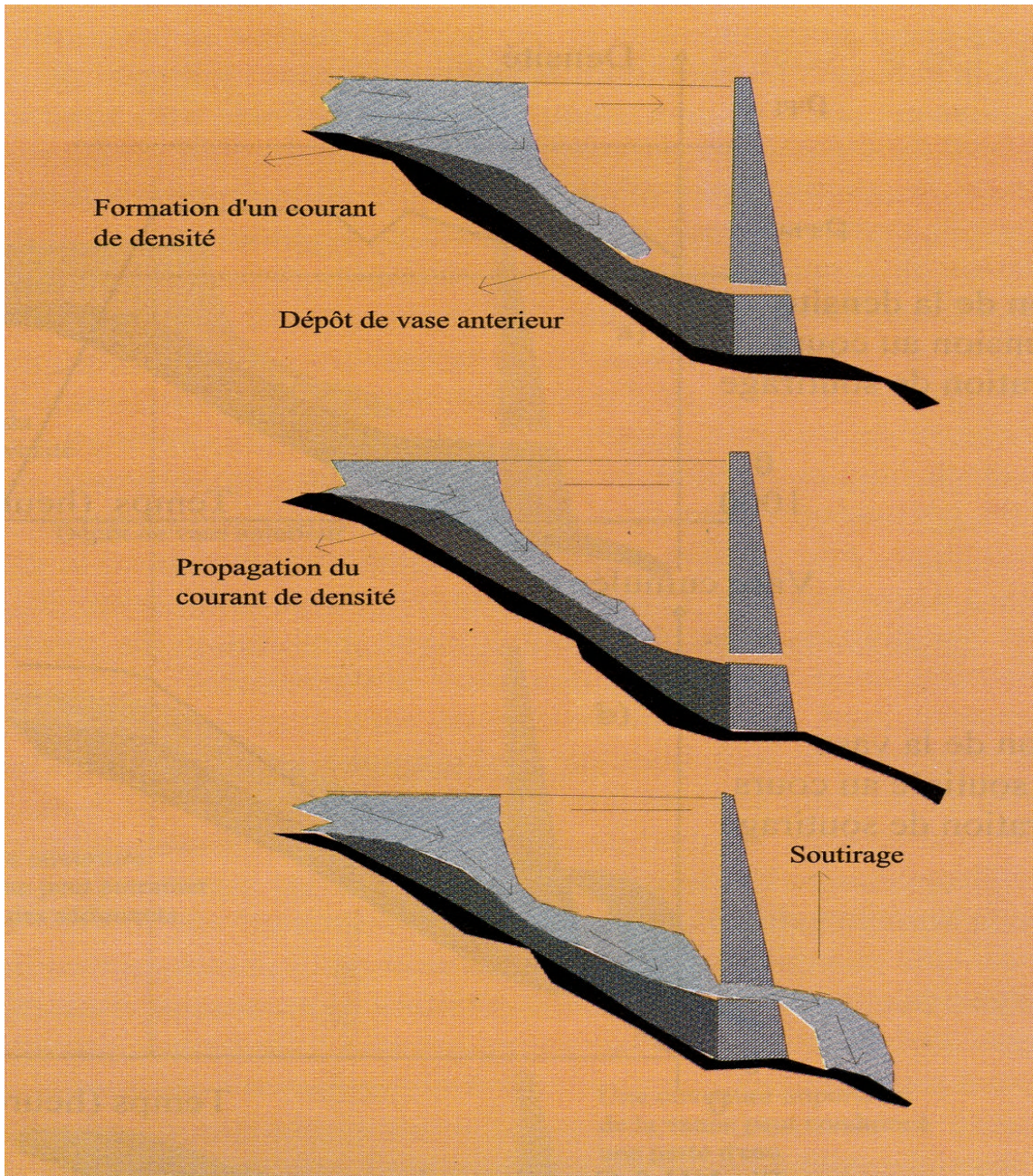


Figure 4.3: La pratique d'un bon soutirage. [17]

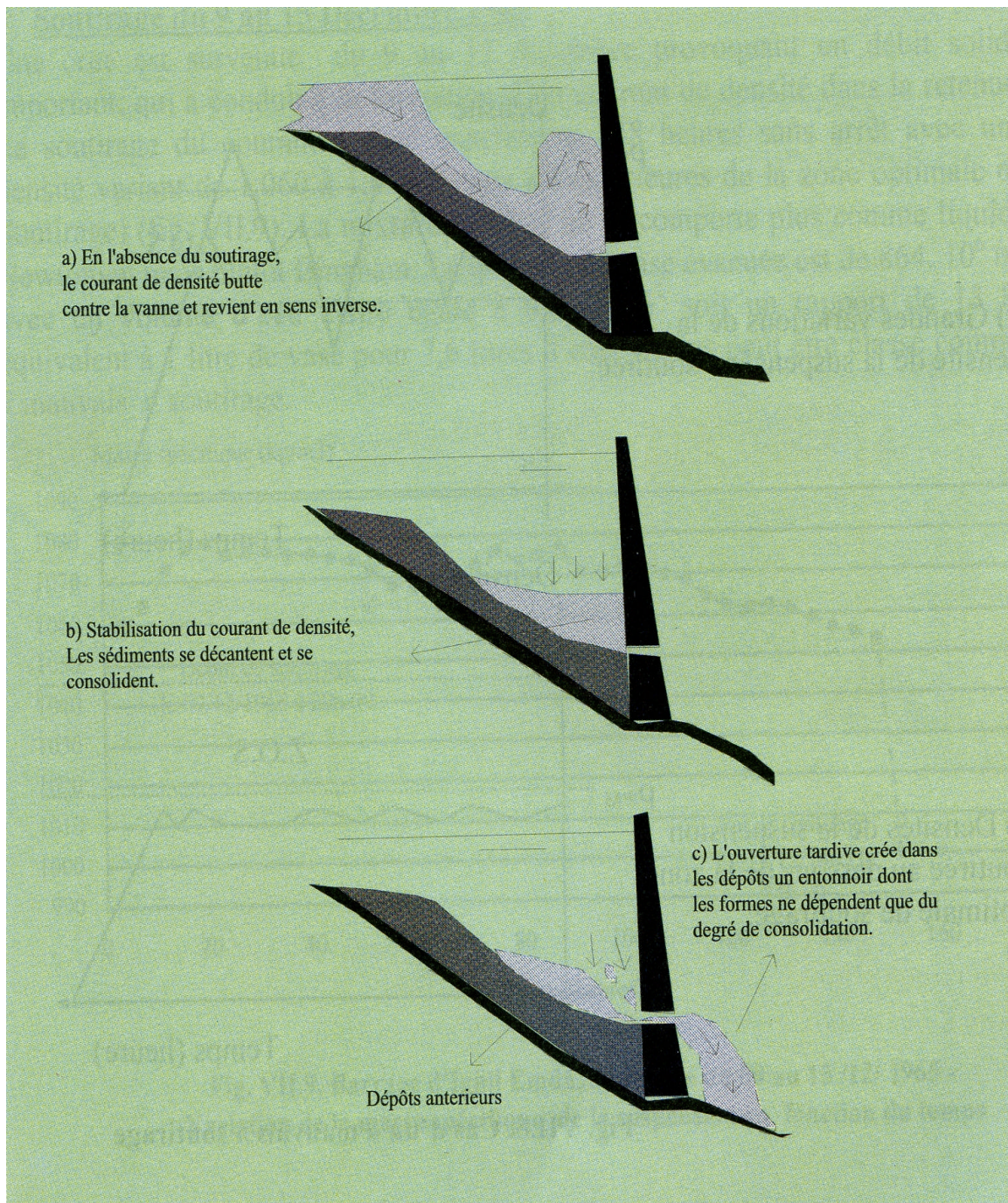


Figure 4.4: La pratique d'un mauvais soutirage. [17]

4.3.2. Le dragage

Le premier barrage ayant subi des opérations de dragage en Algérie est celui de Fergoug, situé dans la région de Perrégaux (Ouest algérien) : de 1986 à 1989 plus de 10 millions de m³ de vase ont été dragués.

Ce dragage a été réalisé avec une drague suceuse refouleuse flottante. Après remaniement local, les sédiments sont aspirés par la drague et refoulés à travers une canalisation constituée d'une partie flottante et d'une partie fixe sur plusieurs centaines de mètres de longueur. Cette canalisation sert aussi au transport par refoulement des sédiments jusqu'à la zone de rejet située en aval du barrage.

Préalablement au choix du type de drague à utiliser, une étude des fonds de la retenue a été nécessaire. Une étude géotechnique a été réalisée sur des sondages effectués dans la retenue; ils ont permis le prélèvement d'échantillons intacts. Les échantillons prélevés ont fait l'objet d'identifications et de caractérisations géomécaniques au laboratoire. Ces études ont aidé à la prise de décision sur le choix du type de matériel à utiliser pour le dragage, ainsi que sur les moyens de transport et de mise en dépôt.

De cette première expérience de dragage en Algérie, sont apparues des désordres sur l'environnement, et des enseignements sont à tirer pour les prises de décisions futures. En effet, les moyens de dragage sont très variés, allant du simple pelletage aux systèmes automatisés qu'il est possible de concevoir. La réalité a montré la nécessité de prise en charge des opérations de dragage sur toutes ses facettes :

- La caractérisation initiale des matériaux à draguer.
- La mise en état des matériaux avant dragage (séparation de phases).
- Le transport et la mise en dépôt des matériaux dragués.
- Les questions de dépollution des matériaux à déposer dans les sites naturels.
- Les aspects de valorisation des matières pouvant être exploitées.
- Les retombées économiques immédiates et à long terme.

4.4. Le dévasement du barrage de Foum EL Gherza

4.4.1. Le soutirage

Le moyen le plus utilisé pour lutte contre l'envasement est l'évacuation des courants de densités par l'ouverture de la vanne du fond. Cette technique à permis d'évacuer environ 0,5 Hm³ durant l'année 1989/1990. Or du fait la rapidité de l'envasement, cette vanne a été bloquée au bout de 7 ans (1982 – 1989). De 1990 jusqu'en 1993, une quantité de 0,1 Hm³ de vase a été évacuée.

La mauvaise utilisation de cette technique de soutirage a entraîné l'obturation des vannes du barrage (1982), et le comblement de 70% du barrage (2004) dû au mauvais soutirage.

4.4.1.1. L'évolution de l'envasement de la partie basse de la retenue du barrage

Quelque soit le type du soutirage (« bon » ou « mauvais »), pratiqué dans un barrage, il y aura toujours une quantité de sédiment qui sera piégée dans la retenue et plus particulièrement dans les zones II et III. La question qui se pose est de savoir s'il y a effectivement évolution des dépôts sédimentaires dans la zone I, sachant que ces sédiments sont constamment remaniés par les manœuvres des vannes. Pour répondre à cette interrogation, les graphes de la figure 4.5 représentant la variation dans le temps du point d'intersection (I) des courbes de répartition des sédiments dans une retenue pour différentes périodes d'exploitation.

Dans le cas ou le point (I) reste fixe dans le temps, ce qui signifie qu'il n'y a pratiquement pas d'évolution du toit de la vase dans la zone I (les dépôts des sédiments restent inchangés), et que les particules solides drainés par le courant de densité près des vannes ont été soutirées. [17]

Dans le cas contraire, c'est-à-dire si le point (I) évolue dans le temps, ce qui veut dire que le sommet de la vase est en nette progression dans la zone I. [17]

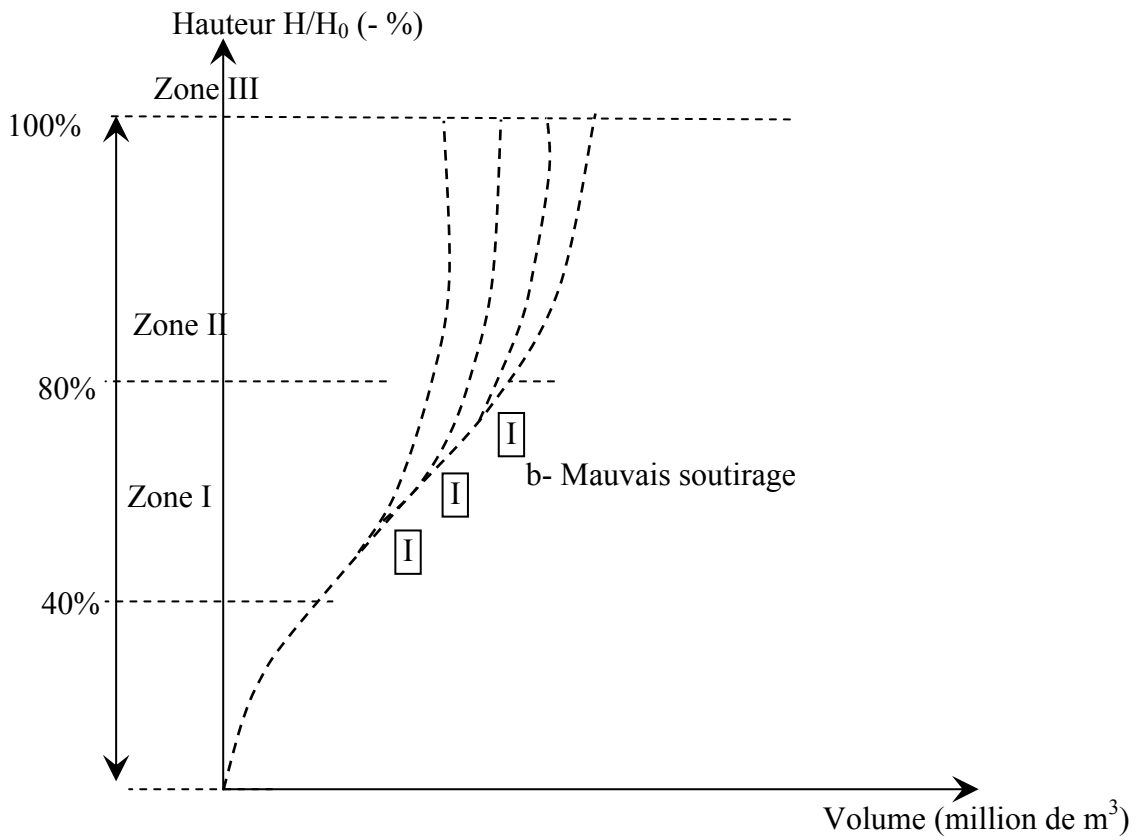
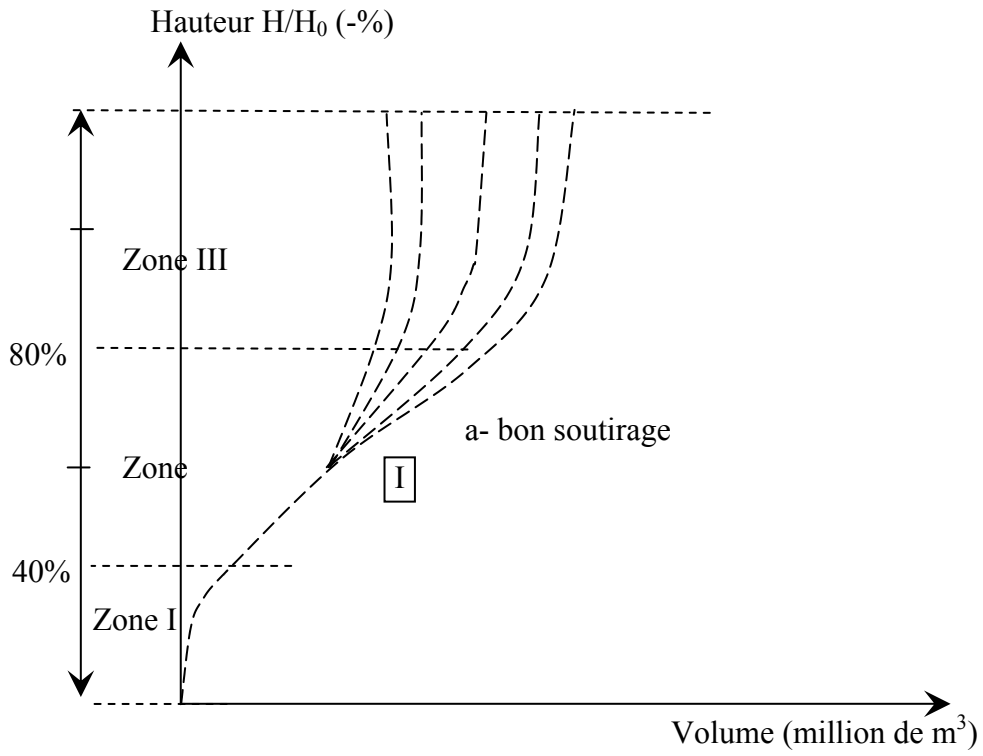


Figure 4.5: Répartition des sédiments dans une retenue plusieurs périodes d'exploitation. [17]

Dans la figure 4.6 nous remarquons l'évolution de l'envasement de la partie basse de la retenue du barrage de Foum El Gherza sur plusieurs périodes d'exploitation.

Il apparaît que le point d'intersection (I) progresse dans le temps ce qui signifie que toute la zone I et même une grande partie de la zone II ont été remplies de sédiments. On constate aussi que le point (I) a progressé d'une hauteur relative de 24 % à 70 % en 2004 ce qui justifie la pratique d'un « Mauvais » soutirage.

Donc, dans ce cas de figure on ne peut pas procéder au soutirage pour chasser les sédiments emmagasines dans la retenue du barrage.

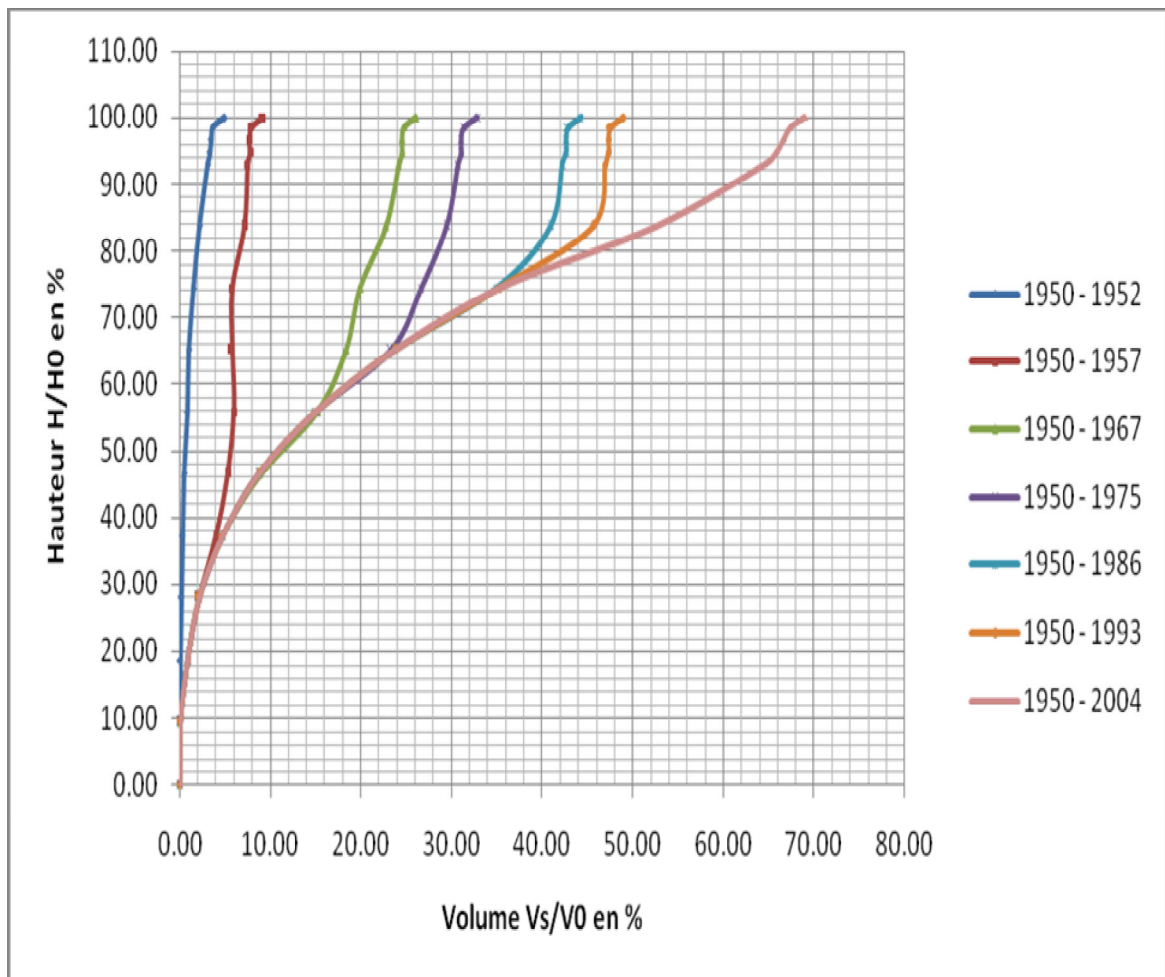


Figure 4.6 : Evolution de l'envasement de la partie basse de la retenue du barrage de FOU M EL GHERZA sur plusieurs périodes d'exploitation.

4.4.2. Le dragage

4.4.2.1. Caractéristiques granulométriques de la vase du barrage

Les caractéristiques granulométriques des sédiments du barrage sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 4.1 : Composition granulométrique de la vase du barrage de Fom El Gherza.

| Composition minéralogique | % Argile | % Limon Fin | % Sable Fin | %Limon Grossier | % Sable Grossier |
|---------------------------|----------|-------------|-------------|-----------------|------------------|
| Moyenne des Echantillons | 23,65 | 25,90 | 39,10 | 7,72 | 3,67 |

4.4.2.2. Compagnes de dragage du barrage

C'est un barrage qui n'a jamais fait l'objet d'un dévasement sauf à l'aide de chasses périodiques par l'ouverture de la vanne de fond. Le barrage se trouve actuellement envasé à plus de 68 % de sa capacité initiale. Soit un apport annuel de plus de 600 000 m³ de sédiment.

En effet, dévasement de ce barrage a pour but d'augmenter la capacité de stockage de ce barrage et mettre à l'abri tout le dispositif d'évacuation : prises d'eau et vidange de fond.

De ce fait, une première compagnie des travaux de dragage des sédiments a été lancée en Mars 2005 et qui a été sanctionnée par l'extraction d'un volume de 4 millions de mètres cubes de vase en 21 mois.

Tableau 4.2 : Résultats des travaux de dragage.

| Durée de dragage(en mois) | 21 | Prix de 1 M ³ en DA | Montant total en DA |
|---|-------|--------------------------------|---------------------|
| Capacité initiale du barrage(1950) en Hm ³ | 47 | 77,60 | 310386433,50 |
| Capacité avant dévasement(2006) en Hm ³ | 12.06 | | |
| Volume de vase (2006) en Hm ³ | 34.94 | | |
| Volume de vase dragué en Hm ³ | 4 | | |
| Capacité après dévasement en Hm ³ | 16.06 | | |

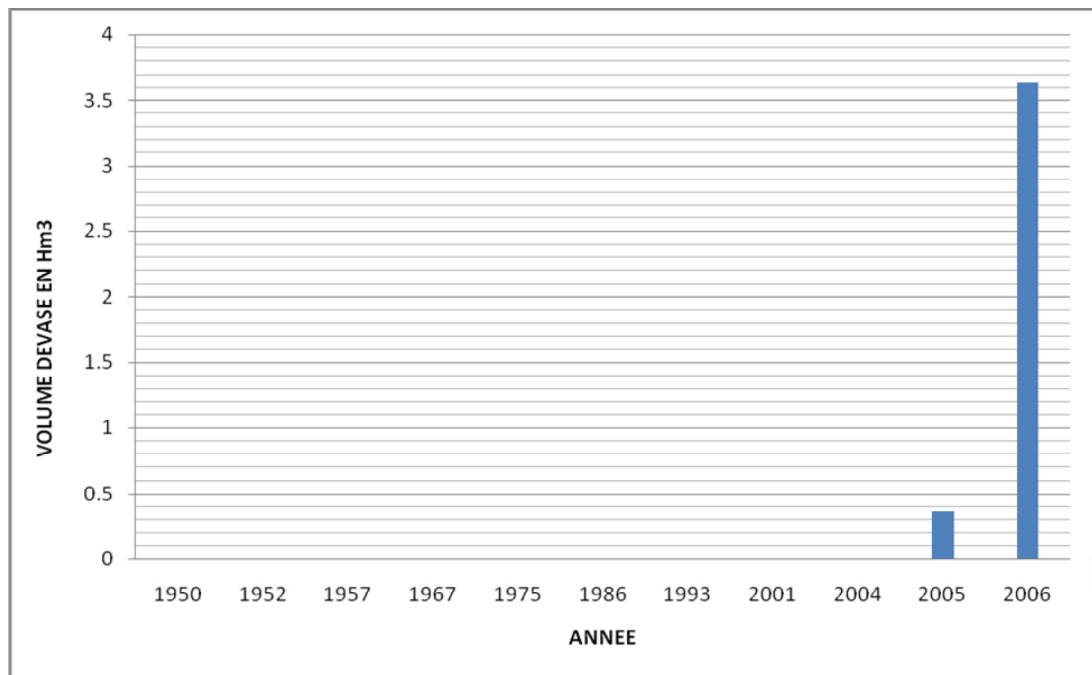


Figure 4.7 : Quantités de sédiments dévasées au niveau du barrage de FOU M EL GHERZA.

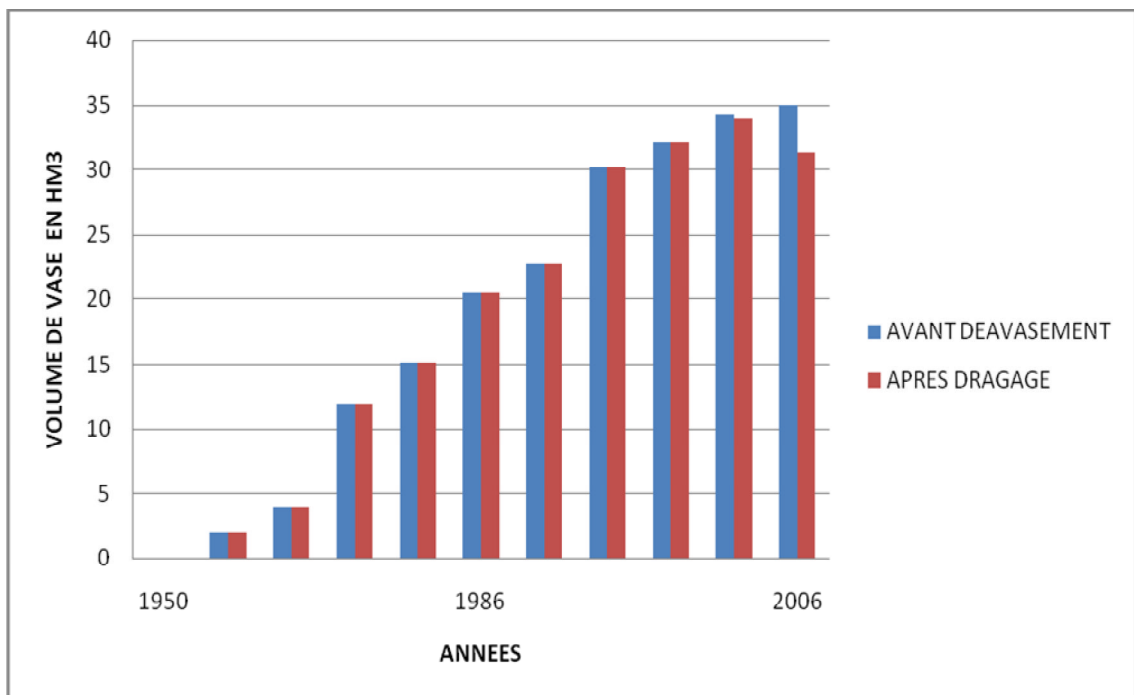


Figure 4.8: Le dévasement du barrage de FOU M EL GHERZA (2005 – 2006).

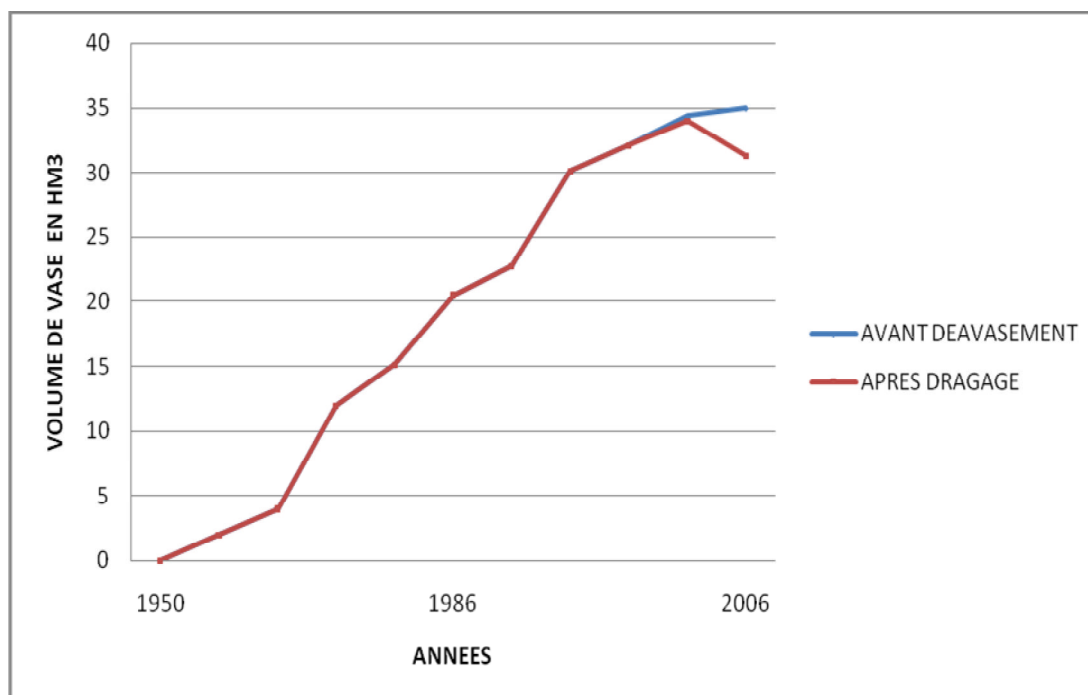


Figure 4.9 : Evolution de l'envasement la retenue du barrage de FOUM EL GHERZA en fonction du temps.



Figure 4.10 : Dragageuses suceuse refouleuse au cours de dragage du barrage de FOUM EL GHERZA.

4.4.2.3. Rejet des sédiments

Dans un esprit de développement durable, la gestion de l'environnement doit prendre en compte tous les aspects liés à la mise en dépôt et au stockage des sédiments issus des opérations de dragage.

L'efficacité du sol est moins évidente lorsque la pollution est provoquée par les composants même du sol, ou de sa constitution physique qui altère directement les équilibres des bassins versants vis-à-vis des ruissellements et des infiltrations alimentant les nappes souterraines. Cependant, une attention particulière est attirée sur les désordres pouvant apparaître suite aux dépôts et stockages des matières de granulométrie fine.

En effet, dans le cas du dragage du Foum El Gherza, le rejet des sédiments se fait dans des bassins de stockage se trouvant en amont de la cuvette. La décantation des sédiments au niveau de ces bassins se fait de manière très efficace ce qui permet de récupérer le volume d'eau utilisé lors du dragage.



Figure 4.11: Rejet de la vase dans les bassins de décantation.

CONCLUSION

L'envasement des retenues est la conséquence la plus dramatique des phénomènes de l'érosion. La recherche des solutions nécessite la prise en compte du problème dans son ensemble c'est-à-dire l'étude des causes du comblement et du comportement des sédiments à l'extérieur de la retenue ainsi que dans la cuvette.

L'étude des processus de l'érosion, du transport solide et de la sédimentation est un préalable à toute tentative de dévasement. Que ce soit à l'aide de dragage ou de soutirage (par les ouvrages de vidange), la récupération des volumes de stockage et la remise du barrage à ses fonctions initiales nécessitent la connaissance des phénomènes de sédimentation ayant abouti au comblement de la retenue. Les sédiments déjà consolidés dans les fonds, nécessitent plus d'efforts à leur mise en mouvement. Leur remise en suspension est liée au degré de consolidation des couches. Les plus récentes sont les plus érodables et s'adaptent à des moyens de dévasement relativement peu coûteux. Par contre les couches inférieures sont caractérisées par une rigidité initiale ne permettant leur mise en mouvement qu'avec des moyens mécaniques performants.

Les travaux de recherche présentés dans ce mémoire entrent dans le cadre général de la lutte contre l'envasement du barrage de FOUM EL GHERZA. Notre contribution est essentiellement centrée sur le dévasement de ce dernier.

En tenant compte de l'importance stratégique et économique que présente le barrage du FOUM EL GHERZA dans la région de Biskra, le recours au dragage de ce dernier est une variante inéluctable vu les résultats prouvés lors de la première campagne de dévasement. En effet la réalisation des digues en amont de la cuvette du barrage a permis de stoker les sédiments et de récupérer le volume d'eau utilisé pour extraire cette vase. Donc sur le côté économie de l'eau nous n'avons aucune contrainte à concourir. Ainsi les digues sont conçues spécialement pour retenir les sédiments prélevés du barrage ce qui empêche toute atteinte à la sauvegarde de l'environnement.

Aussi, faut il le signaler, que nous n'avons pas assez de sites potentiels pour pouvoir réaliser des barrages ayant une capacité de stockage similaire. Donc le dragage du barrage de Foum el Gherza est une nécessité absolue pour pouvoir répondre aux besoins de la région en matière d'eau d'irrigation.

APPENDICE A

LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

| | |
|---------|---|
| A | : Surface du B.V (km ²) |
| Ass | : Apport solide spécifique (t/km ² /an) |
| ai | : Aire comprise entre deux courbes de niveau (km ²) |
| c | : La cohésion |
| C | : concentration des suspensions (Kg/m ³) |
| Ct | : Le coefficient de Torrentialité |
| Dd | : La densité de drainage |
| Ds | : La différence d'altitude spécifique |
| di | : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau en (m) |
| Dp | : La masse détachée |
| Ec | : L'énergie cinétique |
| Ep | : Erosivité des précipitations (N/h) |
| Es | : Erodabilité du sol (t.h/N.ha) |
| E | : Ecoulement annuel (mm) |
| E | : Ecoulement en mm |
| F | : La densité de drainage élémentaire |
| Flp | : Facteur de longueur de pente (sans dimension) |
| Fp | : Facteur de pente (sans dimension) |
| Fam | : Facteur d'aménagement (sans dimension) |
| Fv | : Facteur de conservation des sols (sans dimension) |
| Gs | : Densité relative des grains |
| g | : Accélération de la pesanteur |
| g' | : Pesanteur réduite |
| H (max) | : L'altitude maximale (m) |
| H (min) | : L'altitude minimale (m) |
| H (Moy) | : L'altitude moyenne (m) |
| h | : dénivelée moyenne (m) |
| H | : Hauteur (m) |
| H0 | : Hauteur au niveau normale de la retenue (m) |
| I | : Pente moyenne (%) |
| Ip | : L'indice de pente de "Roche" |
| Ig | : L'indice de pente globale |
| I'p | : Intensité de pluie en mm/h |
| Kc | : L'indice de compacité |
| L | : Longueur de rectangle équivalent (Km) |

| | |
|---------|--|
| l | : Largeur du rectangle équivalent (Km) |
| Lo | : La longueur du Talweg principal (Km) |
| N1 | : Nombre de talweg nombre 1 |
| N | : Nombre des stations |
| n | : Rugosité du sol |
| P | : Périmètre du B.V (km) |
| Pi | : Hauteur de pluie moyenne annuelle d'une station. |
| Pm | : précipitations moyennes mensuelles du mois le plus pluvieux (mm) |
| Pam | : précipitations moyenne annuelles (mm) |
| Pam | : Précipitations moyenne annuelles (mm) |
| Ps | : Pertes annuelles de sol (t/ha/an) |
| Pm | : Précipitations moyennes mensuelles du mois le plus pluvieux (mm) |
| Qp | : Débits de pointe |
| Q24 | : Débits maximum sur 24 heures |
| QR | : Débit du ruissellement |
| Qs | : Le débit solide total |
| qs | : Le débit solide en suspension par unité de largeur de la rivière |
| Ql | : Le débit liquide |
| Q | : Débit moyen annuel (m ³ /s) |
| Qss | : Débit solide en suspension (Kg/s) |
| R | : Rayon hydraulique. (m) |
| S | : Superficie du bassin versant (km ²) |
| Sr | : Degré de saturation. (Sr = 100%) |
| Tc | : Le temps de concentration |
| V | : La vitesse (m/s) |
| Vr | : Vitesse de ruissellement |
| V | : Vitesse de l'écoulement (m/s) |
| Vs | : Volume de vase (Hm ³) |
| W | : Teneur en eau |
| WT | : Masse volumique moyenne après T années d'exploitation (Kg/m ³) |
| W1 | : Masse volumique des sédiments |
| X, Y, Z | : Les coordonnées Lambert (m) |
| 061601 | : Station Foum el gherza |
| 061505 | : Station T'Kout |
| 061511 | : Station Tefelfel |
| 061503 | : Station Tefelfel |
| 061502 | : Station M'Chounech |
| φ | : L'angle de frottement interne |
| α | : Coefficient dépendant de la perméabilité du sol |
| τp+ | : La contrainte adimensionnelle |
| ρm | : Densité de la suspension |
| ρ0 | : Densité de l'eau claire |
| ρW | : La masse volumique de l'eau |

APPENDICE B

Données disponibles à la station hydrométrique de M'Chounech.

| Source | Année | Qp(m ³ /s) | Qm(m ³ /s) | Qp/Qm |
|--|---------|-----------------------|-----------------------|-------|
| Monographie de la SCET | 1947-48 | | 20 | - |
| | 1951-42 | | 6,2 | - |
| | 1952-53 | | 7,2 | - |
| | 1953-54 | | 4 | - |
| | 1954-55 | | 2,9 | - |
| | 1955-56 | | 11,74 | |
| | 1956-57 | | 7 | |
| | 1957-58 | | 2.1 | |
| | 1958-59 | | 12.5 | |
| | 1959-60 | | 8,2 | |
| | 1960-61 | | 8,2 | |
| | 1961-62 | | 11,3 | |
| | 1962-63 | | 7,56 | |
| | 1963-64 | | 23,1 | |
| | 1964-65 | | 115,5 | |
| Mémoire de fin d'étude « étude sur l'envasement du barrage de foug el gherza | 1965-66 | | 16,5 | |
| | 1966-67 | | 270 | |
| | 1967-68 | | 80 | |
| | 1968-69 | | 23 | |
| | 1969-70 | | 68 | |
| | 1975-76 | 107 | 28 | 3,82 |
| | 1976-77 | 169 | 50 | 3,38 |
| | 1977-78 | 237 | 22.3 | 10,63 |
| | 1978-79 | 34.3 | 11 | 3,2 |
| | 1979-80 | 283 | 73.4 | 3,86 |
| | 1980-81 | 297 | 54 | 5,50 |
| | 1981-82 | 116 | 28.3 | 4,10 |
| | 1982-83 | 312 | 50 | 6,24 |
| 1983-84 | 247 | 28.3 | 8,73 | |
| 1984-85 | 105 | 38.4 | 2,73 | |
| 1985-86 | 188 | 19.6 | 9,59 | |
| 1986-87 | 63 | 19.6 | 3,21 | |

Source : L'ANB

APPENDICE C

| Observation de la crue du 28 29 ET 30/03/2004 | | | | | | | |
|---|----------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| Date | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 28,03,04 | 22h,00 | 197.5 | 10.85 | | | | |
| | 23h,00 | 197.55 | 10.984 | 0.134 | | | |
| 29,03,04 | 24h,00 | 197.64 | 11.227 | 0.243 | | | |
| | 01h,00 | 197.75 | 11.527 | 0.3 | | | |
| | 02h,00 | 197.95 | 12.084 | 0.557 | | | |
| | 03h,00 | 198.2 | 12.796 | 0.712 | | | |
| | 04h,00 | 198.5 | 13.676 | 0.88 | | | |
| | 05h,00 | 198.65 | 14.127 | 0.451 | | | |
| | 06h,00 | 198.73 | 14.371 | 0.244 | | | |
| | 07h,00 | 198.75 | 14.432 | 0.061 | | | |
| | 08h,00 | 198.78 | 14.524 | 0.092 | | | |
| | 09h,00 | 198.82 | 14.646 | 0.122 | | | |
| | 10h,00 | 198.86 | 14.77 | 0.124 | 0.08 | 1 | 0.0036 |
| | 11h,00 | 198.9 | 14.893 | 0.123 | 0.91 | 5 | 0.018 |
| | 12h,00 | 199.06 | 15.392 | 0.499 | 7.84 | 21 | 0.0756 |
| | 13h,00 | 199.2 | 15.833 | 0.441 | 16.86 | 35 | 0.126 |
| 29,03,04 | 14h,00 | 199.4 | 16.47 | 0.637 | 33.21 | 55 | 0.198 |
| | 15h,00 | 199.6 | 17.116 | 0.646 | 52.88 | 75 | 0.27 |
| | 16h,00 | 199.8 | 17.77 | 0.654 | 75.39 | 95 | 0.342 |
| | 17h,00 | 200.2 | 19.108 | 1.338 | 127.71 | 135 | 0.486 |
| | 18h,00 | 200.5 | 20.137 | 1.029 | 172.56 | 165 | 0.594 |
| | 19h,00 | 200.85 | 21.367 | 1.23 | 230.28 | 200 | 0.72 |
| | 20h,00 | 201.25 | 22.808 | 1.441 | 302.71 | 240 | 0.864 |
| | 21h,00 | 201.65 | 24.291 | 1.483 | 381.46 | 280 | 1.008 |
| | 22h,00 | 202.05 | 25.817 | 1.526 | 466.06 | 320 | 1.152 |
| | 23h,00 | 202.55 | 27.79 | 1.973 | 579.45 | 370 | 1.332 |
| 30,03,04 | 24h,00 | 202.45 | 27.39 | -0.4 | 556.12 | 360 | 1.296 |
| | 01h,00 | 202.3 | 26.794 | -0.596 | 521.72 | 345 | 1.242 |
| | 02h,00 | 202.05 | 25.817 | -0.977 | 466.06 | 320 | 1.152 |
| | 03h,00 | 201.6 | 24.103 | -1.714 | 371.29 | 275 | 0.99 |
| | 04h,00 | 201 | 21.903 | -2.2 | 256.67 | 215 | 0.774 |
| | 05h,00 | 200.5 | 23.73 | 1.827 | 172.56 | 165 | 0.594 |
| | 06h,00 | 200.2 | 19.108 | -4.622 | 127.71 | 135 | 0.486 |
| | 07h,00 | 199.9 | 18.101 | -1.007 | 87.60 | 105 | 0.378 |
| | 08h,00 | 199.78 | 17.704 | -0.397 | 73.02 | 93 | 0.3348 |
| | 31,03,04 | 08h,00 | 199.23 | 15.928 | -1.776 | 19.07 | 38 |

Source : L'ANB

- 1 Heur des mesures (MN)
- 2 Cote du plan d'Eau N, G, A
- 3 Volume de la retenue HM³
- 4 Variation de volume de la retenue HM³
- 5 Débit instantané m³/s
- 6 Lame d'eau déversée (cm)
- 7 Volume déverser HM³

APPENDICE D

| Observation de la crue du 15 16 ET 17/04/2004 | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|-----|--------|
| Date | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| | 19h,00 | 198.79 | 14.554 | | | | |
| | 20h,00 | 198.9 | 14.893 | 0.339 | 0.91 | 5 | 0.018 |
| 15,04,04 | 21h,00 | 199.1 | 15.517 | 0.624 | 10.18 | 25 | 0.09 |
| | 22h,00 | 199.5 | 16.792 | 1.275 | 42.67 | 65 | 0.234 |
| | 23h,00 | 200 | 18.434 | 1.642 | 100.41 | 115 | 0.414 |
| | 24h,00 | 200.2 | 19.108 | 0.674 | 127.71 | 135 | 0.486 |
| | 01h,00 | 200.4 | 19.792 | 0.684 | 157.11 | 155 | 0.558 |
| | 02h,00 | 200.45 | 19.964 | 0.172 | 164.78 | 160 | 0.576 |
| | 03h,00 | 200.5 | 20.137 | 0.173 | 172.56 | 165 | 0.594 |
| | 04h,00 | 200.6 | 20.486 | 0.349 | 188.48 | 175 | 0.63 |
| | 05h,00 | 200.75 | 21.012 | 0.526 | 213.23 | 190 | 0.684 |
| | 06h,00 | 200.9 | 21.545 | 0.533 | 238.97 | 205 | 0.738 |
| 16,04,04 | 07h,00 | 201.10 | 22.263 | 0.718 | 274.78 | 225 | 0.810 |
| | 08h,00 | 200.89 | 21.509 | -0.754 | 237.22 | 204 | 0.7344 |
| | 09h,00 | 201 | 21.903 | 0.394 | 256.67 | 215 | 0.774 |
| | 10h,00 | 201.08 | 22.191 | 0.288 | 271.13 | 223 | 0.8028 |
| | 11h,00 | 201.1 | 22.263 | 0.072 | 274.78 | 225 | 0.81 |
| | 12h,00 | 201.1 | 22.263 | 0 | 274.78 | 225 | 0.81 |
| | 13h,00 | 201.08 | 22.191 | -0.072 | 271.13 | 223 | 0.8028 |
| | 14h,00 | 201.05 | 22.082 | -0.109 | 265.67 | 220 | 0.792 |
| | 15h,00 | 201 | 21.903 | -0.179 | 256.67 | 215 | 0.774 |
| | 16h,00 | 200.98 | 21.831 | -0.072 | 253.09 | 213 | 0.7668 |
| | 17h,00 | 201 | 21.903 | 0.072 | 256.67 | 215 | 0.774 |
| | 18h,00 | 201.08 | 22.191 | 0.288 | 271.13 | 223 | 0.8028 |
| | 19h,00 | 201.13 | 22.372 | 0.181 | 280.29 | 228 | 0.8208 |
| 16,04,04 | 20h,00 | 201.11 | 22.299 | -0.073 | 276.61 | 226 | 0.8136 |
| | 21h,00 | 201.06 | 22.119 | -0.18 | 267.49 | 221 | 0.7956 |
| | 22h,00 | 201 | 21.903 | -0.216 | 256.67 | 215 | 0.774 |
| | 23h,00 | 200.95 | 21.723 | -0.18 | 247.77 | 210 | 0.756 |
| | 24h,00 | 200.83 | 21.296 | -0.427 | 226.84 | 198 | 0.7128 |
| | 01h,00 | 200.7 | 20.836 | -0.46 | 204.87 | 185 | 0.666 |
| | 02h,00 | 200.5 | 20.137 | -0.699 | 172.56 | 165 | 0.594 |
| 17,04,04 | 03h,00 | 200.25 | 19.278 | -0.859 | 134.87 | 140 | 0.504 |
| | 04h,00 | 200 | 18.434 | -0.844 | 100.41 | 115 | 0.414 |
| | 05h,00 | 199.85 | 17.935 | -0.499 | 81.42 | 100 | 0.36 |
| | 06h,00 | 199.65 | 17.278 | -0.657 | 58.26 | 80 | 0.288 |
| | 07h,00 | 199.55 | 16.953 | -0.325 | 47.68 | 70 | 0.252 |
| | 08h,00 | 199.44 | 16.598 | -0.355 | 36.90 | 59 | 0.2124 |
| 18,04,04 | 08h,00 | 198.96 | 15.08 | -1.518 | 2.97 | 11 | 0.0396 |

APPENDICE E

Résultats des levées bathymétriques réalisées au barrage de Foum El Gherza.

| Année | 1949/1950 | | 1952 | | 1957/1958 | | 1966/1967 | | 1974/1975 | | 1985/1986 | | Sept / 1993 | | Mars / 2001 | | Janv / 2004 | |
|-------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | Surf (Km ²) | Volume (Hm ³) | Surf (Km ²) | Volume (Hm ³) | Surf (Km ²) | Volume (Hm ³) | Surf (Km ²) | Volume (Hm ³) | Surf (Km ²) | Volume (Hm ³) | Surf (Km ²) | Volume (Hm ³) | Surf (Km ²) | Volume (Hm ³) | Surf (Km ²) | Volume (Hm ³) | Surf (Km ²) | Volume (Hm ³) |
| 1989 | 3.88 | 46.84 | 3.62 | 45.00 | 3.25 | 43.01 | 3.26 | 35.07 | 3.17 | 31.92 | 3.18 | 26.52 | 3.19 | 24.31 | 3.07 | 16.90 | 3.10 | 14.89 |

Source : L'ANB

APPENDICE F

Les apports liquides et les débits moyens annuels à la station de M'Chouneche.

| L'année | L'apport liquide Hm3 | Débit m ³ /s |
|---------|-------------------------|-------------------------|
| 1971 | 21.6 | 0.686 |
| 1972 | 32.5 | 1.03 |
| 1973 | 8.77 | 0.28 |
| 1974 | 13.32 | 0.42 |
| 1975 | 17.99 | 0.57 |
| 1976 | 39.46 | 1.25 |
| 1977 | 7.87 | 0.25 |
| 1978 | 7.26 | 0.23 |
| 1979 | 21.8 | 0.69 |
| 1980 | 18.08 | 0.57 |
| 1981 | 4.7 | 0.15 |
| 1982 | 8.43 | 0.27 |
| 1983 | 2.51 | 0.08 |
| 1984 | 2.45 | 0.08 |
| 1985 | 8.73 | 0.29 |
| 1986 | 10.98 | 0.348 |
| 1987 | 3.36 | 0.112 |
| 1988 | 8.77 | 0.28 |
| 1989 | 19.8 | 0.63 |
| 1990 | 5.5 | 0.175 |
| 1991 | 3.55 | 0.113 |
| 1992 | 4.29 | 0.137 |
| 1993 | 3.09 | 0.098 |

Source L'ANRAH

APPENDICE G

Photographies du barrage de Foum El Gherza pendant l'opération de dragage







REFERENCES

1. Agence Nationale des Barrages (A. N. B), " Bilan annuel des ressources en eau des barrages en exploitation de 1990 à 2002", (2006).
2. Agence Nationale des Barrages (A. N. B), " Auscultation et expertise des barrages COBA, cas du barrage de Foum – el- Gherza ", (2005).
3. Agence Nationale des Barrages (A. N. B), Etude de confortement des grands barrages en exploitation, " diagnostic et expertise barrage de Foum –el-Gherza ", rapport 04x-011.R02, (établit le 05 juillet 2005). Bureau d'Ingénieur conseillé, I.S.L.
4. Azzedine Mebarki " Ressource en eau et aménagement en Algérie, le bassin du Kebir Rhumel ", OPU, (Alger1984) ,162-174.
5. Achit M., " Contribution à l'analyse multi variée de la variable transport solide : cas du bassin versant de l'oued Mina (Willaya de Relizane) ", Thèse de Magister. ENSH, Blida, (2000).
6. BOUVARD M., "Ouvrages de dérivation et transport solide ", revue la Houille Blanche, n° 34, (1983), 247-253.
7. Bellatreche A., "Erosion et perspectives de conservation des sols dans les bassins versants sédimentaires de Beni Slimane, Médéa ", Thèse doctorat, Université des sciences et de la technologie de Beb Ezzouar, (1987), Alger.
8. Benamara L.,Ouhba K., " Stabilisation mécanique de la vase du cours d'eau d'El-Macta ", Journal de l'eau et de l'environnement. ENSH n°6, (juin 2005), 18-23.
9. Benkhaled A., Remini B., "Variabilité de la concentration en sédiments dans le bassin versant de l'oued Ouahrane ", Actes du colloque international sur l'eau " Gestion quantitative des ressources en eau ", (05-06 février 2002), Université Hassiba Ben Bouali, Chlef, 296-301.
10. Bouanani A., " Hydrologie, Transport solide et modélisation : étude de quelques sous bassins de la Tafna (NW-Algérie) ", Thèse de doctorat, Hydrogéologie, (2004), 250p, Université de Tlemcen.
11. Bouvard M., " Transport des sédiments dans les ouvrages hydrauliques ", Paris, Presses de l'École nationale des ponts et chaussées, (2004),194 p.
12. Chibbani R., Djilli K., Roose E., " Étude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser ", Bull ORSTOM, (1999), 85-95.

13. H.Horner Mann, " Nécessité et possibilités d'identification des mesures pour ralentir l'envasement des barrages ", Communication du colloque sur l'érosion en Algérie (ANRH + GTZ), (Alger 1991).
14. Larfi B., Remini B., " Quantification du transport solide dans le bassin versant de l'oued Isser-application à l'envasement du barrage de Beni Amrane ", Proceeding de 2éme colloque Méditerranéen sur l'eau et l'environnement, (2002), Alger.
15. Nicolas, GOUSKOV., "La géologie et les problèmes de l'eau en Algérie ", 'Eléments de Technologie des Barrages Algériens et de quelques ouvrages annexes', Le barrage de Foug-el- Gharza, Tome 1 , (Alger 1952).
16. Remini B., Wassila Hallouche , " L'alluvionnement des retenues ", Laboratoire : Eau – Rouche –Plante, centre universitaire de khemis miliana Algérie, (édition 2005).
17. Remini B., " La sédimentation des barrages Mécanismes et soutirage des courants de densité " , Edité par l'Agence nationale pour le développement de la recherche universitaire.
18. Remini B., « La problématique de l'eau en Algérie », Collection hydraulique et transport solide, (Edition 2005).
19. Remeniras et Braudeau, " Quelques observations sur l'alluvionnement dans les réservoirs français ", Q14-R50 Fourth ICOLD congress New Delhi, (1951).
20. Remini et al., " Evolution dans le temps de l'envasement dans une retenue de barrage dans laquelle est pratiqué la technique du soutirage ", la Houille blanche N°6, (Paris 1997).
21. Remini b. et Avenard J.-M., " Les conséquences de l'envasement des barrages : quelques exemples algériens ", Revue Techniques Sciences et Méthodes (France), n° 4, (avril 1999).
22. Ramez Ph., Erosion et transport solide en rivière. Tome 1 : guide pour la compréhension des phénomènes, (1995), 130p, CEMAGREF, France.
23. Remini B., " Envasement des barrages et la technique du soutirage : quelques exemples algériens ", Actes du colloque international sur l'eau " Gestion quantitative des ressources en eau ", 05-06 février, Université Hassiba Ben Bouali, Chlef, 314-319.
24. Remini B., " Envasement des retenues de barrages : Mécanisme et moyen de lutte par la technique du soutirage ", Thèse de doctorat, (1997), 342p.ENP.Alger.
25. Remini B., Avenard J.M., KettabA., " Envasement des barrages ", Ed CEDOC, (2003), 208p.

26. Remini B., " Evolution des dépôts sédimentaires dans les zones (I) et (II) d'une retenue de barrage : quelques exemples algériens ". Proceeding 2ème colloque méditerranéen sur l'eau et l'environnement, (2002), Alger.
27. Saïdi-a, " Erosion spécifique et prévision de l'envasement ", communication du colloque sur l'érosion en Algérie (ANRH+GTZ), (Algérie 1991).
28. Sogreah (1967), " Etude générale des aires d'irrigation et d'assainissement agricole en Algérie ", Dossiers OMARA, Alger.
29. Toumi A, Remini B, " perte de capacité des barrages algériens par fuites ", colloque international Oasis, Eau et Population, Biskra, (22, 23 et 24 septembre 2003).
30. Toumi A, " Contribution à l'étude des fuites d'eau dans les barrages cas du barrage de Foum El Gherza, Biskara, Algérie "Thèse de magister.
31. Toumi A, Remini B., " Les pertes de capacité des barrages : quelque exemple Algériens ".
32. Touaïbia B., (2004), Manuel pratique d'hydrologie.166p.
33. Zeggane H., " Approche cartographique de l'érosion hydrique à partir des ouvrages hydrauliques existants : cas du bassin versant de l'oued Isser(W.Boumerdes) ", Thèse de magister, (2005), ENSH, Blida.

