

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**

**UNIVERSITE SAAD DAHLAB-BLIDA**

**Faculté de Technologie**

**Département des Sciences de l'Eau et de l'Environnement**

**Mémoire de fin d'études de Master**

**Filière : Hydraulique**

**Spécialité : Sciences de l'Eau**

Thème :

***EROSION ET SEDIMENTATION DU BARRAGE SIDI M'HAMED  
BEN AOUDA (RELIZANE), IMPACT DE LA VASE SUR LA  
QUALITE DE L'EAU : CAS DE L'EUTROPHISATION***

Présenté par :

***Melle GUELLOUMA Narimane***

Devant les membres du jury:

|                   |                         |      |              |
|-------------------|-------------------------|------|--------------|
| Mme ANSER M.      | Maître de conférences A | USDB | Présidente   |
| M. EDDOUA OUDA K. | Maître de Conférences B | USDB | Examineur    |
| M. BENSAFIA D.    | Maître Assistant A      | USDB | Promoteur    |
| M. REMINI B.      | Professeur              | USDB | Co-Promoteur |

Promotion : 2012-2013

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.



## *DEDICACES :*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le  
dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous, mes très chers  
parents, pour votre amour, sacrifices et soutien,*

*A mes adorables sœurs pour leur patience,*

*A mes proches et toute ma famille,*

*A mes amis et tous les gens qui m'aiment,*

*Je dédie ce modeste travail.*

*Narimane.*

## REMERCIEMENTS :

*Mes vifs remerciements s'adressent à Messieurs BENSAFI A D. et REMINI B. pour leur aide précieuse et leur soutien constant durant ce travail.*

*Je voudrais témoigner notre sincère et profonde reconnaissance à tous les professeurs du département « Sciences de l'eau et de l'environnement » pour leur enseignement qui m'a été d'un très grand apport.*

*Je voudrais remercier aussi le personnel du ministère des ressources en eaux en particulier Messieurs BELABDI et M ABED M. qui m'ont facilité l'accès aux différents départements du ministère*

*Mes remerciements iront aussi au personnel de l'ANBT en particulier Messieurs le PDG ABBAS, MENAD L. Directeur du barrage SMBA, KALKOUL O. Adjoint directeur et TOUBAL A de l'université de Chlef. ainsi que Melle AGUENINI S. pour leur aide appréciable.*

*Je remercie également le personnel de l'ANRH spécialement Monsieur le PDG TAIBI, le Directeur de laboratoire HABBOUCHE et Mme SERIDI ABDA L. Chef de service hydrométrie centrale.*

*Et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.*

## ملخص :

المياه عنصر حيوي للإنسان والتي ستصبح مصدرا نادر في العقود المقبلة لتطرح المزيد من المشاكل في تخزينها بسبب ظاهرة تعرية الأحواض الهيدروغرافية . التوحد ، المرحلة النهائية للتعرية، يهدد كمية و جودة مياه السدود وذلك بنقل عناصر مغذية بشكل ملحوظ، فائض العناصر المغذية الناجمة عن النشاط البشري يخل بالتقنية الطبيعية للنظام الإيكولوجي المائي ، مسببة بذلك تخصيب الوسط و تطور عشوائي للطحالب .

تهدف هذه الدراسة لتسليط الضوء على أثر التوحد على نوعية المياه ( حالة التطحلب في سد سيدي أمحمد بن عودة (SMBA).

يستند الجزء التجريبي من هذه الدراسة على بيانات عن نقل الرواسب ، التوحد وتركيز الفوسفور لعدة سنوات .

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن وجود الطمي والفوسفور في السدود يؤثر بشكل مباشر على نوعية مياهها . أيضا اتضح أن عمليات نزع الوحد هي وسيلة لمحاربة الزيادة المفرطة في تركيز المغذيات (خاصة الفوسفور)، وبالتالي ضد الانتشار غير العشوائي للعوالق النباتية .

**كلمات الدالة:** التعرية ، توحد ، التطحلب ، الطحالب ، الفوسفور ، سد SMBA ، غليزان .

## RESUME :

L'Eau, élément vital pour l'homme et qui deviendra une source rare dans les prochaines décennies pose de plus en plus de problème dans son stockage suite au phénomène de l'érosion des bassins versants. L'envasement stade final de l'érosion affecte par l'apport des éléments nutritifs d'une façon significative la qualité et la quantité des eaux des barrages. Un excès en éléments nutritifs provoqué par l'activité humaine perturbe l'autoépuration d'écosystème aquatique, favorisant ainsi la fertilisation du milieu et un développement algal anarchique.

La présente étude a pour but de mettre en évidence l'impact de l'envasement sur la qualité des eaux (cas d'eutrophisation) du barrage de Sidi M'hamed Ben Ouda(SMBA).

La partie expérimentale de cette étude s'appuie sur des données sur le transport solide, l'envasement et la concentration du phosphore durant plusieurs années.

L'exploration des résultats obtenus montre que la présence de la vase et du phosphore dans les barrages affecte directement la qualité des de ses eaux. Aussi, il s'avère que les opérations de dévasement restent un moyen de lutte contre l'augmentation des teneurs excessives en nutriments (notamment le phosphore) et par conséquent contre la prolifération anarchique du phytoplancton.

**Mots clés :** algue, barrage SMBA, envasement, érosion, eutrophisation, , phosphore.

## **ABSTRACT:**

*Water vital element for humans that will become a rare source in the next decades poses more and more problems in its storage following the phenomenon of the erosion of the basins slopes. The silting final stage of erosion affects by the contribution of the nutritive elements in a significant way quality and the quantity of water of the dams. An excess in nutritive elements caused by the human activity disturbs the watery self-purification of ecosystem, thus supporting the fertilization of the medium and an anarchistic development algal.*

*The purpose of the present study is to highlight the impact of the silting on the quality of water (case of eutrophication) of the dam Sidi Sidi M'hamed Ben Ouda (SMBA). The experimental part of this study is based on data on solid transport, the silting and the concentration of phosphorus during several years.*

*The exploration of the obtained results shows that the presence of the mud and the phosphor in the dam affects directly the quality of its waters. So, it turns out that the operations of dévasement remain a way of fighting against the increase of the excessive contents in nutriments (in particular the phosphor) and consequently against the anarchy proliferation of the phytoplankton.*

**Keywords :** *alga,, dame SMBA, erosion, eutrophication, phosphorus, silting.*

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

## ***INTRODUCTION GENERALE :***

L'eau est source de vie et de développement de toutes les civilisations. Les diverses civilisations qu'a connue l'humanité se sont développées auprès des plus grandes étendues d'eau. On cite la civilisation pharaonique au Nil, la civilisation islamique sur les étendues du Tigre et de l'Euphrate.

L'eau est aussi source de conflit. Des tensions sont perceptibles actuellement entre différents pays pour s'approprier cette ressource, comme le conflit entre jordaniens et israéliens pour le contrôle de l'eau du Jourdain. Entre turques, irakiens et syriens pour l'exploitation des eaux de Euphrate, et entre égyptiens et éthiopiens pour le partage des eaux du Nil . Contrôler et s'approprier cette ressource dans les prochaines décennies donnera à des peuples un avantage considérable sur d'autres.

Les pays les plus dotés en ressources en eaux développent leurs économies à travers des industries comme la production du papier, l'électricité, l'agriculture et l'agroalimentaire ...etc. L'eau est donc un important facteur de développement.

Le stockage et la maîtrise de l'eau sont devenus des éléments essentiels dans la politique économique des pays. Des ressources financières considérables sont mobilisées dans le budget de l'état par la construction des barrages, le forage des puits et leurs exploitations. Stocker et préserver la qualité des eaux est devenu pour des nations une problématique à résoudre pour cela un état des lieux doit se faire sur l'état actuel du stockage de l'eau et sa qualité, d'où notre sujet qui consiste à faire cet état des lieux sur le barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda (SMBA) à Relizane.

L'objectif de notre travail est d'évaluer l'état trophique du barrage et de situer la responsabilité de la présence de la vase sur la détérioration de la qualité des eaux de la retenue. Ceci par l'étude de l'érosion, du transport des sédiments et de leur dépôt dans le barrage. Aussi la mise en évidence des problèmes rencontrés dans la gestion de cet ouvrage stratégique pour la région de Relizane (envasement-évaporation).

La présente étude est composée de deux parties :

- Recherche et synthèse bibliographiques réparties en quatre chapitres. Le 1<sup>er</sup> chapitre traite le phénomène de l'érosion dans les bassins versants, le 2<sup>ème</sup> synthétise les différents modes du transport solide, le 3<sup>ème</sup> résume les divers aspects de l'envasement et le 4<sup>ème</sup> explique l'apparition de l'eutrophisation dans le milieu aquatique.
- La partie expérimentale, traitée par le chapitre 5 qui a consisté à collecter les données des différents paramètres qui nous permettent l'exploitation et l'interprétation des résultats, mettant ainsi en évidence la problématique posée.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.



## TABLE DES MATIERES

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| INTRODUCTION GENERALE : ..... | 1 |
|-------------------------------|---|

### CHAPITRE 1 : EROSION HYDRIQUE

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 1. Introduction : .....                                | 3  |
| 2. Généralités : .....                                 | 4  |
| 3. Types d'érosion hydrique : .....                    | 4  |
| 3.1. Erosion aréolaire : .....                         | 5  |
| 3.1.1. Erosion en nappe : .....                        | 5  |
| 3.1.2. Erosion en rigole : .....                       | 6  |
| 3.2. Erosion linéaire : .....                          | 8  |
| 4. Mécanisme de l'érosion hydrique : .....             | 9  |
| 5. Facteurs influençant sur l'érosion hydrique : ..... | 10 |
| 5.1. Facteurs d'origine naturelle : .....              | 10 |
| 5.1.1. Facteurs climatiques : .....                    | 10 |
| 5.1.2. Facteurs morphologiques : .....                 | 13 |
| 5.1.3. Facteurs lithologiques : .....                  | 15 |
| 5.1.4. La couverture végétale : .....                  | 15 |
| 5.2. Facteurs d'origine anthropique : .....            | 16 |
| 6. Evaluation du taux d'érosion hydrique : .....       | 16 |
| 6.1. Relation de SOGREAH : .....                       | 17 |
| 6.2. Relation de GAVRILOVIC : .....                    | 18 |
| 7. Conséquences de l'érosion : .....                   | 19 |
| 8. Conclusion : .....                                  | 20 |

### CHAPITRE 2 : TRANSPORT SOLIDE

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introduction : .....                                         | 21 |
| 2. Généralités : .....                                          | 21 |
| 3. Modes de transport solide : .....                            | 24 |
| 3.1. Transport solide par charriage : .....                     | 25 |
| 3.1.1. Concepts : .....                                         | 25 |
| 3.1.2. Quantification du charriage : .....                      | 27 |
| 3.2. Transport solide en suspension : .....                     | 30 |
| 3.2.1. Généralités : .....                                      | 30 |
| 3.2.2. Quantification du transport solide en suspension : ..... | 31 |
| 3.3. Débit totale du transport solide: .....                    | 32 |

|                 |    |
|-----------------|----|
| 4. Conclusion : | 33 |
|-----------------|----|

### **CHAPITRE 3: ENVASEMENT DES BARRAGES**

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 1. Introduction :                                     | 34 |
| 2. Mécanismes de l'envasement :                       | 34 |
| 2.1. Envasement classique :                           | 35 |
| 2.2. Envasement par courant de densité :              | 36 |
| 3. Caractéristiques de la vase :                      | 38 |
| 3.1. Matériaux composant la vase :                    | 38 |
| 3.2. Répartition des apports solide dans la retenue : | 39 |
| 4. Conséquences de l'envasement :                     | 40 |
| 5. Lutte contre l'envasement :                        | 42 |
| 5.1. Aménagement des bassins versants :               | 42 |
| 5.2. Aménagement des berges de cours d'eau :          | 43 |
| 5.3. Aménagement au niveau des barrages :             | 44 |
| 5.3.1. Évacuation des courants de densités :          | 44 |
| 5.3.2. Technique de chasse :                          | 45 |
| 5.3.3. Surélévation de la digue :                     | 46 |
| 5.3.4. Technique de dragage :                         | 47 |
| 6. Envasement des barrages en Algérie :               | 49 |
| 7. Conclusion :                                       | 50 |

### **CHAPITRE 4: EUTROPHISATION DES EAUX**

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| 1. Introduction :                         | 51 |
| 1. Définitions et généralités :           | 52 |
| 2. Processus d'eutrophisation :           | 53 |
| 3. Facteurs favorisant l'eutrophisation : | 54 |
| 4. Origines de l'eutrophisation :         | 54 |
| 4.1. Sources agricoles :                  | 56 |
| 4.2. Sources urbaines et industrielles:   | 57 |
| 5. Symptômes d'eutrophisation :           | 57 |
| 6. Effets de l'eutrophisation :           | 59 |
| 6.1. Effets directs :                     | 59 |
| 6.2. Effets indirects :                   | 60 |
| 7. Impacts de l'eutrophisation :          | 61 |
| 7.1. Impacts sur la santé humaine :       | 61 |
| 7.2. Impacts sur l'écologie aquatique :   | 62 |
| 7.3. Impacts économiques :                | 62 |
| 8. Evaluation de l'état trophique :       | 62 |
| 8. Lutte contre l'eutrophisation :        | 64 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 9. Conclusion : ..... | 69 |
|-----------------------|----|

## **CHAPITRE 5: ETUDE EXPERIMENTALE**

|                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Présentation de la région : .....                                                                                               | 70  |
| 1.1. Caractéristiques du bassin versant : .....                                                                                    | 70  |
| 1.1.1. Situation géographique : .....                                                                                              | 70  |
| 1.1.2. Aperçu climatologique: .....                                                                                                | 71  |
| 1.1.3. Lithologie de la région : .....                                                                                             | 73  |
| 1.1.4. Topographie : .....                                                                                                         | 76  |
| 1.1.5. Végétation : .....                                                                                                          | 78  |
| 1.2. Caractéristiques du barrage : .....                                                                                           | 79  |
| 2. Résultats et discussion: .....                                                                                                  | 81  |
| 2.1. Calcul du transport solide dans l'Oued Mina : .....                                                                           | 81  |
| 2.1.1. Variation annuelle : .....                                                                                                  | 81  |
| 2.1.2. Variation mensuelle : .....                                                                                                 | 83  |
| 2.1.3. Variation saisonnière : .....                                                                                               | 84  |
| 2.1.4. Discussions et interprétations : .....                                                                                      | 89  |
| 2.2. Pertes de la capacité du barrage : .....                                                                                      | 90  |
| 2.2.1. L'envasement du barrage SMBA : .....                                                                                        | 90  |
| 2.2.2. Pertes liés à l'évaporation : .....                                                                                         | 96  |
| 2.3. Qualité des eaux du barrage SMBA : .....                                                                                      | 97  |
| 2.4. Relation entre le volume de la vase chassée et la concentration résiduelle du phosphore dans les eaux de barrage SMBA : ..... | 102 |
| CONCLUSION GENERALE : .....                                                                                                        | 106 |

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

## LISTE DES PHOTOS

### Chapitre 1

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Photo I.1: Erosion en Algérie, la région de Sidi M'hamed Ben Aouda (Relizane).....              | 3  |
| Photo I.2: Impact de la chute de la gouttelette d'eau sur le sol en réalité.....                | 6  |
| Photo I.3: Erosion par ravinement, la région de Zemmoura (Relizane).....                        | 8  |
| Photo I.4: Erosion linéaire, montagnes de Dahra(Relizane).....                                  | 9  |
| Photo I.5: Processus de l'érosion hydrique.....                                                 | 9  |
| Photo I.6: Perte des terres arables par l'érosion hydrique en Algérie, Zemmoura (Relizane)..... | 20 |

### Chapitre 2

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Photo II.1: Alluvions charriées par un cours d'eau (Oued Chiffa, Algérie) .....   | 25 |
| Photo II.2: Tassage très développé le long les berges d'Oued Chiffa, Algérie..... | 33 |

### Chapitre 3

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Photo III.1: Diffusion des particules fines à l'entrée de la retenue.....                                                        | 36 |
| Photo III.2: Seuils de sédimentation en Gabions et en pierres sèches réalisés dans le bassin<br>Versant du barrage BAKHADDA..... | 44 |
| Photo III.3: Dragage stationnaire «DJEBEL DEBAGHE» au barrage bakhadda.....                                                      | 47 |
| Photo III.4: Zone de stockage des sédiments. Rejet en cours par dragage suceuse<br>(Barrage de Fergoug).....                     | 48 |

### Chapitre 4

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Photo IV.1: Dégradation de la qualité des eaux de barrages algériens par l'eutrophisation.<br>Barrage SMBA, Relizane..... | 51 |
| Photo IV.2: Oued Mazafran en plein état hypereutrophe. Tipaza, Algérie.....                                               | 51 |
| Photo IV.3: Production végétale intense. Oued Mazafran Tipaza.....                                                        | 53 |
| Photo IV.4: Blooms ou les fleurs d'eau.....                                                                               | 60 |

### Chapitre 5

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Photo V.1: Barrage Sidi M'hamed Ben Aouda.....                              | 80  |
| Photo V.2: Couleur verdâtre des eaux de Barrage Sidi M'hamed Ben Aouda..... | 100 |
| Photo V.3: Apparition de l'eutrophisation dans le barrage SMBA.....         | 104 |
| Photo V.4: Apparition de l'eutrophisation dans le barrage SMBA.....         | 105 |
| Photo V.5: Apparition de l'eutrophisation dans le barrage SMBA.....         | 105 |

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

## LISTE DES FIGURES

### Chapitre 1

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| Figure I.1: Mécanisme de l'effet de splash.....         | 5  |
| Figure I.2: Formation de la croûte de battance.....     | 7  |
| Figure I.3: Différentes formes de bassins versants..... | 13 |

### Chapitre 2

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure II.1: Production, transfert et stockage de la charge de fond.....                             | 22 |
| Figure II.2: Diagramme de HJULSTROM.....                                                             | 23 |
| Figure II.3: les différents modes du transport solide.....                                           | 24 |
| Figure II.4: Mouvements des granulats pendant un charriage.....                                      | 27 |
| Figure II.5: Principe du charriage d'une particule.....                                              | 27 |
| Figure II.6: Forces exercées sur une masse d'eau pendant sa circulation.....                         | 28 |
| Figure II.7: Surface d'action d'une force tractrice.....                                             | 28 |
| Figure II.8: Différents types des particules qui se trouvent en suspension lors d'un écoulement..... | 31 |

### Chapitre 3

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure III.1: Processus de l'envasement classique.....                                                           | 35 |
| Figure III.2: Formation d'un courant de densité.....                                                             | 36 |
| Figure III.3: Schéma de la composition simplifiée des sédiments.....                                             | 39 |
| Figure III.4: Répartition de la granulométrie au fond du barrage.....                                            | 39 |
| Figure III.5: Principe de la correction torrentielle.....                                                        | 43 |
| Figure III.6: Absence de l'ouverture de la vanne.....                                                            | 44 |
| Figure III.7: Soutirage du courant de densité par l'ouverture de la vanne de fond.....                           | 44 |
| Figure III.8: Technique de chasse permet de dévaser que les zones près de la vanne.....                          | 45 |
| Figure III.9: Répartition du taux de comblement annuel des grands barrages dans les bassins hydrographique ..... | 49 |

### Chapitre 4

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure IV.1: Représentation schématique du phénomène d'eutrophisation.....                                               | 52 |
| Figure IV.2: Cycle du phosphore avec ou sans perturbation anthropique.....                                               | 55 |
| Figure IV.3: Différentes catégories d'algues.....                                                                        | 60 |
| Figure IV.4: différents groupes d'actions curatives pouvant être mises en place pour lutter contre l'eutrophisation..... | 64 |

### Chapitre 5

|                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure V.1: Situation du bassin versant de l'Oued Mina.....                                                                                                   | 71 |
| Figure V.2: Répartition moyenne de la pluviométrie au cours de l'année (Période 1970-2010).....                                                               | 72 |
| Figure V.3: Variation saisonnière moyenne de la pluviométrie (Période 1970-2010).....                                                                         | 72 |
| Figure V.4: Carte lithologique du bassin versant de l'Oued Mina.....                                                                                          | 75 |
| Figure V.5: Cartes des pentes du bassin versant de l'Oued Mina.....                                                                                           | 77 |
| Figure V.6: Répartition du couvert des terres du bassin de S.M Ben-Aouda. (ANRH).....                                                                         | 78 |
| Figure V.7: Carte simplifiée du couvert des terres du bassin de S.M. Ben-Aouda. (ANRH).....                                                                   | 78 |
| Figure V.8: Image satellitaire de la retenue de Sidi M'hamed Ben Aouda. (ANBT).....                                                                           | 79 |
| Figure V.9: Relation entre le débit solide $Q_s$ [kg/s] et le débit liquide $Q_l$ [m <sup>3</sup> /s] de l'Oued Mina (Période 1971-2001)-annuel.....          | 82 |
| Figure V.10: Relation entre le débit solide $Q_s$ [kg/s] et le débit liquide $Q_l$ [m <sup>3</sup> /s] de l'Oued Mina (Période 1971-2001)-saison d'hiver..... | 85 |

|                                                                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure V.11: Relation entre le débit solide $Q_s$ [kg/s] et le débit liquide $Q_l$ [m <sup>3</sup> /s] de l'Oued Mina (Période 1971-2001)-saison de printemps..... | 86  |
| Figure V.12: Relation entre le débit solide $Q_s$ [kg/s] et le débit liquide $Q_l$ [m <sup>3</sup> /s] de l'Oued Mina (Période 1971-2001)-saison d'été.....        | 87  |
| Figure V.13: Relation entre le débit solide $Q_s$ [kg/s] et le débit liquide $Q_l$ [m <sup>3</sup> /s] de l'Oued Mina (Période 1971-2001)-saison d'automne.....    | 88  |
| Figure V.14: Variation de débit solide moyen mensuel en suspension sur une période s'étend de 1972 à 2001.....                                                     | 89  |
| Figure V.15: Evolution du volume de la vase dans le barrage SMBA (1978-2003).....                                                                                  | 91  |
| Figure V.16: Courbe capacité/ surface/ hauteur du barrage SMBA, 1979(ANBT).....                                                                                    | 92  |
| Figure V.17: Courbe capacité/ surface/ hauteur du barrage SMBA, 1985 (ANBT).....                                                                                   | 93  |
| Figure V.18: Courbe capacité/ surface/ hauteur du barrage SMBA, 2003 (ANBT).....                                                                                   | 94  |
| Figure V.19: Evaporation moyenne annuelle sur le bassin versant de l'Oued Mina.....                                                                                | 96  |
| Figure V.20: Evaporation moyenne mensuelle sur le bassin versant de l'Oued Mina.....                                                                               | 97  |
| Figure V.21: Evolution annuelle de la concentration du phosphore $PO_4^{3-}$ (période:2000-2011).....                                                              | 98  |
| Figure V.22: Evolution mensuelle de la concentration du phosphore $PO_4^{3-}$ (période:2000-2011).....                                                             | 98  |
| Figure V.23: Variation saisonnière de la concentration du phosphore $PO_4^{3-}$ (période:2000-2011).....                                                           | 99  |
| Figure V.24: variation mensuelle du pH (période: 2000-2011).....                                                                                                   | 101 |
| Figure V.25: variation saisonnière du pH (période: 2000-2011).....                                                                                                 | 101 |
| Figure V.26: variation mensuelle de la concentration de l'oxygène dissous (Période: 2000-2011).....                                                                | 102 |
| Figure V.27: variation saisonnière de la concentration de l'oxygène dissous (Période: 2000-2011).....                                                              | 102 |
| Figure V.28: Variation annuelle du volume de dévasement pendant le Vidange de fond du barrage SMBA en fonction du temps (Période: 2000-2012).....                  | 103 |
| Figure V.29: Evolution annuelle de la concentration du phosphore $PO_4^{3-}$ (période:2000-2011).....                                                              | 103 |



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

## LISTE DES TABLEAUX

### Chapitre 1

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| Tableau I.1: Coefficient de la perméabilité(a)..... | 18 |
| Tableau I.2: Coefficient d'érosion (Z).....         | 19 |

### Chapitre 2

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau II.1: Différents types des granulats transportés par un cours d'eau..... | 26 |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|

### Chapitre 3

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau III.1: Vitesses de sédimentation moyennes des barrages surélevés..... | 46 |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|

### Chapitre 4

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau IV.1: Inventaire des principales origines ponctuelles et diffuses du phosphore.....              | 56 |
| Tableau IV.2: Caractéristiques générales des réservoirs oligotrophes et eutrophes.....                   | 59 |
| Tableau IV.3: Valeurs des seuils du système fixe de classification de l'état trophique.....              | 63 |
| Tableau IV.4: Différents groupes de techniques utilisées dans la lutte curative de l'eutrophisation..... | 68 |

### Chapitre 5

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau. V.1: Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Mina.....                                  | 70 |
| Tableau. V.2: Formations lithologiques du bassin versant de la Mina.....                                              | 74 |
| Tableau. V.3: Classes de pentes dans le bassin versant de l'Oued Mina.....                                            | 76 |
| Tableau. V.4: Quantification moyenne annuelle des débits solides en suspension.....                                   | 81 |
| Tableau. V.5: Quantification des débits moyens mensuels en suspension.....                                            | 83 |
| Tableau. V.6: Quantification des débits solides moyens saisonniers en suspension.....                                 | 84 |
| Tableau. V.7: Quantification des pertes de la capacité de stockage par l'envasement, l'évaporation et les fuites..... | 90 |
| Tableau. V.8: Evolution de la capacité de stockage du barrage SMBA en fonction du temps.....                          | 90 |
| Tableau. V.9: Evolution de la perte en capacité du barrage analysée à partir de la mise en service du barrage.....    | 95 |

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

## 1. Introduction :

Un climat aride et semi-aride, des précipitations torrentielles irrégulières et l'absence de la végétation, ce sont des paramètres qui influent sur le développement et l'intensité de l'érosion en Algérie (Photo I.). Ce phénomène a été classé parmi les problématiques majeures rencontrées dans le domaine de l'hydraulique, avec un taux d'érosion spécifique annuel estimé entre 2000 et 4000 t/km<sup>2</sup>.an (BOUCHELKIA, REMINI et al., 2011) et qui a dépassé le 5000t/km<sup>2</sup>.an dans les bassins hydrographiques comme le bassin versant de l'Oued Agrioum (REMINI, 2005).

Ce premier chapitre traitera tous ce qui concerne le phénomène d'érosion, spécifiquement l'érosion hydrique, en essayant de simplifier ses éléments principaux, comme les types d'érosion hydrique, son processus, ses agents d'influence, la quantification des pertes de sols et ses conséquences au fil du temps.



*Photo I.1: Erosion en Algérie, la région de Sidi M'hamed Ben Aouda (Relizane), 2013.*

## 2. Généralités :

Plusieurs définitions ont été adoptées par les chercheurs pour approcher mieux le sens exacte de l'abrasion ou l'érosion des sols. D'une façon globale, l'érosion peut être expliquée comme **le détachement et le transport** des particules de sol, par différents agents (gravité, eau, vent et glace), de leur emplacement d'origine à un endroit de **dépôt** à l'aval (BOUANANI, 2004).

Selon l'agent qui participe dans l'arrachement et l'évacuation des particules solides, on distingue trois types d'érosion : érosion éolienne, érosion glaciaire, érosion gravitaire et érosion hydrique.

✓ **Erosion éolienne:** Ce type d'érosion est classé comme un processus mécanique car les matériaux sont arrachés et transportés par le vent. Cet agent est rarement assez fort, donc il ne peut transporter que des particules fines telles que les grains de sable et seulement si celui-ci est sec et non retenu par la végétation.

✓ **Erosion glaciaire :** La force de détachement et de glissement des glaciers provoque l'arrachage des couches superficielles qui sont en contact avec le glacier. Ce type d'érosion est observé dans des endroits comme la Cordillère canadienne ou dans l'Arctique.

✓ **Erosion hydrique :** C'est l'arrachement des particules solides de leur position initiale, puis leur rangement (ramassement) et leur évacuation au niveau des cours d'eau jusqu'aux pieds de montagnes et les retenues d'eau sous l'action de l'agent transporteur « l'eau ».

✓ **Erosion gravitaire :** cette érosion se présente à petite échelle par le déplacement de quelques millimètres de la particule fine suite à sa propre force gravitaire. A grande échelle ce type d'érosion correspond aux chutes gravitaires puissantes des agrégats et des fragments solides. Les terrains qui représentent des fortes pentes répondent principalement à ce type d'érosion.

Ce phénomène devient une menace lorsque l'érodabilité des sols atteint les seuils et la masse solide érodée perturbe notre système écologique. L'érosion hydrique est le type sur lequel se base cette étude puisqu'elle représente l'origine principal des matériaux solides piégés au niveau des retenues d'eau. C'est une simple action mécanique sur une période probablement courte mais elle peut conduire à des conséquences néfastes à long terme traduites par la réduction de la quantité et la qualité de nos réserves.

### 3. Types d'érosion hydrique :

Chaque bassin versant est caractérisé par un ensemble des reliefs différents. Il regroupe des surfaces plates et des surfaces inclinées ou montagneuses. Lors des précipitations, la chute des gouttelettes d'eau sur les deux surfaces se réagit avec le sol par deux mécanismes différents. Ce qui explique l'existence de deux formes d'érosion dans le bassin versant: la forme aréolaire et la forme linéaire.

#### 3.1. Erosion aréolaire :

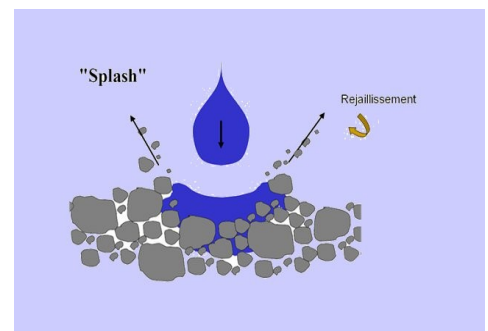
Ce type d'érosion peut être considéré comme le point du départ du cycle érosif d'un bassin versant. Généralement, l'érosion aréolaire se manifeste sur les surfaces à faible pente. A ce niveau là, la relation sol-pluie est dominante et joue un rôle très intéressant. En particulier, L'ensemble des caractéristiques du sol (texture, structure, granulométrie, perméabilité ...) influe sur le développement et l'intensité du phénomène.

L'érosion aréolaire regroupe deux formes d'érosion chaque forme est caractérisée par un mécanisme spécifique :

##### 3.1.1. Erosion en nappe :

L'érosion en nappe est tout simplement l'origine principale des particules fines qui seront transportées en suspension durant le transfert hydrique à travers le réseau hydrographique. Les caractéristiques de la pluie tombée qui englobent la taille et la vitesse de chute des gouttes d'une part, et les caractéristiques du sol et de la surface qui expriment la capacité du sol à être érodé d'autre part, se réunissent et participent dans la manifestation d'un phénomène appelé « l'effet de splash » (Fig. I.1). « Quand les gouttes de pluie arrivent sur le sol nu, elles agissent comme de véritables petites bombes et font éclater les particules de sol. »(GAUDIN et al., 2003).

Durant ce processus, l'énergie cinétique acquise par la gouttelette d'eau pendant la chute se transforme en une force très élevée, exercée sur le sol est capable de briser les mottes de terres.



**Fig. I.1** Mécanisme de l'effet de splash.  
(FOX D., 2008).

La couche superficielle du sol subit une désagrégation et les particules se projettent dans tous les sens et deviennent facilement mobilisées par les traces du ruissellement. L'érosion en nappe est la forme initiale de l'érosion hydrique (Photo. I.2).

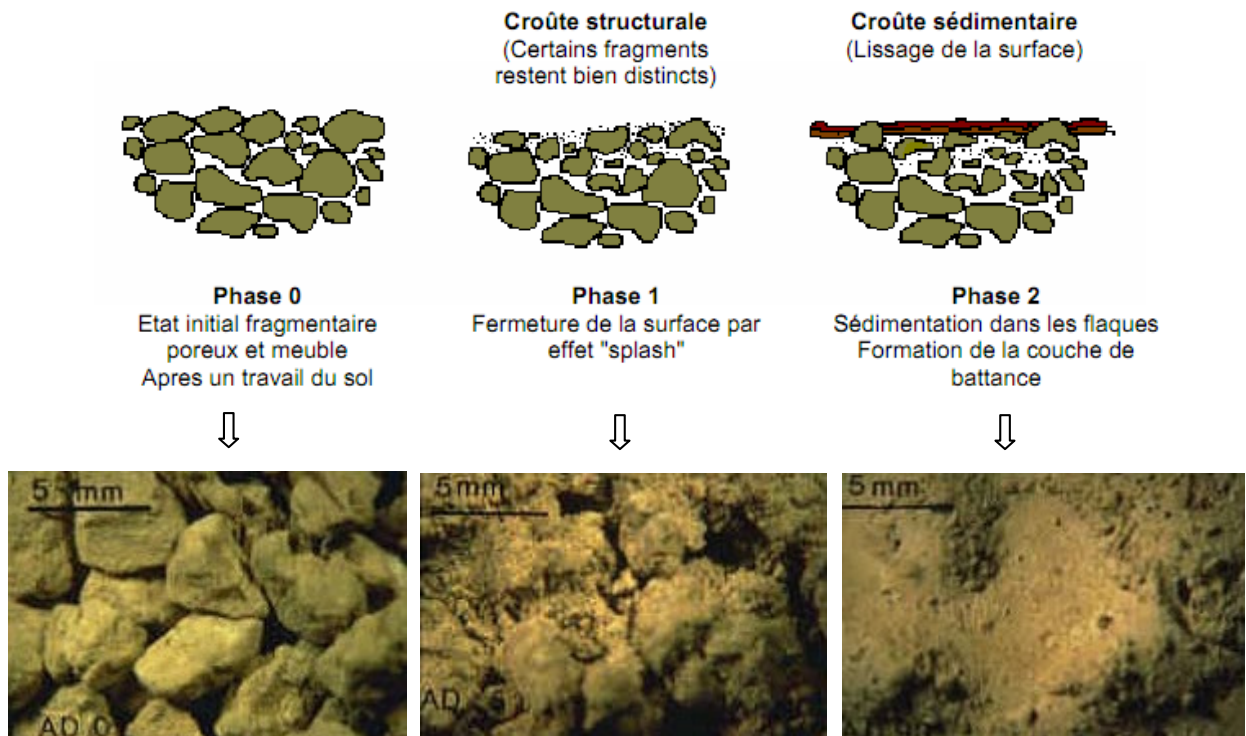


Photo I.2: *Impact de la chute de la gouttelette d'eau sur le sol en réalité.*  
(FOX D., 2008).

### 3.1.2. Erosion en rigole :

L'effet de splash constaté, pendant la première forme d'érosion, s'accompagne souvent par un autre processus nommé l'effet de battance. Durant les précipitations, les particules fines dispersées rejoignent les pores de la surface et s'accumulent. Alors on remarque des modifications sur l'état de la couche superficielle du sol (Fig. I.2) :

- La dégradation des mottes par les gouttes de pluies. Elles deviennent plus petites;
- La disparition des macrospores qui revient au dépôt des sédiments. A cet instant, l'eau commence à s'infiltrer à travers des pores de taille plus petite;
- la formation d'une couche qui a une apparence continue, légèrement rugueuse, très lissée et imperméable.



**Fig. 1.2:** Formation de la croûte de battance.  
(TRIBOUILLARD C., 2004)

Cette couche est appelée la croûte de battance. La formation de la croûte diminue la vitesse de l'infiltration de l'eau vers les couches profondes et sert à la manifestation des ruisselés très petits dans les sillons. Ces derniers suivent le sens de la pente du terrain en débordant les mottes et les différents obstacles. Dès que l'écoulement superficiel devient important les petits ruisselés se concentrent dans des rigoles et transportent les produits fins de l'érosion en nappe. Quand l'intensité de l'écoulement augmente beaucoup plus et la vitesse du ruissèlement évolue, l'eau creuse et arrache les morceaux de terres dans les zones inter-rigoles en formant des rigoles plus grandes et plus profondes. C'est la deuxième forme d'érosion (érosion en rigole).

« 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 » (BOUANANI, 2004).



### 3.2. Erosion linéaire :

C'est une image plus agrandie de l'érosion en rigole puisqu'elle représente les mêmes principes et le même mécanisme du déclenchement du phénomène mais à l'échelle plus grand. Tant que le ruissellement se concentre sur le long du plan versant, l'énergie érosive du l'écoulement augmente en créant des rigoles plus larges et plus profondes. Ce sont des ravines comme elles peuvent être des talwegs ou des cours d'eau (Photo I.3).

« Cette érosion contrôle l'évolution de tous les chenaux qu'elle rencontre et assure la continuité du transfert des sédiments produits dans tous le bassin versant jusqu'à la mer. L'écoulement liquide est concentré dans le lit des talwegs et persiste même après l'arrêt de la pluie » (BESSENASSE, 2010).

« L'évolution de cette forme d'érosion se déroule d'une façon linéaire. Elle apparait dans les dépressions naturelles, c'est à dire l'intersection de deux plans de versant, et se propage jusqu'au fond des vallées à travers le réseau hydrique » (BESSENASSE, 2010).

La vitesse d'écoulement, la force d'abrasion et la taille et le volume des sédiments arrachés sont trois paramètres proportionnels. Alors le rapport des apports solides au niveau du cours d'eau principal indiquera une production très importante des sédiments de diamètre plus élevé suite au creusement du lit des talwegs et au sapement des berges (Photo I.4).

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 (BOUANANI, 2004).



Photo I. 3: Erosion par ravinement, la région de Zemmoura (Relizane). (ANRH).



**Photo I. 4:** Erosion linéaire, montagnes de Dahra(Relizane). (ANRH).

#### 4. Mécanisme de l'érosion hydrique :

En réalité, dans un bassin versant les trois types d'érosion sont attachés, et les facteurs de la production et du transport des sédiments sont liés, formant un processus d'érosion général et commun (Photo I.5). Mais comme chaque bassin est défini par des caractéristiques climatologiques, topographiques, géologiques et hydrogéologiques spécifiques, on trouve une forme d'érosion dominante qui caractérise le bassin versant.



**Photo I. 5:** Processus de l'érosion hydrique.  
(GAUDIN A. et al., 2003).

1. L'érosion hydrique commence par l'effet de l'action de la pluie sur le sol (l'effet de splash) ;
2. La formation de la croûte de battance réduit la perméabilité du sol et provoque les petits ruisselets qui mobilisent les particules désagrégées (érosion en nappe) ;
3. Au fur et à mesure, le ruissellement se concentre et devient important. Il acquiert alors, une énergie qui lui permet d'attaquer le sol ou la roche en certain point, formant ainsi des rigoles qui vont se transformer en ravines ;
4. Les rigoles et les ravines orientées dans le sens de la pente ramassent les apports liquides et solides sur toute la surface du plan de versant jusqu'au rejoindre l'intersection de chaque deux plans versants ou le bas de la pente et inversent le produit dans les talwegs qui alimentent le cours d'eau ;
5. Plus l'énergie cinétique du ruissellement s'accroît en fonction de la descente, plus la capacité de creusement sera assez importante et plus sa charge en sédiments grossier augmente.

Ce déroulement de l'érosion hydrique qui définit bien l'action de l'eau sur le sol, nous permet d'avoir une idée sur l'existence et la formation des chenaux et les changements constatés sur le lit des cours d'eau à travers le temps.

## **5. Facteurs influençant sur l'érosion hydrique :**

L'érosion hydrique est provoquée par les actions combinées de plusieurs facteurs. Le taux des matériaux érodés dépendent de l'intensité de chaque facteur (la lame d'eau précipitée, l'occupation du sol, la topographie et le type de sol).

### **5.1. Facteurs d'origine naturelle :**

#### **5.1.1. Facteurs climatiques :**

Le climat constitue la cause et la source principale d'énergie érosive. En général, les gouttes de pluie et les eaux de ruissellement sur les terrains en pente détachent et mobilisent les particules du sol.

##### **5.1.1.1. L'intensité des précipitations :**

La pluie est considérée comme l'élément moteur du phénomène d'érosion hydrique. Les gouttes de pluie provoquent la désagrégation et la dispersion des particules de sol. Mais la quantité

et la taille du produit érodé dépendent de l'efficacité de ce facteur qui peut être déterminée par l'énergie cinétique des gouttelettes ou l'intensité des précipitations.

Les chercheurs Poesen & Hook (1997), ont déterminé expérimentalement une relation empirique entre la masse du sol détachée ( $D_p$ ) et l'énergie cinétique de la pluie ( $E_c$ ). Elle est de la forme suivante :

$$D_p = a \cdot E_c^b \quad \dots\dots\dots \text{eq.I.1 (TAVARES, 2010).}$$

Où :

$D_p$ : Masse détachée ;

$E_c$ : Energie cinétique de la pluie ;

$a$  et  $b$ : Coefficients dépendent essentiellement de la texture et de la structure du sol.

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 A., 2004).

$$E_c = 11.9 + 8.73 \log I_p' \quad \dots\dots\dots \text{eq.I.2 (BOUANANI, 2004).}$$

Avec :

$E_c$  : Energie cinétique en  $\text{J/m}^2/\text{mm}$  ;

$I_p'$ : Intensité de pluie en  $\text{mm/h}$ .

Ce qui nous permet de conclure l'impact de l'énergie cinétique des gouttelettes d'eau sur l'érosion du sol et schématiser mathématiquement la relation entre la masse de la matière produite et l'intensité de la pluie.

Généralement, une érosion causée par les orages de courte durée (d'une grande intensité) est plus importante qu'une érosion causée par des pluies faibles pendant une longue durée (d'une faible intensité). Selon Laouina (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 (In BOUANANI, 2004).



### 5.1.1.2. *Le ruissellement :*

Un écoulement d'eau superficiel joue deux rôles synchrones (simultanés); le rôle d'un agent d'abrasion du sol par son effet de creusement et le rôle d'un transporteur des particules détachées jusqu'au lieu du dépôt. La force érosive dépend de la vitesse du courant et la taille des particules. Les particules les plus fines, comme les sables fins, limons, argiles et la matière organique, sont arrachées et emportées facilement même par un faible ruissellement. Le déplacement des plus grosses particules de sable et de gravier nécessite des gouttes de pluies plus fortes (dissipant plus d'énergie) et un ruissellement assez important.

L'écoulement superficiel traduit approximativement l'intensité des averses car la réponse à une même intensité d'averse dépend d'un bassin à l'autre. La lame d'eau écoulée dans un cours d'eau se met ainsi sous l'influence des caractéristiques physiques du bassin et la variation des paramètres composants le bilan hydrique.

L'efficacité du ruissellement superficiel dépend de :

a. la teneur initiale du sol en eau :

La teneur initiale en eau justifie le moment d'apparence d'un écoulement superficiel. Dans le cas d'un sol sec, les premiers filets d'eau vont imbiber les grains du sol. Contrairement dans un sol humide l'eau circule directement.

« 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. Le ruissellement ne débute qu'après un cumul pluviométrique journalier de 18 à 20 mm sur sol sec même si les pluies sont intenses ou après un cumul de 4 mm sur sol humide et compact » (BOUANANI, 2004).

b. L'infiltration :

L'efficacité du ruissellement dépend de la teneur initiale du sol en eau (humidité) et de la vitesse d'infiltration. L'infiltration permet le transfert de l'eau à travers les couches superficielles du sol, lorsque celui-ci reçoit une averse ou est exposé à une submersion. Le ruissellement se produit, notamment, lorsque l'eau sur une pente ne peut pas s'infiltrer assez vite dans le sol.

« Conceptuellement, il est courant de distinguer deux processus pour expliquer l'apparition du ruissellement : le refus d'infiltration d'un sol non saturé dit ruissellement « hortonien » d'une part, et le refus d'infiltration d'un sol saturé d'autre part » (TAVARES, 2010).

- Le ruissellement hortonien apparaît dans un sol sec ou non saturé lorsque la vitesse de l'écoulement superficiel horizontal est supérieure à celle de l'écoulement vertical vers les profondeurs suite à une intensité de la pluie qui dépasse la vitesse de l'infiltration des eaux, spécialement, lors des orages exceptionnels après des périodes sèches.

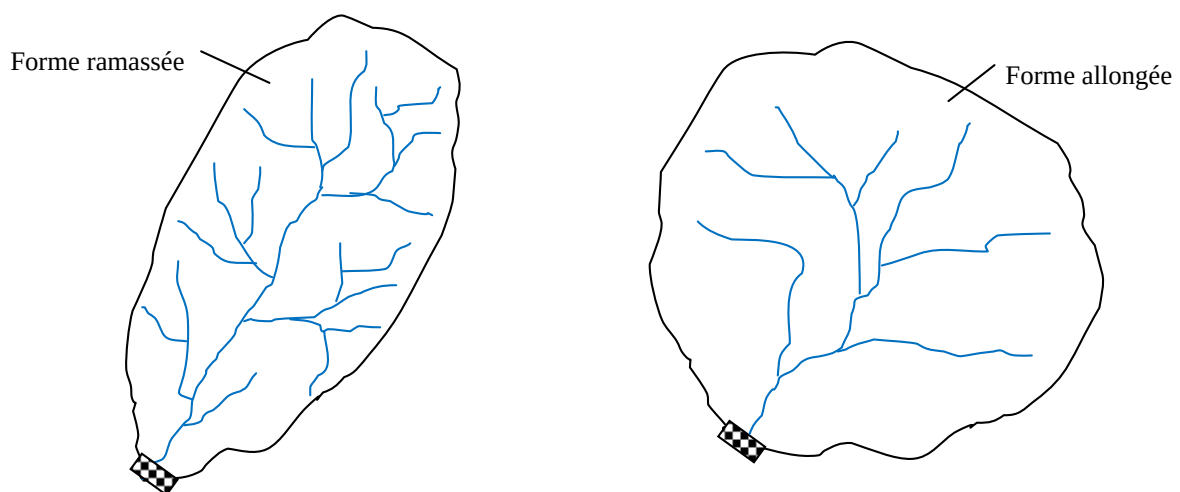
- Le ruissellement par saturation apparaît lorsque le sol sera en plein état de saturation. Les zones sous climat humide connaissent ce type de ruissellement où le sol préserve une certaine humidité qui permet aux pluies tombantes de participer directement au ruissellement.

« Au cours du temps la baisse de l'infiltration 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 » (BOUANANI, 2004).

### 5.1.2. Facteurs morphologiques :

#### 5.1.2.1. La forme du bassin versant :

Le temps de concentration des écoulements des talwegs qui alimentent le cours d'eau principal dépend de la forme du bassin. Le bassin qui présente dans l'ensemble une forme plus ramassée prend un temps de concentration des eaux de ruissellement plus court, ce qui augmente le risque d'érosion. Par contre la forme allongée exige un temps plus important pour se concentrer (Fig. I.3).



**Fig. I.3:** Différentes formes de bassins versants.

Nous pouvons remarquer que généralement, la puissance du ruissellement dans un bassin versant d'une forme ramassée se traduit par la densité du son réseau hydrographique sous l'effet du creusement des roches.

#### 5.1.2.2. *L'inclinaison de la pente :*

C'est un facteur très important. Généralement, les fortes pentes sont représentées par les montagnes ou on constate des chutes d'eau et des écoulements gravitaires très rapides qui peuvent atteindre le maximum par contre l'écoulement devient lent quand il rencontre les plaines.

Cette réalité peut être expliquée théoriquement par des formules empiriques; les équations de Chézy (1769) et Manning (1889). Donc La vitesse d'écoulement dépend d'une part de la rugosité du sol et d'autre part de **l'inclinaison de la pente**.

- Chézy (1769) :  $V = C \sqrt{RI}$  .....eq.I.3

- Manning (1889):  $V = \frac{1}{\eta} (R^{2/3} \cdot I^{1/2})$  .....eq.I.4

Où :

V : Vitesse moyenne de ruissellement [m/s] ;

C : Coefficient de rugosité de Chézy ;

$\eta$  : Coefficient de rugosité de Manning ;

R : Rayon hydraulique [m] ;

I : Pente [m/m].

La puissance du ruissellement suite à l'influence des fortes dans un bassin versant se traduit par la densité du son réseau hydrographique sous l'effet du creusement des roches.

« Par conséquence, l'inclinaison des terrains dépourvus de végétation et dont la pente dépasse les 20 %, favorise les pertes en sols par ravinement malgré la diminution de ruissellement » (NAIMI et al., 2011).

« La longueur de la pente est moins importante que son gradient et sa forme, mais à précipitation égale, il s'accumule sur une pente plus longue un plus grand volume d'eau et le temps d'absorption par le sol de l'eau de ruissellement est plus grand sur les parcelles longues que sur les parcelles courtes » (BOUKHEIR et al., 2001).

### 5.1.3. Facteurs lithologiques :

« La stabilité structurale d'un sol contre les actions érosives de l'eau dépend de sa texture, sa teneur en carbone organique, sa structure et de sa perméabilité, qui donne une certaine cohésion au sol. Des textures avec trop peu d'argiles ont une faible cohésion et donc une faible stabilité structurale. En-dessous d'environ 10-15% d'argile, la stabilité structurale est plutôt faible » (FOX, 2008).

On constate en particulier que les sols à texture limoneuse sont parmi les plus sensibles à l'érosion, malgré leur forte capacité de rétention en eau (liée à la distribution favorable de leur porosité). A noter que la baisse du taux de carbone organique du sol est une cause mais surtout une des conséquences de l'érosion (GOOR, 2010).

Le taux et le type de cations dominants dans le sol décrivent sa résistance structurale face à l'érosion hydrique. La dispersion des ions est un mécanisme de désagrégation efficace.

« La dispersion physico-chimique résulte de la réduction des forces d'attraction entre les particules colloïdales lors de l'humectation. Elle dépend de la taille et de la valence des cations présents qui peuvent former des ponts entre les particules chargées négativement. Dans les sols, cette dispersion est surtout liée à la présence de sodium échangeable qui est monovalent, alors que l'ion calcium divalent favorise plutôt la stabilité » (Le BISSONNAIS et al., 1995).

Les argiles ont une charge électrostatique négative, les cations en solution ont une charge électrostatique positive. L'attraction entre argiles et cations permet aux argiles de former des agrégats par des ponts cationiques.

Le calcium est un cation particulièrement bénéfique pour la structure du sol et favorise la formation d'agrégats stables. Le sodium agit comme un dispersant dans le sol et contribue à sa désagrégation. Ce type de problème se rencontre surtout dans des zones arides et semi-arides où :

- il y a trop peu de lessivage pour emporter les sels vers la nappe phréatique et vers les cours d'eau.
- l'évaporation concentre les sels près de la surface.

### 5.1.4. La couverture végétale :

« Toutefois, un facteur prime sur la production du ruissellement et des sédiments : la végétation. Son influence est multiple. Elle tient à son rôle protecteur du sol par interception des gouttes, à l'obstacle qu'elle forme face aux écoulements, au rôle stabilisateur qu'elle a sur les



particules du sol, à son influence sur le comportement mécanique du sol par enrichissement en matière organique, et enfin à son influence sur la perméabilité du sol par l'entretien d'une macroporosité » (MOUNIROU, 2012).

## 5.2. Facteurs d'origine anthropique :

L'homme est agent principal dans le déroulement du phénomène d'érosion. Ces activités sur les versants précisent le mode d'occupation du sol qui influence lui-même sur l'intensité du ruissellement et donc l'intensité de la perte des sols.

« La couverture végétale totale est la variable la plus importante qui peut expliquer environ 80% de la variation des coefficients de ruissellement. Le coefficient de ruissellement est presque nul lorsque la couverture végétale dépasse 65% » (MOUNIROU, 2012).

La densité du couvert végétal et sa disparition est toujours liée à l'homme. L'urbanisation, le défrichement des forêts, les incendies, le surpâturage, la mise en culture sans précaution des terres susceptibles à l'érosion en pente, les labours mécanisés dans la direction de la pente et les techniques d'irrigation adoptées au niveau de la parcelle comme l'irrigation gravitaire, sont des pratiques anthropiques capables d'augmenter le risque de la dégradation des sol et des terres agricoles.

« Dans le cas des parcelles agricoles, le risque d'érosion hydrique est le plus élevé lorsque les sols sont occupés par des cultures de type sarclé, peu couvrantes, suivies des cultures de type non sarclé, plus couvrantes, puis des prairies où le risque est minimal, voire inexistant » (GOOR, 2010).

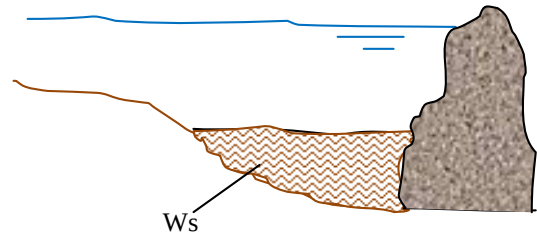
« La sensibilité du sol à l'érosion dépend également du type de travail du sol en surface. Les cultures de type sarclé nécessitent en particulier un affinement important de la couche superficielle du sol. Ce dernier peut entraîner la formation accélérée d'une croûte de battance en cas de forte pluie, ce qui diminue l'infiltrabilité du sol et accélère par conséquent le ruissellement » (GOOR, 2010).

## 6. Evaluation du taux d'érosion hydrique :

Le volume des matières solides érodées dans un bassin versant peut être déterminé en utilisant la notion « taux d'érosion » ( $E_s$ ). Cette dernière est définie, tout simplement, comme une quantité ou une masse des terres arrachées sur une superficie de  $1 \text{ km}^2$  du bassin versant durant une année hydrologique.

Selon le concept précédent, le taux d'érosion d'un bassin versant piégé dans une retenue d'eau est caractérisé par la formule suivante :

$$E_s = \frac{W_s \rho_s}{S T} \dots\dots\dots \text{eq.I.5}$$



Où :

$E_s$  : Taux d'érosion [ $t/Km^2/an$ ] ;

$W_s$  : Volume des sédiments érodé et déposé dans la retenue [ $m^3$ ];

$\rho_s$  : Masse volumique des sédiments [ $t/ m^3$ ];

$S$  : Superficie du bassin versant [ $Km^2$ ];

$T$  : Nombre d'années d'exploitation [an].

Les formules existantes dans ce domaine représentent une combinaison entre l'ensemble des facteurs ou des paramètres qui influencent sur la présence et l'intensité de l'érosion :

### 6.1. Relation de SOGREAH (1969) :

Basée sur les données de 30 bassins algériens, de superficie comprise entre 100 et 300 $km^2$ , soumis à une pluviométrie annuelle comprise entre 300 et 1000mm (In CHERFAOUI I., 2008).

$$E_s = a.R^{0.15} \dots\dots\dots \text{eq. I.6.}$$

Où :

$a$  : Coefficient de perméabilité. Il prend des valeurs différentes selon le degré de la perméabilité du sol (voir le tableau I.1) ;

$R$  : Lamme d'eau ruisselée [mm /an], elle est calculée selon la formule suivante :

$$R = P_0 - D_m \dots\dots\dots \text{eq. I.7.}$$

Où :

$P_0$  : Pluviométrie moyenne annuelle [mm] ;

$D_m$  : Déficit d'écoulement, calculé selon la relation de Turc comme suit :

$$D_m = \frac{P_0}{\sqrt{0.9 + \frac{P_0}{L^2}}} \dots\dots\dots \text{eq. I.8.}$$

Avec :

L : Variable thermique qui varie en fonction du temps :

$$L = 300 + 25t + 0.05t^2 \dots\dots\dots \text{eq. I.9.}$$

t : Température moyenne annuelle [°C].

**Tableau I.1** Coefficient de la perméabilité(a).  
(Remini B., 2013)

| Perméabilité du sol                  | Coefficient de perméabilité (a) |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| <i>Perméabilité élevée</i>           | 8.5                             |
| <i>Perméabilité moyenne à élevée</i> | 75                              |
| <i>Perméabilité faible à moyenne</i> | 350                             |
| <i>Perméabilité faible</i>           | 1400                            |
| <i>Sol imperméable</i>               | 3200                            |

## 6.2. Relation de GAVRILOVIC :

Cette relation a été testée dans le bassin versant de la Soummam. Elle est caractérisée par la formule suivante :

$$E_s = 3.14 T P_0 \sqrt{Z^3} \dots\dots\dots \text{eq. I.10.}$$

Où :

$E_s$  : Taux d'érosion [ $m^3/km^2 . an$ ] ;

$P_0$ : Pluviométrie moyenne annuelle [mm] ;

T : Coefficient de température, calculé par la formule suivante :

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10}} + 0.1 \dots\dots\dots \text{eq. I.11.}$$

Z : Coefficient d'érosion (Tableau I.2).

**Tableau 1.2:** Coefficient d'érosion (Z).  
(Remini B., 2013)

| catégorie | Degrés d'évolution            | Types de processus             | Z    |
|-----------|-------------------------------|--------------------------------|------|
| <b>1</b>  | Terrain extrêmement érodé     | 1. En profondeur               | 1.5  |
|           |                               | 2. En nappe                    | 1    |
|           |                               | 3. Mixte                       | 1.2  |
| <b>2</b>  | Terrain fortement érodé       | 1. En profondeur               | 0.9  |
|           |                               | 2. En nappe                    | 0.7  |
|           |                               | 3. Mixte                       | 0.8  |
| <b>4</b>  | Terrain moyennement érodé     | 1. En profondeur               | 0.6  |
|           |                               | 2. En nappe                    | 0.4  |
|           |                               | 3. Mixte                       | 0.5  |
| <b>3</b>  | Terrain faiblement érodé      | 1. En profondeur               | 0.3  |
|           |                               | 2. En nappe                    | 0.2  |
|           |                               | 3. Mixte                       | 0.25 |
| <b>5</b>  | Terrain très faiblement érodé | En profondeur, En nappe, Mixte | <0.1 |

## 7. Conséquences de l'érosion :

L'érosion hydrique des sols a des conséquences néfastes qui apparaissent non seulement sur le système écologique mais elle provoque aussi des dégâts économiques à long terme avec des frais supplémentaires pour la réparation des dommages (GAUDIN et al., 2003);

### Les impacts écologiques de l'érosion :

- ✓ la diminution de la qualité de la pêche ;
- ✓ la destruction des zones de reproduction des poissons (les frayères);
- ✓ la mort des poissons par asphyxie (les branchies sont bloquées par les matières en suspension) ;

- ✓ la réduction de la transparence de l'eau ;
- ✓ la prolifération excessive des plantes aquatiques due à la formation des fonds vaseux et de l'apport de matières organiques ;
- ✓ des produits toxiques accompagnent fréquemment des sédiments.

Les impacts économiques de l'érosion :

- ✓ la perte de sol fertile et son remplacement (Photo I.6) ;
- ✓ le blocage des égouts pluviaux ;
- ✓ l'augmentation des coûts de filtration de l'eau potable ;
- ✓ le blocage des ponceaux ;
- ✓ l'augmentation des risques d'inondation à cause du colmatage des rivières ;
- ✓ la perte de belles zones de baignade.



***Photo I. 6:** Perte des terres arables par l'érosion hydrique en Algérie, Zemmoura (Relizane). (ANRH).*

**8. Conclusion :**

L'érosion est un processus naturel qui se présente dans la nature sous différentes formes et qui traduit la forme de la couche pédologique, notamment, la convexité des montagnes et ainsi la formation lithologique des plaines. La densité de sa présence varie d'une façon spatiale et temporaire selon les conditions climatologiques, lithologiques, topographiques et hydrologiques du site à constater. Concernant son impact économique et environnemental, on enregistre des pertes très élevées du sol et des terres arables. Ce qui nécessite des réflexions à des solutions et à faire des efforts pour réduire les dégâts de ce problème et améliorer la stabilisation des sols.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

### **1. Introduction :**

L'écoulement gravitaire de l'eau au niveau d'un réseau hydrographique assure un transport permanent des matières solides arrachées durant le processus de l'érosion vers les plaines à faible pente ou jusqu'à la mer. Le volume solide évacué et la distance du transport dépendent de la taille des particules issues de l'érosion. Cette dernière condition est l'origine du développement de deux mécanismes différents du transport solide.

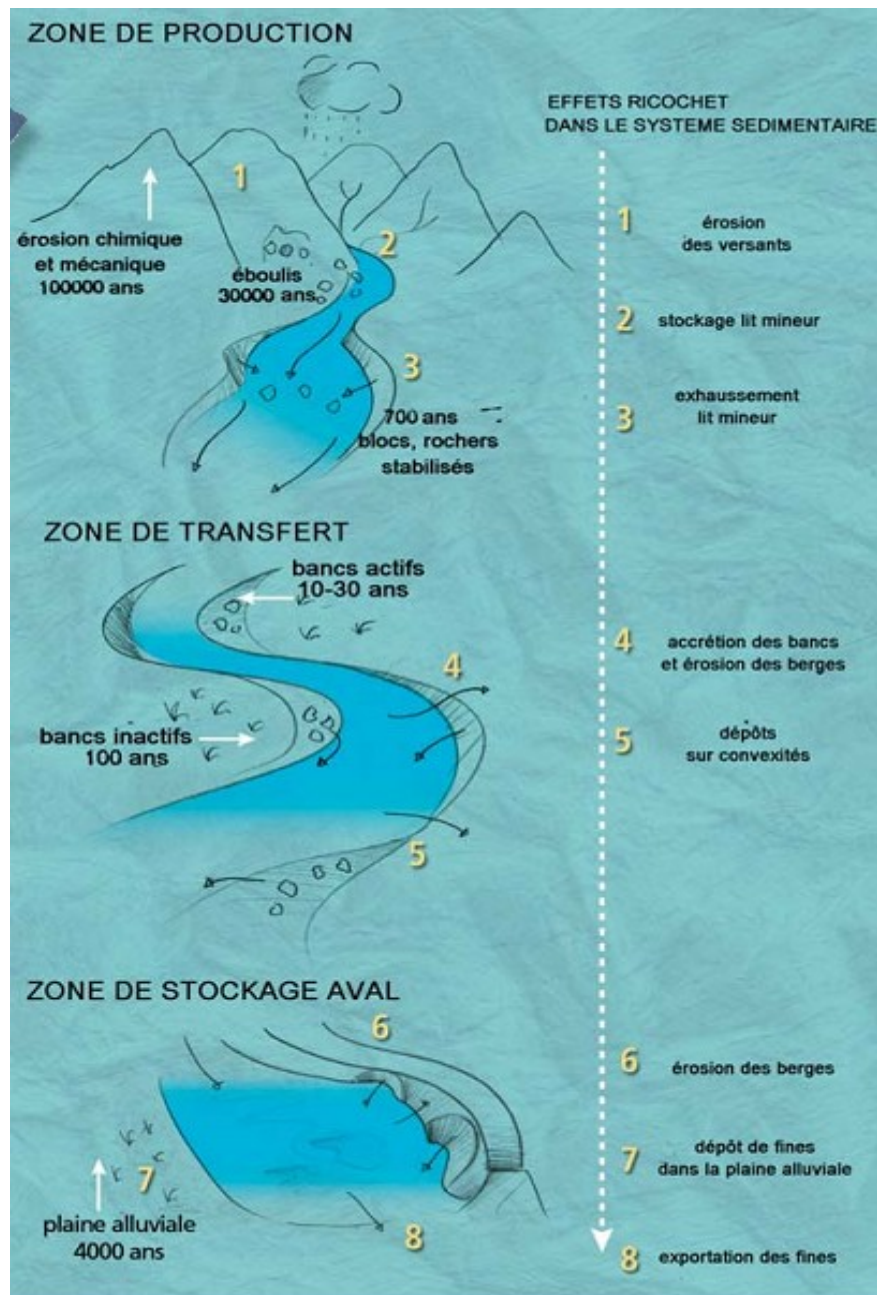
Le deuxième chapitre a été consacré à l'étude des différents modes de transport solide, à savoir le transport solide par charriage et le transport solide en suspension.

### **2. Généralités :**

« Le transport solide dans les cours consiste à transférer les matériaux préalablement désagrégés sur le versant. L'énergie nécessaire pour acheminer les particules est fournie par la déclivité des versants et la pente des cours d'eau. Mais aussi le climat est un autre facteur de taille qui joue un rôle déterminant dans le transport solide car il contrôle l'abondance des débits, l'intensité et la fréquence des crues.... L'énergie nécessaire pour transporter les particules est conférée par la pente des versants ou la pente du cours d'eaux » (TAVARES, 2010).

L'érosion hydrique et le transport solide sont deux processus simultanés. Au niveau des oueds, un écoulement d'une vitesse suffisante exige la corrosion des berges synchronisée avec le transport des éléments produits. La corrosion des berges participe dans le transport solide par 20 à 30% de la masse totale des sédiments produite sur l'ensemble du bassin versant et évacuée par le cours d'eau principal (In CHERFAOUI, 2008).





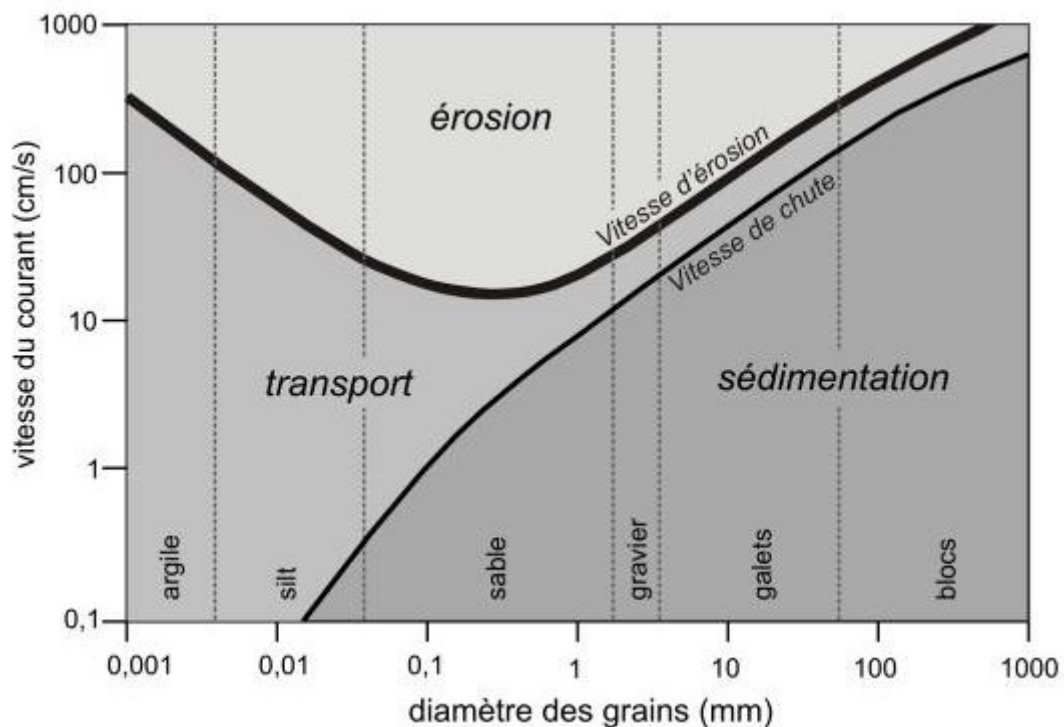
**Fig. II.1** Production, transfert et stockage de la charge de fond (d'après SEAR et NEWSON, 1993).  
(MALAVOI J. R., 2010).

La charge du fond charriée se dépose partiellement en quantités sous forme de bancs d'alluvions quand elle rencontre des plaines à faible pente et les convexités. On distingue des bancs actifs où le stockage est temporaire et ne dépasse pas quelques années et autres inactifs où les sédiments s'installent pour plusieurs dizaines d'années. Dans une même section verticale au niveau de la courbe de la rivière, le dépôt est très actif dans la berge convexe par contre la partie concave subit une érosion et une évacuation par le courant (Fig. II.1).



Les particules fines seront transportées facilement et en quantités par suspension. Selon l'efficacité du ruissellement, les blocs et les grosses particules se déplacent par charriage sur le fond du lit. La vitesse du déplacement des particules fines est identique à celle du fluide. Par contre dans le deuxième type du transport solide, le poids des agrégats retarde leur déplacement par rapport au courant d'eau et limite la distance traversée par les sédiments.

Durant un transport solide en suspension, c'est la turbulence du flux liquide qui gère la suspension des particules. Dans le deuxième cas, un régime torrentiel des cours assure un charriage hyper-concentré. « Le charriage peut alors a contrario se définir comme le mode de transport qui ne nécessite aucune fluctuation turbulente. De fait, un certain nombre d'auteurs ont étudié le charriage en régime laminaire » (In FREY, 2008).



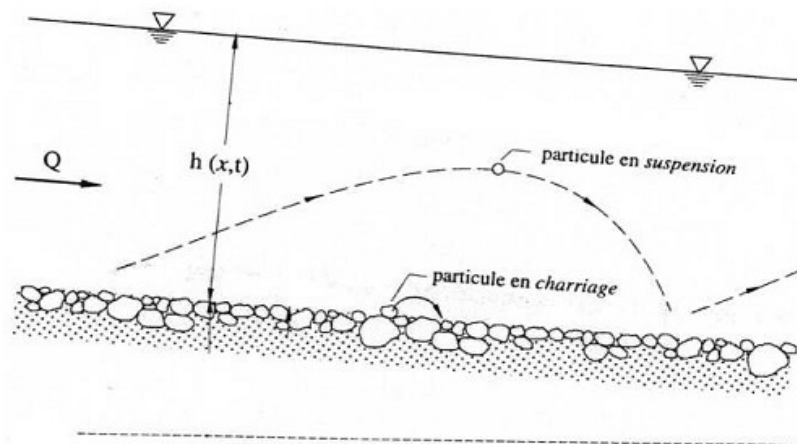
**Fig. II.2** Diagramme de HJULSTROM.  
(BEAUCHAMP J., 2005).

Le diagramme de HJULSTROM est une contribution importante dans le domaine du transport solide (Fig. II.2). Son utilisation permet de déterminer le type et la taille des particules dominantes dans un courant à partir d'une vitesse atteinte et décrire l'effet de ce ruissellement sur les différents types de particules (érosion, transport ou sédimentation). On remarque que :

- La probabilité de sédimentation des particules de taille plus élevée est importante et demande une vitesse d'écoulement plus grande pour être arrachées.
- l'argile nécessite une forte énergie d'arrachement malgré que ses particules soient classées parmi les plus fines. Cette remarque peut être expliquée par la cohésion entre les particules de ce type de sol.

### 3. Modes de transport solide :

Le mode de transport des matériaux solides dépend essentiellement de leurs tailles et le régime du cours d'eau. Selon les caractéristiques de ces deux paramètres on distingue deux modes de transport : le transport solide en suspension et le transport solide par charriage (Fig. II.3).



**Fig. II.3:** les différents modes du transport solide.  
(JODEAU M., 2004).

« Selon, Graf (1971), le rapport entre la vitesse d'écoulement ( $V$ ) sur le lit du cours d'eau et la vitesse ( $W$ ) de chute des particules permet de délimiter les deux modes de transport. Le transport par charriage débute lorsque le ratio est supérieur à 0.1 alors qu'il faut atteindre un ratio supérieur à 0.4 pour qu'il y ait transport en suspension » (TAVARES, 2010).

Pour une vitesse d'écoulement d'une rivière ( $V$ ) où ( $W$ ) est la vitesse de chute des particules :

Si :  $V/W > 0.1 \implies$  Transport solide par charriage.

Si :  $V/W > 0.4 \implies$  Transport solide en suspension.

### 3.1. Transport solide par charriage :

#### 3.1.1. Concepts :

Le charriage désigne la perturbation de la stabilité des particules grossières qui s'installent au fond du cours d'eau grâce à une force hydrostatique (hydrodynamique) exercée par le fluide lorsque la vitesse est importante. Le long du trajet traversé par roulement ou glissement, la particule charriée se trouve toujours en contact avec le sol. Si la particule se déplace par saltation, elle se trouve en suspension temporairement mais elle revient à chaque fois rejoindre le sol. Généralement, le déplacement de la particule charriée est en fonction de sa forme, son poids et son emplacement suite à la morphologie du lit et sa discontinuité (Photo II.1).



Photo II.1 Alluvions charriées par un cours d'eau (Oued Chirra, Algérie), 2013.

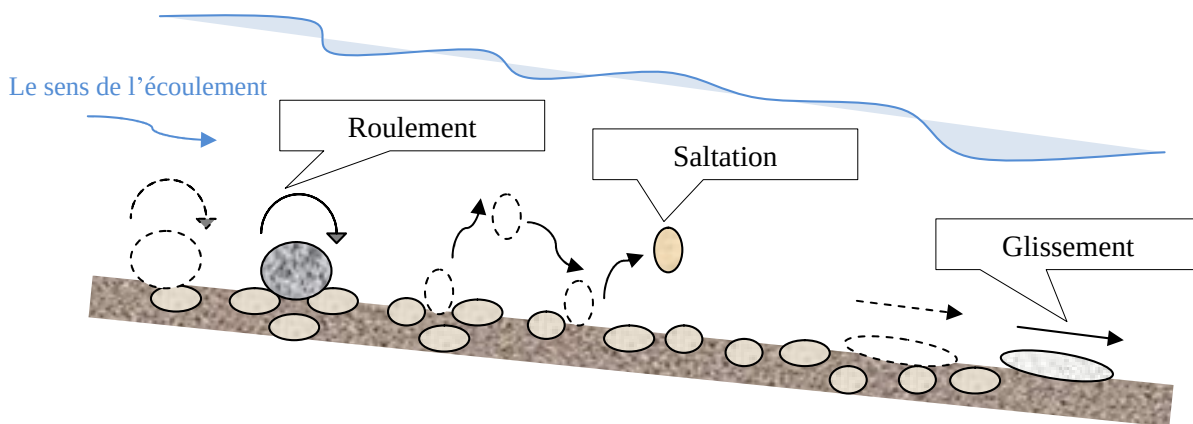
« Le transport solide par charriage, représente la progression de sédiments grossiers (sables, graviers, galets et blocs de roche) (Tableau II.1), de diamètre supérieur à 1 mm, qui se déplacent par roulement ou par glissement, au voisinage immédiat du fond du cours d'eau, et parcourent des distances relativement courtes et discontinues dans le temps et dans l'espace » (TAVARES, 2010).

**Tableau II.1** Différents types des granulats transportés par un cours d'eau.  
(FODE S. A., 2005).

| Nature du granulat | Diamètre du granulat en mm |             |
|--------------------|----------------------------|-------------|
| <b>Bloc</b>        | Très gros                  | 4000-2000   |
|                    | Gros                       | 2000-1000   |
|                    | Moyen                      | 1000-500    |
|                    | Petit                      | 500-250     |
| <b>Moellon</b>     | Gros                       | 250-130     |
|                    | Petit                      | 130-64      |
| <b>Gravier</b>     | Très gros                  | 64-32       |
|                    | Gros                       | 32-16       |
|                    | Moyen                      | 16-08       |
|                    | Fin                        | 08-04       |
|                    | Très fin                   | 04-02       |
| <b>sable</b>       | Très gros                  | 02-01       |
|                    | Gros                       | 01-0.5      |
|                    | Moyen                      | 0.5-0.25    |
|                    | Fin                        | 0.25-0.125  |
| <b>limon</b>       | Gros                       | 0.062-0.031 |
|                    | Moyen                      | 0.031-0.016 |
|                    | Fin                        | 0.016-0.008 |
|                    | Très fin                   | 0.008-0.004 |
| <b>argile</b>      | < 4 10 <sup>-3</sup>       |             |

«

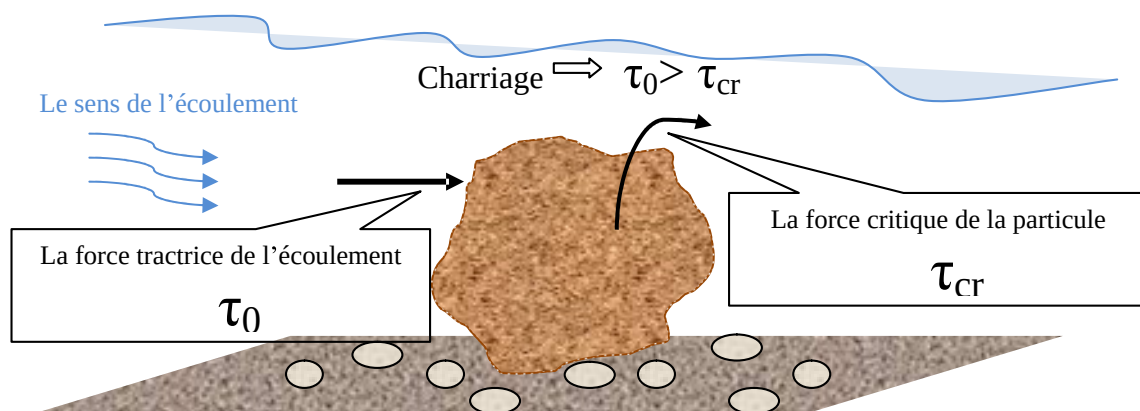
L'effet des forces hydrodynamiques exercées par l'écoulement d'eau se traduit sur les particules par un mouvement de roulement, de glissement, ou de saltation (petits sauts successifs) » (JODEAU, 2004) (Fig. II.4).



**Fig. II.4:** Mouvements des granulats pendant un charriage.

### 3.1.2. Quantification du charriage :

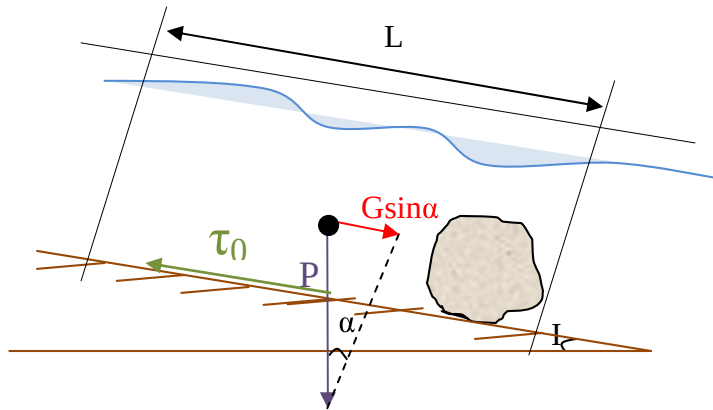
Pour qu'une particule soit charriée, il faut que la force tractrice de l'écoulement soit supérieure à la tension critique de la particule (Fig. II.5).



**Fig. II.5:** Principe du charriage d'une particule.

« La force tractrice ( $\tau_0$ ) a été et reste encore un paramètre de choix dans l'étude du transport de fond. On appelle ainsi la force qui s'exerce sur le fond parallèlement à la ligne de charge de la rivière du fait de la poussée hydrostatique...La force tractrice critique, ( $\tau_{cr}$ ), est celle qui est capable de mettre en mouvement les matériaux de fond. Pour certains auteurs, il s'agit du début de la mise en mouvement, pour d'autres, la force tractrice critique correspond à la mise en mouvement de l'ensemble de la couche du lit... » (ROCHE, 1963).

 Force tractrice ( $\tau_0$ ):



**Fig. II.6:** Forces exercées sur une masse d'eau pendant sa circulation.

Le schéma précédent montre les différentes forces qui s'exercent sur un granulat lors d'un charriage (Fig. II.6). L'eau en mouvement exerce sur un élément de surface du fond une contrainte tangentielle ou une force de frottement  $\tau_0$  :

$$dF = \tau_0 ds \dots \dots \dots \text{eq.II.1 (In DEGOUTTE, 2006).}$$

En utilisant le 1<sup>er</sup> principe de la dynamique :

$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m\vec{\gamma}$ , on considère que l'écoulement d'eau soit en régime permanent uniforme alors :

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{0} . \text{ Ce qui implique: } G \sin \alpha - \tau_0 S = 0.$$

On propose que le courant s'écoule sur un lit à faible pente alors :  $\sin \alpha \approx \tan \alpha = I$  ;

$$\text{avec : } G \sin \alpha = m g \sin \alpha = S_m L \rho g I ;$$

$$\text{et } \tau_0 S = \tau_0 L P_m.$$

$$\text{en fin } \tau_0 = \frac{S_m}{P_m} \rho g I.$$

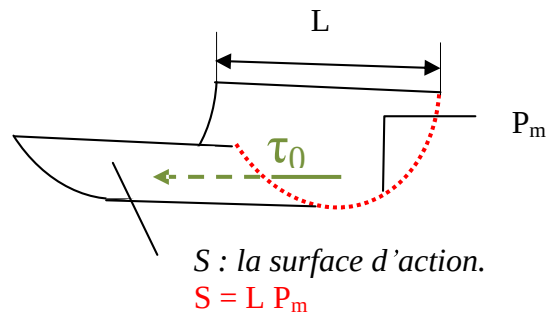
Où :

L : Longueur du canal ou de la rivière [m] ;

S : Surface d'action [m<sup>2</sup>] ;

$S_m$  : Surface mouillée [m<sup>2</sup>];

$P_m$  : Périmètre mouillé [m] ;



**Fig. II.7:** Surface d'action d'une force tractrice.

$\rho$  : Masse volumique du fluide [ $\text{kg/m}^3$ ] ;

$g$  : Accélération de la gravité [ $\text{m/s}^2$ ] ;

$m$  : Masse de l'eau [kg].

On aura la formule de la force tractrice de l'écoulement dans un cours d'eau à faible pente ( $\tau_0$ ), qui est :

$$\tau_0 = R_H \gamma I \dots\dots\dots \text{eq.II.2.}$$

Où :

$\tau_0$  : Force tractrice par unité de surface [ $\text{N/m}^2$ ] ;

$R_H$  : Rayon hydraulique du cours d'eau [m] ;

$\gamma$  : Poids spécifique du fluide (eau) [ $\text{N/m}^3$ ] ;

$I$  : Pente géographique du lit du cours d'eau.

#### Force critique de la particule ( $\tau_{cr}$ ):

D'après Meyer- et Peter la tension critique de la particule peut être détectée calculée par la formule suivante:

$$\tau_{cr} = 0.047 (\gamma_s - \gamma) d_{50} \dots\dots\dots \text{eq.II.3.}$$

Où :

$\tau_{cr}$  : Force critique de l'écoulement [ $\text{N/m}^2$ ] ;

$\gamma$  : Poids volumique du fluide [ $\text{N/m}^3$ ] ;

$\gamma_s$  : Poids volumique des sédiments [ $\text{N/m}^3$ ] ;

$d_{50}$  : Diamètre de l'ouverture du tamis correspond au passage de 50 % des matériaux analysés durant un test granulométrique.

#### Débit de charriage par unité de largeur ( $g_s$ ):

Plusieurs auteurs ont proposé des formules afin de quantifier le transport solide de fond sachant les deux forces tractrice et critique. Parmi eux DUBOYS a développé la relation suivante :

$$g_s = C_s \tau_0 (\tau_0 - \tau_{cr}) \dots\dots\dots \text{eq.II.4 (In ROCHE, 1963).}$$

Où :

$g_s$  : Débit de charriage par unité de largeur de la rivière [T/m.s] ;

$C_s$  : Coefficient dimensionnel qui caractérise l'aptitude des matériaux à se mettre en mouvement [ $m^6/kg^2.s$ ];

$\tau_0$  : Force tractrice de l'écoulement [T/m<sup>2</sup>];

$\tau_{cr}$  : Tension critique de la particule [T/m<sup>2</sup>].

La formule précédente peut être simplifiée sous le format suivant :

$$g_s = k (\tau_0 - \tau_{cr})^{3/2} \dots\dots\dots \text{eq.II.5}$$

Avec : k : une constante.

 Débit de charriage :

Le débit total des matières solides transportées par charriage au fond de la rivière d'une largeur (b) est estimé comme suivant :

$$G_s = b.k (\tau_0 - \tau_{cr})^{3/2} \dots\dots\dots \text{eq.II.6}$$

Où :

$G_s$  : Débit de charriage [T/S] ;

b : Largeur de la section du cours d'eau [m].

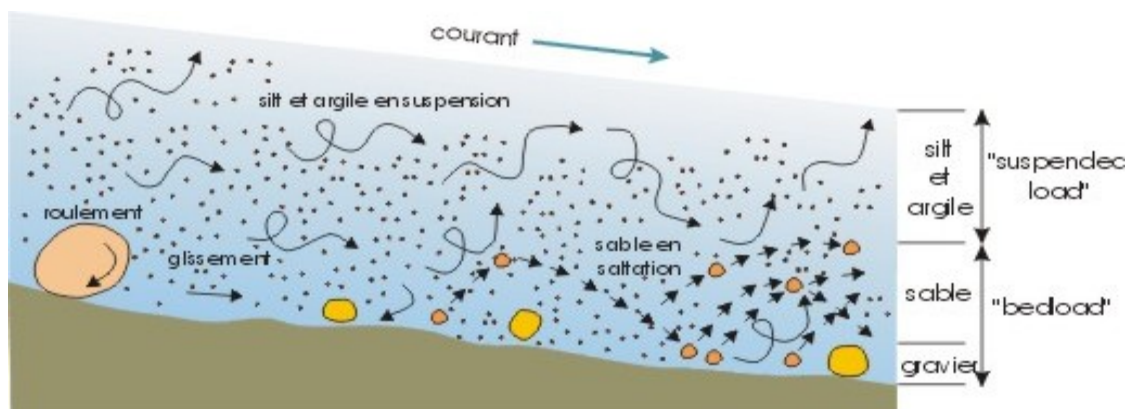
## 3.2. Transport solide en suspension :

### 3.2.1. Généralités :

Plusieurs concepts sur ce mode de transport solide ont été développés. D'après REMINI, « le transport par suspension est le mode de transport solide dans les cours d'eau, qui concerne les éléments fins maintenus en suspension, par turbulence de l'eau, créée par les matériaux du lit. La quantité de matériaux en suspension dépend uniquement des quantités d'éléments très fins, qui proviennent de l'érosion des bassins versants, due au ruissellement des eaux de pluies » (In FODE, 2005).



Couramment les particules fines qui se trouvent en état de suspension sont les argiles, les limons et le sable fin (Fig. II.8). Pendant leur transport, elles occupent les différents niveaux des filets d'eau selon leurs tailles et le mouvement du courant et traversent des grandes distances sans se fixer sur le sol. Le débit solide en suspension est constaté dès qu'il y a un débit liquide mais il peut atteindre les seuils au moment des crues puisque les vitesses sont plus fortes.



**Fig. II.8:** Différents types des particules qui se trouvent en suspension lors d'un écoulement.

### 3.2.2. Quantification du transport solide en suspension :

Deux paramètres sont essentiels afin de quantifier l'apport solide en suspension ; le débit liquide et la concentration des matières solides en suspension. Le débit liquide est déterminé à l'exutoire par des différentes techniques de jaugeage au niveau des stations hydrométriques qui contrôlent le bassin versant. A ce niveau là, des opérations d'échantillonnage sont effectuées parallèlement au jaugeage et les échantillons prélevés sont amenés au laboratoire pour détecter la concentration des éléments en suspensions.

Le débit solide moyen en suspension ( $Q_s$ ) est le produit du débit liquide moyen ( $Q_L$ ) et de la concentration des particules en suspension moyenne ( $C$ ) véhiculées par le cours d'eau durant une échelle du temps précise et commune:

$$Q_s = C \cdot Q_L \quad \text{..... eq.II.7.}$$

Où :

$Q_s$  : Débit solide en suspension moyen [kg/s] ;

$Q_L$  : Débit liquide moyen [ $m^3/s$ ] ;

$C$  : Concentration en particules fines moyenne [g/l].

### 3.3. Débit totale du transport solide ( $Q_{ST}$ ):

Le débit solide total ( $Q_{ST}$ ) donne une estimation de la quantité de matériaux drainée par le cours d'eau (charriées et en suspension) en fonction du temps. Son évaluation se fait par la somme débit solide en suspension ( $Q_{ss}$ ) et du débit de charriage ( $G_s$ ).

$$Q_{ST} = G_s + Q_{ss} \quad \text{..... eq.II.8.}$$

À propos des bassins versants algériens la masse du produit solide charriée représente 15% de la masse transportée en suspension. Alors on parvient à la formule suivante :

$$Q_{ST} = 1.15 Q_{ss} \quad \text{..... eq.II.9.}$$

La notion du taux d'érosion ( $E_s$ ) peut être exprimée en fonction du débit solide total :

$$E_s = Q_{ST} / S \quad \text{..... eq.II.10.}$$

Avec :

$S$  : Surface du bassin versant [ $km^2$ ] ;

La modélisation débit liquide-débit solide est l'une des techniques modernes de l'évaluation de transport solide. Dans le domaine hydrologique d'une façon globale, c'est une méthode qui sert à la prévision du phénomène du transport solide dans un bassin hydrographique. A partir de la courbe du transport solide qui consiste à corréler les débits liquides aux débits solides, une équation empirique sous format de puissance sera déterminée :

$$Q_s = a Q_L^b \quad \text{..... eq.II.9.}$$

#### 4. Conclusion :

Le transport solide est un mécanisme qui accompagne le phénomène d'érosion et assure sa continuation à travers le chenal hydrographique. Le charriage des éléments grossiers au fond de la rivière nécessite un écoulement puissant contrairement au transport des éléments fins qui se trouvent facilement et couramment en suspension. Les dommages seront multipliés à cause des masses sédimentaires importantes déposées dans les zones des stockages sur les rives du cours d'eau. Le dépôt change la morphologie des rivières et augmente le risque des inondations. Ce qui exige des planifications de lutte contre le transport solide sur place.



Photo II.2 Tassage très développé le long des berges d'Oued Chiffa, Algérie, 2013.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

## 1. Introduction :

Nous avons suivi le chemin traversé par la particule issue de l'érosion dans les deux chapitres précédents. Dans ce chapitre la particule rencontre des obstacles naturels ou artificiels où elle sera piégée au lieu de continuer son chemin vers la mer. Dans ces zones de stockage, l'envasement ou la sédimentation sera le prochain stade des masses solides évacuées par les rivières.

L'envasement est l'ennemi primordial des réservoirs naturels. Ce phénomène est le destin inévitable de tous les barrages. Les dépôts occupent l'espace réservé à l'eau. Ils perturbent l'exploitation des barrages par la réduction du volume de la retenue et limitent l'usage et la potabilité des eaux. Le déversoir devient sou-dimensionné et ne maintient pas les inondations et les crues saisonnières. Les conséquences du phénomène ne s'arrêtent pas là, les sédiments augmentent la force hydrostatique qui s'exerce sur la digue ce qui menace la sécurité du barrage et évidemment la sécurité de la population.

Le ministère des ressources en eau a déclaré dans une revue électronique que les dernières estimations de l'envasement en Algérie indiquent un taux d'environ 800 millions m<sup>3</sup>, sous le titre « L'envasement des barrages prive l'Algérie de 800 millions de mètres cubes d'eau » tandis que la réserve en eau dans l'ensemble des barrages algériens représente 4.10 milliards m<sup>3</sup>d'eau (Médaf consulting, 2013).

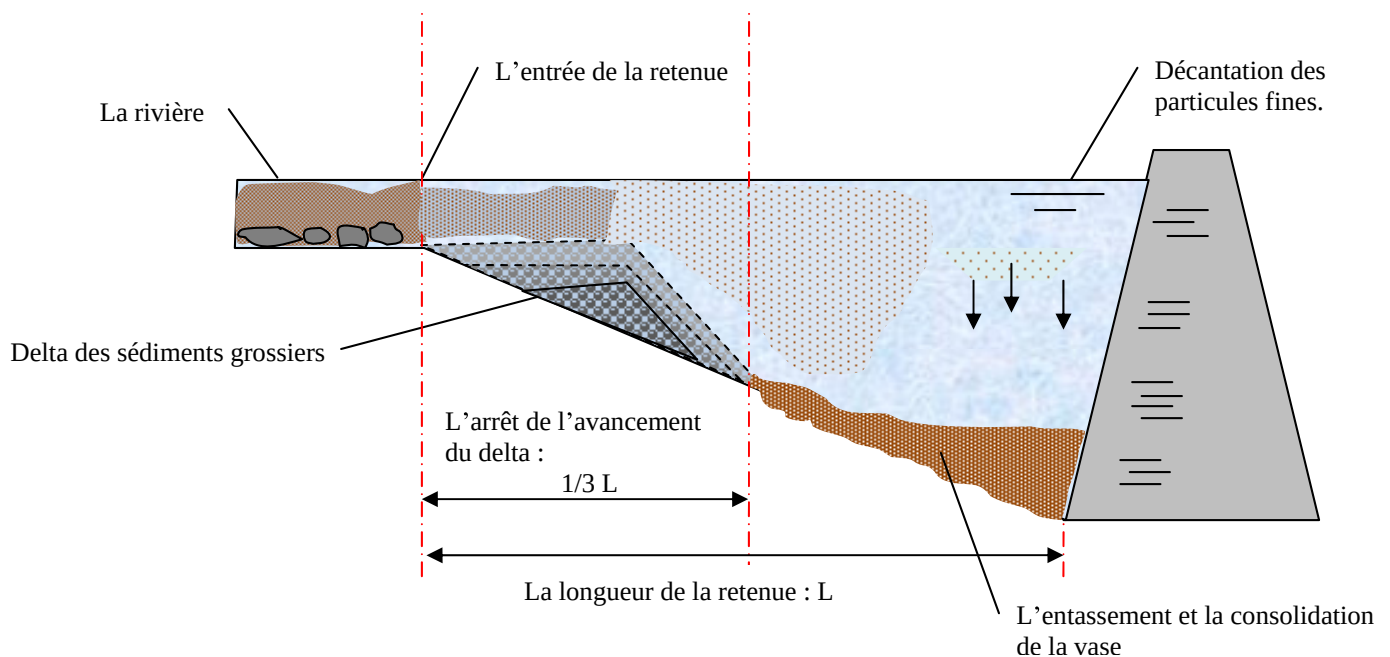
Nos besoins en eau nécessitent des études approfondies afin de maîtriser le phénomène et proposer des solutions adéquates pour faire face à cette menace.

## 2. Mécanismes de l'envasement :

Le passage des apports liquides et solides ramassés en amont de la retenue d'un courant turbulent à une zone d'eau calme stagnante pousse à une séparation partielle entre la phase liquide et la phase solide. La stabilité des eaux de la retenue et l'absence de la turbulence crée un milieu favorable à la décantation et le tassement des éléments solides apportés. En hydrologie, plusieurs études ont été effectuées afin de visualiser le processus de l'envasement. Parmi les mécanismes d'envasement rencontrés dans les barrages algériens : envasement classique et envasement par courant de densité.

### 2.1. Envasement classique :

Un barrage bloque l'écoulement naturel des eaux de rivières. A l'entrée de la retenue, l'eau chargée des sédiments commence à déposer les blocs transportés ou les agrégats lourds formant un delta appelé « le delta des sédiments grossiers », au fur et à mesure, les particules fines subissent une diffusion rapide dans tous les sens en s'approchant de la digue (Photo III.1). La vitesse de la décantation est fonction du poids propre de la particule. C'est pour ça, les sédiments seront distribués selon un classement granulométrique décroissant sur le long du barrage dans le sens de la pente. Les particules fines se précipitent près de la digue (Fig. III.1). Au fil du temps, des couches d'éléments grossiers s'installent et recouvrent le delta provoquant l'avancement de ce dernier. Généralement, l'avancement s'arrête lorsqu'il atteint le 1/3 de la longueur du lit de la retenue. Généralement, l'avancement s'arrête lorsqu'il atteint le 1/3 de la longueur du lit de la retenue (REMINI, 2013).



**Fig. III.1** Processus de l'envasement classique.

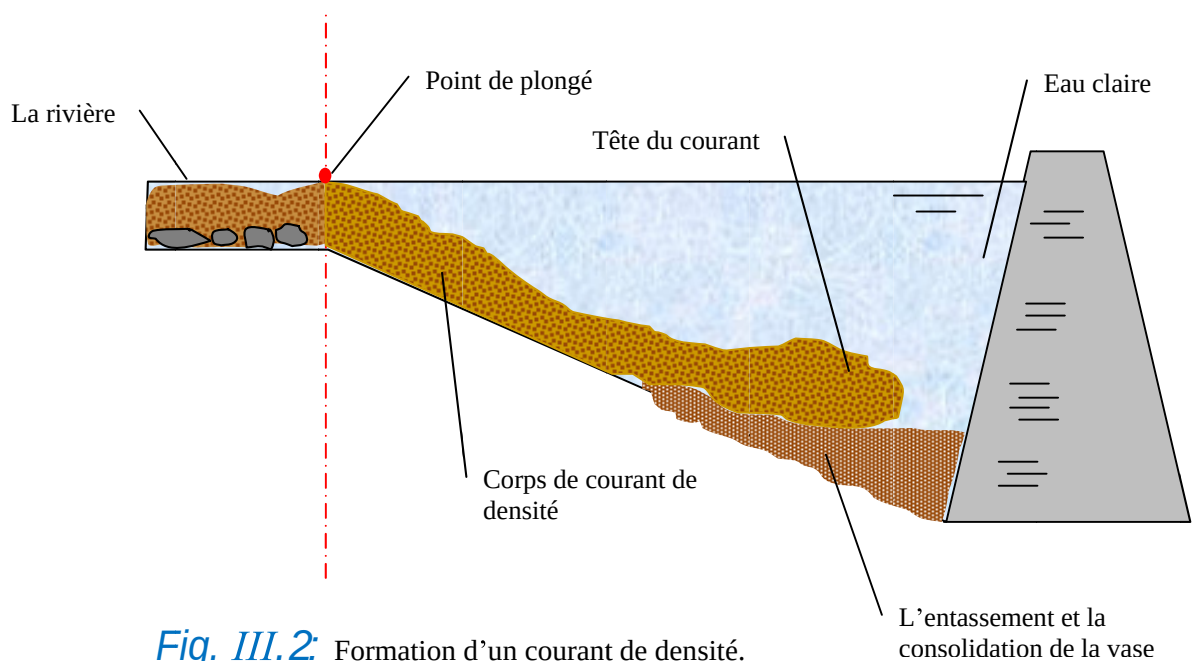




**Photo III.1** Diffusion des particules fines à l'entrée de la retenue.  
(SERBAH B., 2011).

## 2.2. Envasement par courant de densité :

Les crues ramènent au barrage des masses importantes de particules solides en suspension. L'eau chargée des particules fines contribue à la formation des « courants de densité » ou des « courants de turbidité ». L'eau brute plonge vers les profondeurs jusqu'au pied du barrage. Elle s'écoule sur les fonds le long de la retenue sous les eaux claires sans perturber leur stabilité ou leur limpidité. Le courant de turbidité accélère l'envasement naturel d'un réservoir ; il assure l'entraînement des quantités énormes de la boue durant une brève période. A titre indicatif, les crues d'automne ramènent plus de 70% des particules solides de toute l'année (REMINI, 2013).



**Fig. III.2** Formation d'un courant de densité.

Ce courant s'effectue grâce à la différence de densité lors du contact du l'eau claire du barrage avec l'eau de la rivière chargée des sédiments fines issue d'une érosion intense. La vitesse du courant de densité est proportionnelle à la densité des matières solides évacuées par le courant d'eau. D'une façon générale, ce mode d'envasement se manifeste dans des retenues où la cuvette est de type canal.

Les conditions d'apparition du courant de densité d'après DUQUENNOIS se récapitulent en deux paramètres :

- Un apport solide important «concentration élevée» évacué vers la retenue ;
- Un écoulement torrentiel à l'entre de la retenue «Le cours d'eau principal présente une forte pente» (In SERBAH, 2011).

La vitesse de courant est également un facteur qui conditionne la sédimentation. Plus cette vitesse sera faible, plus la sédimentation sera importante (GHERIB, 2003). Elle peut être déterminée en utilisant la formule suivante :

$$V = K (g' H)^{1/2} \dots\dots\dots \text{eq. III.1 (In CHERFAOUI, 2008).}$$

Avec :

$$g' = g (\rho_m - \rho_0) / \rho_0 \dots\dots\dots \text{eq. III.2 (In CHERFAOUI, 2008).}$$

Où :

$g$  : Accélération de la pesanteur;

$g'$  : Pesanteur réduite ;

$\rho_m$  : Densité de la suspension ;

$\rho_0$  : Densité de l'eau claire ;

$H$  : Hauteur des eaux claires ;

$K$  : Coefficient expérimental ( $K = 0.7$  pour faibles viscosités).

« Selon une étude réalisée par MIGNIOT en 1977 sur les particules transportées par les courants de densité dans un canal prismatique, il ressort que ces courants déposent leurs matériaux dès que le nombre de Reynolds de l'écoulement turbide devient inférieur à 2000



( $Re = V.h/\nu_m < 2000$ ) », avec  $\nu$  = viscosité cinématique de la suspension. (REMINI et AVENARD, 2003).

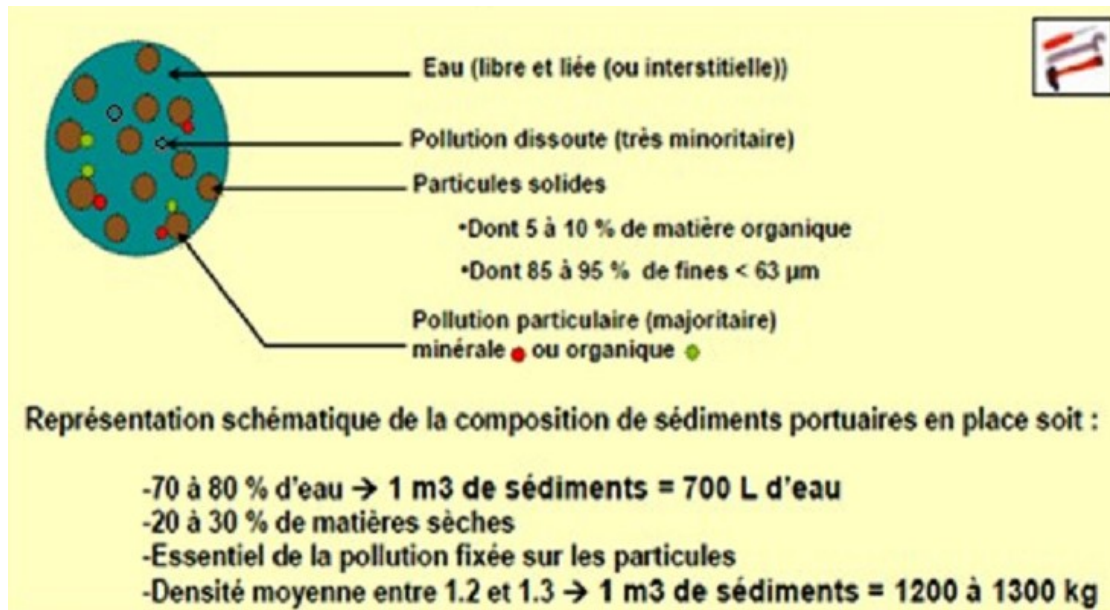
### 3. Caractéristiques de la vase :

#### 3.1. Matériaux composant la vase :

« Le nom de vase (mot emprunté au Néerlandais) est la désignation d'une large famille de sédiments fins, argileux, plus ou moins organiques, pouvant atteindre des teneurs en eau importantes... La vase peut se présenter aussi bien à l'état de suspension (crème de vase) que de sol cohérent (sédiment cohésif). Elle contient souvent l'habitat d'une faune riche et diversifiée (vers, mollusques, bactéries) (Fig. III.3) » (SERBAH, 2011).

« La vase, au sens géologique du terme, est un sédiment meuble, gorgé d'eau, à éléments détritiques très fins (sables, sablons, limons, argiles), à colloïdes en grande partie biologiques (bactéries, diatomées, pollen, humus,...), a hydroxydes et sulfure de fer » (GHERIB, 2003).

La vase au fond de la retenue, présente un caractère plastique, compressible et thixotropique, et est composée souvent de trois phases. La phase liquide, caractérisée par une teneur très élevée, constitue 80% de la structure totale. Une phase solide possède un caractère minéral (blocs, graviers, sables, limons...). Les sables sont surtout de type quartzeux (silice  $SiO_2$ ). Les composés argileux sont classés parmi les particules fines les plus dominantes. On trouve dans la vase des argiles d'origine terrigène et elles peuvent être des squelettes d'organismes d'origine endogène. Une dernière phase organique issue de la décomposition de la faune et de la flore transportées ou produites dans le site.



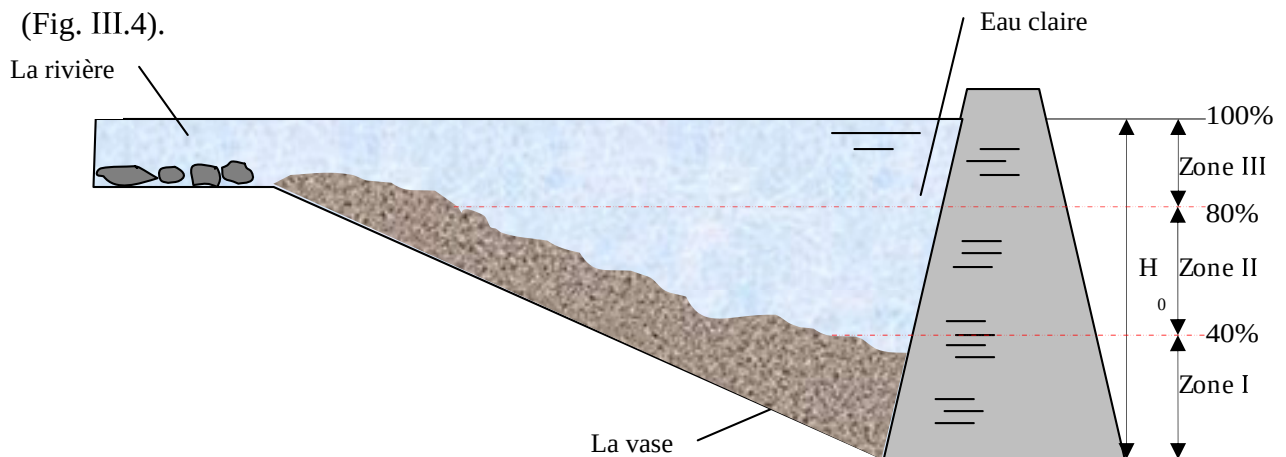
**Fig. III.3:** Schéma de la composition simplifiée des sédiments.  
(SERBAH B., 2011).

« Les vases sont des sols contenant plus de 90% de particules inférieures à 0,2mm, dont la matière organique M.O est comprise entre 2 et 10%. (SERBAH, 2011).

### 3.2. Répartition des apports solide dans la retenue :

De l'amont vers l'aval, les sédiments s'installent sur le fond du barrage selon un classement décroissant. La taille et la vitesse de la chute des particules expliquent cette répartition spatiale.

REMINI a généralisé cette manière de la distribution des dépôts solides sur les barrages algériens. Il a délimité la granulométrie composant le lit sédimentaire en trois zones particulières (Fig. III.4).



**Fig. III.4:** Répartition de la granulométrie au fond du barrage.

- **Zone I :** elle représente 40% de la hauteur normale de la retenue (figure III.4). Elle est caractérisée par une granulométrie très fine composée généralement par 70% de limon et 30% d'argile et des traces du sable fin (REMINI et AVENARD, 2003). Grâce à leur dimensionnement, les grains traversent le trajet correspondant et se décantent près de la digue.

- **Zone II :** une granulométrie pratiquement uniforme de taille moyenne (supérieure à 20 $\mu$ m) caractérise la vase qui se trouve entre 40% et 80% de la hauteur normale. La présence de ce type des granulats est expliquée par le ralentissement du courant de densité suite à l'élargissement de la cuvette au niveau de cette zone. Ce qui donne aux particules du sable fin et le limon grossier un temps suffisant pour se précipiter.

« En étudiant la sédimentation des barrages réservoirs en Algérie, DROUHIN et al (1951) affirment que les sables fins et les silts sont facilement transportés par les courants de densité et se déposent en presque totalité dans les deux tiers supérieurs de la retenue » (In REMINI et AVENARD, 2003).

- **Zone III :** les particules les plus pesantes se déposent immédiatement à l'entrée de la retenue sous forme d'un delta des sédiments grossiers. « Cette zone généralement située à une hauteur supérieure à 80 % de la hauteur normale de la retenue, correspond à la partie occupée par les éléments grossiers (sables, graviers, galets ...) charriés lors des crues. Elle est souvent perturbée et on assiste à des remaniements et mouvements des particules à mettre en relation avec les variations du niveau du plan d'eau (dus généralement aux apports des crues et aux ponctions lors des opérations de vidange). Des courants de densité peuvent également apparaître dans cette zone » (REMINI et AVENARD, 2003).

#### 4. Conséquences de l'envasement :

Sans doute, l'érosion hydrique est principalement le producteur qui assure un transport et une alimentation continus des retenues en matières solides. La localisation du dépôt solide au fond du barrage ne reste pas piégée dans son concept mécanique. L'envasement gêne l'entretien du barrage et peut avoir des conséquences dangereuses diverses et durables :

- **La réduction des la capacité du stockage :** l'entassement puis la consolidation des couches de la vase provoque la déformation de la cuvette durant le temps d'exploitation, en diminuant le volume qui a été créé pour un captage maximal des eaux évacuées. Le volume sera

occupé par les masses vaseuses. Ce déroulement se traduit finalement par la réduction de la durée de vie du barrage.

- **La sécurité de l'ouvrage :** pour une hauteur d'eau ( $H$ ), la force hydrostatique correspondante appliquée sur la digue est de la forme suivante :  $F = \frac{1}{2} g \rho_H H^2$ , avec  $\rho_H$  est la masse volumique de l'eau. si cette hauteur sera occupée par les sédiments, la masse volumique de l'eau sera remplacée par celle des sédiments ( $\rho_s$ ) alors la poussée exercée sur la digue augmente et devient puissante et irrésistible. Ce qui perturbe la stabilité de l'ouvrage.

« Ce cas a été signalé aux barrages des Zardézas, et K'sob. Nous pouvons dire que si le taux de comblement d'une retenue dépasse 50% de la capacité initiale et la vase est en contact de l'ouvrage, dans ce cas, il faut prendre au sérieux la stabilité du barrage. C'est le cas des barrages de Oued El Fodda, et de Foug El Gherza » (REMIMI W. et REMIMI B., 2003).

La sécurité de l'ouvrage peut être touchée par la submersion du déversoir. La cuvette de la retenue devient sous-dimensionnée sous l'effet de la variation de la hauteur de la vase et ne peut pas retenir les eaux des inondations.

- **Envasement des canaux d'irrigation :** « l'irrigation se fait généralement par de l'eau chargée en sédiments, c'est ainsi que ces particules fines vont se déposer dans les canaux réduisant leurs sections mouillées ceci pose le problème de comblement du réseau des canaux d'irrigation se trouvant à l'aval du barrage » (SERBAH, 2011).

- **Obturation des organes de vidange :** l'élévation du niveau de la vase dans une retenue peut dépasser la hauteur où les vannes de vidange sont implantées. La consolidation rapide des sédiments, principalement ceux portés par les courants de turbidité obstrue le fonctionnement des vannes. Les particules solides peuvent colmater complètement les ouvertures qui deviennent inutiles.

« On peut citer le cas du barrage de Oued El Fodda dont la vanne de fond a été bloquée depuis 1948 suite à la consolidation rapide de la vase. Actuellement, elle se trouve sous 40 m de hauteur de vase. La vanne du barrage de Foug El Gherza s'est obturée durant la période 1981-1989 (1997) Celle du barrage des Zardézas a été bloquée durant les années 90 » (REMIMI W. et REMIMI B., 2003).

- **Dégradation de la qualité de l'eau :** le transport des particules solides dans un réseau hydrographique est accompagné toujours par l'évacuation des substances polluantes. L'arrachement des terrains agricoles enrichit les eaux de la retenue en éléments nutritifs (les

phosphates et les nitrates). Leur disponibilité accélère l'eutrophisation des eaux. Ce phénomène définit le processus de l'accroissement anarchique des algues microscopiques toxiques et des plantes aquatiques. Le dépôt des sédiments au fond du barrage, notamment les éléments fins comme le limon et l'argile constitue un milieu adéquat à la prolifération des plantes aquatiques. L'eutrophisation exprime une qualité des eaux très dégradée interdite pour la consommation humaine.

## 5. Lutte contre l'envasement :

L'envasement des retenues de barrages est une conséquence inévitable issue de l'érosion hydrique. Ce phénomène contribue à des répercussions sur l'équilibre et la stabilisation des retenues d'eau, de plus il contribue à l'altération de la qualité de l'eau.

Remédier au phénomène d'envasement, c'est toute une stratégie d'aménagement. Les solutions proposées afin de lutter et préserver nos barrages consistent à limiter l'élément moteur « l'érosion ». Alors les moyens de lutte à adopter doivent regrouper les trois zones principales du trajet traversé par les apports solides :

- **La zone de production** : il faut penser à améliorer la résistance du sol des bassins versants contre la désagrégation.
- **La zone d'évacuation** : les moyens de la lutte à ce niveau là, consistent à réduire la force érosive ou l'énergie cinétique des cours d'eau et arrêter les masses de sédiments transportés avant qu'elles rejoignent les retenues d'eau.
- **La zone de stockage** : dans le site du stockage, on essaye de récupérer le volume réservé à l'eau par les techniques de dévasement. Ainsi, il faut adopter une gestion qui assure une durée de vie de barrage plus longue comme l'évacuation des courants de densité.

### 5.1. Aménagement des bassins versants :

Les techniques antiérosives qui basent sur la végétation des surfaces nues des bassins versants resteront toujours le meilleur moyen d'empêcher l'érosion, à titre d'exemple: le reboisement, la restauration des sols, la confection de banquettes, la plantation des cultures suivant les courbes de niveau et la fixation des berges. Elles permettent de conserver le sol naturellement et de garantir un aménagement durable. La végétation vivante protège la surface du sol de l'impact des gouttes de pluie, et donc du détachement par le splash. Les tiges et les troncs forment des

obstacles qui ralentissent la vitesse du ruissellement, ce qui réduit le détachement par le ruissellement ainsi que sa capacité de transport. Les racines forment un réseau près de la surface qui attache les particules du sol en améliorant sa résistance au détachement. Les feuilles mortes et débris végétaux protègent la surface de l'impact des gouttes et enrichissent le sol en matières organiques qui le rend plus compact.

« Si le bassin versant en question n'est pas très grand, les effets de la conservation des sols se feront sentir très rapidement. D'après certaines expériences réalisées aux ETATS-UNIS, on peut réduire l'érosion des sols de jusqu'à 95 % en employant, exclusivement les méthodes traditionnelles de culture. » (SERBAH, 2011).

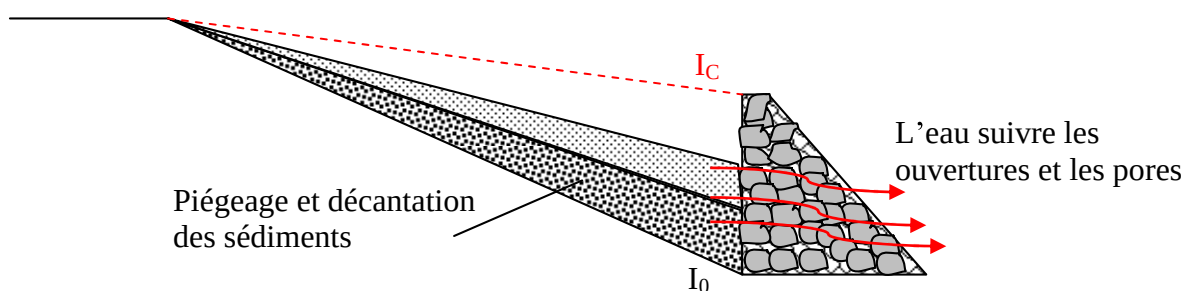
## 5.2. Aménagement des berges de cours d'eau :

Les actions d'aménagement des berges de rivières reposent sur deux principes :

↳ La réduction de la pente naturelle du lit de cours d'eau afin d'affaiblir la vitesse du ruissellement et diminuer la torrentialité du réseau hydrographique.

↳ Le piégeage et la décantation des sédiments érodés avant leur arrivée à la retenue.

La correction torrentielle, parmi ces actions d'aménagement, consiste à construire d'un nombre calculé des seuils disposés sur le long d'un affluent en utilisant des matériaux locaux (des gabions et des pierres) (Photo III.2). Cette technique permet de transformer la pente naturelle ( $I_0$ ) à une pente de compensation ( $I_c$ ) plus raide et de changer la rugosité du fond de la rivière, ce qui joue sur la diminution de la vitesse de l'écoulement (Fig. III.5). « Il s'agit de l'aménagement des bassins versants par la réalisation de la correction torrentielle des thalwegs, et l'aménagement de cours d'eau: en créant des ouvrages de correction dans la gorge du torrent, ouvrages qui arrêteront les matériaux et diminueront la pente, qui sont des aménagements déterminants, réduisant l'érosion à sa source. » (REMINI, AVENARD, KETTAB, 1997). La correction torrentielle peut retenir jusqu'à 60% des sédiments transportés par un affluent d'eau (REMINI, 2012).



**Fig. III.5:** Principe de la correction torrentielle.

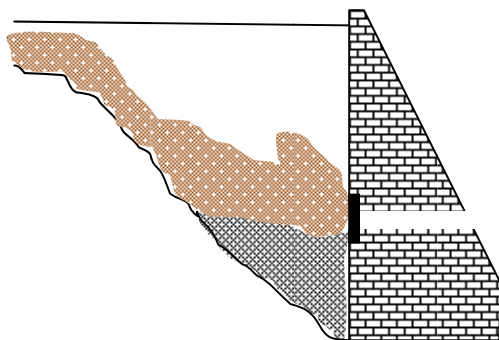


**Photo III.2:** Seuils de sédimentation en Gabions et en pierres sèches réalisés dans le bassin Versant du barrage BAKHADDA.  
(SERBAH B., 2011)

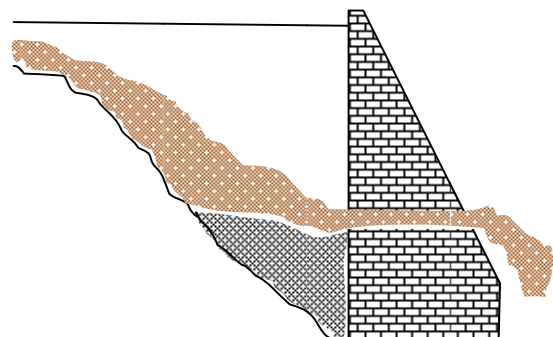
### 5.3. Aménagement au niveau des barrages :

#### 5.3.1. Évacuation des courants de densités :

Le principe de cette technique consiste à évacuer la vase drainée sous forme d'un courant de densité en utilisant les vannes de fond au moment où l'onde du courant de densité surgit, chose qui entraînerait une sédimentation rapide et importante et un éventuel blocage de la vanne de fond (Fig. III.6). Cette action de lutte est la moins couteuse ; elle permet de faire sortir d'énormes quantités de sédiments par une simple action mécanique d'ouverture la vanne (Fig. III.7). Les opérations de soutirage des courants de densité doivent être maîtrisés afin d'arriver à évacuer le maximum de vase avec un minimum d'eau.



**Fig. III.6:** Absence de l'ouverture de la vanne.



**Fig. III.7:** Soutirage du courant de densité par l'ouverture de la vanne de fond.



La technique du soutirage peut être un moyen efficace de lutte contre l'envasement des retenues de barrages en Algérie compte tenu de son faible coût et surtout de la présence des courants de densité dans l'ensemble des retenues. Son rendement peut atteindre 70 % des apports solides totaux entrants dans la retenue, c'est à dire que la durée de vie de l'ouvrage sera augmentée d'un tiers. Le barrage d'Ighil Emda est parmi les premiers au monde à avoir été équipé d'un dispositif installé spécialement pour le soutirage des sédiments. La durée de vie de ce barrage est ainsi multipliée par trois (SERBAH, 2011).

« La mauvaise utilisation de cette technique de soutirage a entraîné l'obturation des vannes des barrages d'Oued El Fodda (1948) et Foug El Gherza (1982), 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. » (SEMCHA, 2006).

### 5.3.2. Technique de chasse :

C'est l'évacuation d'une manière périodique la vase déposée au fond du barrage par les vannes de fond. Elle a pour but de sécuriser la vanne et de dévaser l'ouvrage. Cette technique de dévasement est caractérisée par un rendement probablement modeste estimée par 26% du volume total de la vase. L'action du dévasement ne comprend que le volume de vase qui entoure les vannes de fond (Fig. III.8).

« Elle est appliquée souvent au barrage de Beni Amrane. Ce dernier d'une capacité de 15,6 106 m<sup>3</sup> a été doté de six vannes de fond. Environ 2,2 millions m<sup>3</sup> de vase ont été évacués durant la période 1988-1993. » (REMINI, 2010).



**Fig. III.8:** Technique de chasse permet de dévaser que les zones près de la vanne.



### 5.3.3. Surélévation de la digue :

La surélever de la digue permet d'augmenter la capacité de stockage du barrage. « Cette méthode consiste, lorsque le taux de comblement est avancé, à augmenter la hauteur de la digue d'une taille variable, permettant la constitution d'une réserve complémentaire pour compenser la perte du volume occupé par la vase. » (REMINI, 2010).

Cette solution semble être adéquate pour les grands barrages car le dévasement dans ce cas, en utilisant la technique de dragage par exemple, exige des frais supplémentaires et la quantité de la vase enlevée durant une année est la même quantité annuelle captée par la retenue. « En Algérie, neuf barrages ont été surélevés. Toutes les opérations de surélévation en Algérie ont permis de récupérer jusqu'en 2007 une capacité de 100 millions de m<sup>3</sup> » (SERBAH, 2011). La technique a été adoptée en Algérie dans quatre barrage : Bakhada, K'sob, Zardézas et Boughezoul. Mais l'inconvénient qui se présente après la surélévation de ces quatre barrages, est l'augmentation du taux d'envasement rapidement. « La surélévation des barrages permet d'augmenter la capacité de la retenue et donc de compenser la valeur envasée. La nouvelle situation ainsi créée ne peut qu'influencer l'évolution des dépôts des sédiments dans la retenue. » (REMINI, 2010). Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.1 Vitesses de sédimentation moyennes des barrages surélevés, 1997.  
(REMINI B., 2010)

| Barrages  | Vitesse de sédimentation<br>(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> / an) |                    |
|-----------|-------------------------------------------------------------------|--------------------|
|           | Avant surélévation                                                | Après surélévation |
| ZARDEZAS  | 0,30                                                              | 0,70               |
| K'SOB     | 0,25                                                              | 0,29               |
| BOUGHZOUL | 0,34                                                              | 0,50               |
| BAKHADA   | 0,05                                                              | 0,15               |

#### 5.3.4. Technique de dragage :

Cette technique s'effectue par le dragage de la vase en dehors du barrage. Le dragage peut également être défini de façon générale comme l'ensemble des actions caractérisées par un prélèvement de matière par excavation sous l'eau. Les sédiments sont aspirés par la drague et refoulés à travers une canalisation 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 (Photo III.3). Les opérations de dragage sont nécessaires dans les cas suivants :

- la récupération de la capacité de stockage ;
- Extraire les sédiments immergés tel que sable, gravier, argile, les métaux précieux et les agents fertilisants ;
- La navigation gênée ou rendue impossible par l'envasement : Entretenir et approfondir les voies navigables ;
- nettoyer des fonds pollués ;
- Améliorer ou maintenir la capacité de débit des cours d'eau en augmentant les profondeurs naturelles. (SERBAH, 2011).



**Photo III.3 :** Drague stationnaire «DJEBEL DERAGHE» à barrage hakhad à 2009/2010.  
(SERBAH B., 2011).

REMINI a précisé : « Malgré le coût onéreux de l'opération de dragage qui revient environ à celui de la réalisation d'un nouveau barrage, la technique de dragage devient indispensable pour les barrages dont la stabilité est en danger ou bien dans le cas où les sites pour la réalisation de nouveaux ouvrages deviennent rares. » (REMINI, 2010).

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 m<sup>3</sup> de vase ont été dragués. Ce dragage a été réalisé avec une drague suceuse refouleuse flottante (SEMCHA, 2006).

Ce moyen du dévasement ne représente pas une solution adéquate dans le cas des barrages algériens. L'utilisation de cette technique s'avère être coûteuse et n'est pas économique pour les grands barrages. Son impact environnemental n'est pas rassurant à cause des volumes considérables de matières solides stockés en aval (Photo III.4). Ainsi l'entretien et la valorisation de ces vases du dragage ne sont pas métrisés pour le moment.

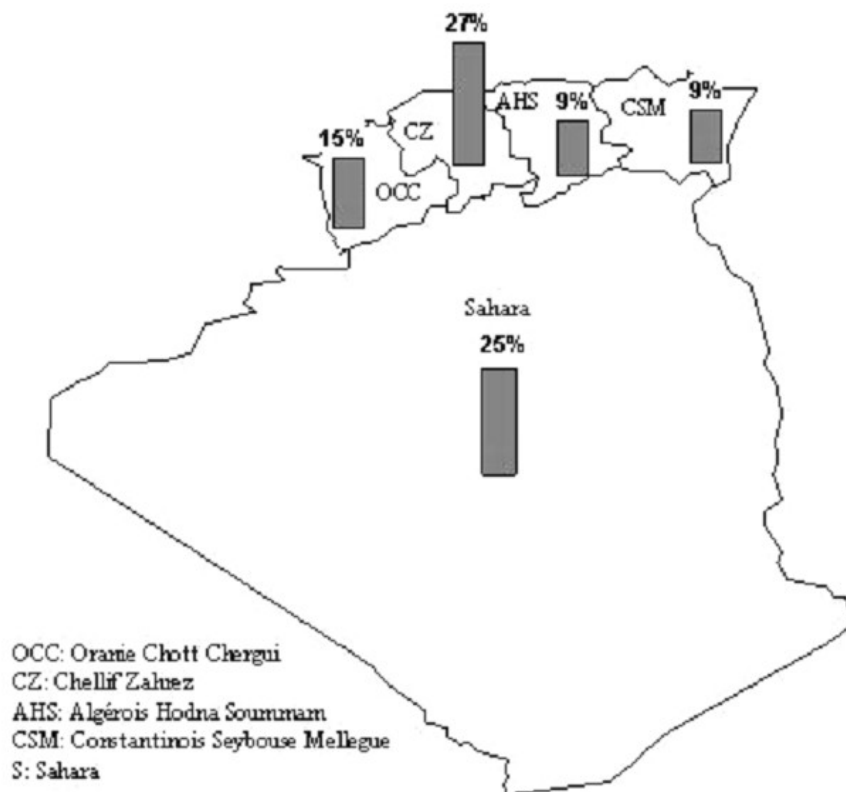


*Photo III.4:* Zone de stockage des sédiments. Rejet en cours par drague suceuse (Barrage de Fergoug). (SEMCHA A., 2006).

## 6. Envasement des barrages en Algérie :

Le phénomène d'envasement contribue à des pertes démesurées au niveau des barrages algériens, une perte estimée par 0,7 % de la capacité totale de la réserve d'eau chaque année. Certains barrages ne contiennent pratiquement que de la vase, à l'exemple du Fergoug qui est envasé à 80 %. Durant le temps, le taux d'envasement a subi une évolution croissante. Les années 80 ont connu des taux d'envasement avoisinant les 20 millions de tonnes annuels, alors que les années 90 ont atteint déjà les 35 millions de tonnes annuels, les années 2000 vont grimper à la valeur de 45 millions de tonnes annuels. Une dernière estimation de l'année 2013 qui a été déclarée par le directeur général de l'agence nationale des ressources hydriques, Rachid Taïbi, décrit un taux d'envasement de 800 millions de mètres cubes rapportés à une capacité de 7 milliards de mètres cubes de réserve d'eau (Médaf consulting, 2013) (SERBAH, 2011).

Les barrages qui appartiennent au grand bassin versant Chellif-Zahrez, sont les plus affectés par l'envasement avec un taux annuel de 0,75% (fig. III.9) car cette région est caractérisée par un sol sensible à l'érosion et une végétation presque absente (REMINI, 2010).



**Fig. III.9:** Répartition du taux de comblement annuel des grands barrages dans les bassins hydrographique.  
(REMINI B., 2010)

Malgré l'insuffisance des études sur ce phénomène beaucoup d'efforts ont été déployés par les services du ministère des Ressources en eau dans la lutte contre l'envasement. Plusieurs actions de lutte sont programmées, axées surtout sur un travail en amont des barrages grâce à des travaux forestiers de boisement.

« Vingt-sept bassins versants sont concernés par les opérations de reboisement pour protéger les barrages face à l'érosion. Comme le bassin versant des Issers (barrage de Beni Amrane) qui fait 3700 km<sup>2</sup> ou celui de Béni Haroun, 7200 km<sup>2</sup>. Il y a également, ajoute-t-il, la nature du sol pour déterminer les espèces d'arbres à planter. Pour 2010, il est prévu de consacrer un budget de 18 milliards de DA à ces opérations. » (SERBAH, 2011).

Parmi les actions d'aménagement visant la lutte contre l'érosion « le programme d'emploi rural 1 (PER1) ». La direction générale des forêts (DGF) a réalisé ce programme qui a été mis en œuvre de 1997 à 2001 dans le cadre d'un crédit de la Banque Mondiale. Le PER 1 a lancé des travaux d'aménagement à travers le reboisement, la fixation des berges, les plantations fruitières et les corrections torrentielles. Des résultats proviennent des observations effectuées dans 13 stations d'observation où 528 observations ont été traitées sur une période de deux ans, ont permis d'estimer le taux d'abrasion et de constater que les corrections torrentielles ont atténué le taux d'abrasion de 89% et les plantations fruitières de 84% (ANBT, 2004).

## **7. Conclusion :**

Les différents mécanismes de l'envasement dépendent du type de retenue (morphologie) et les conditions de sédimentation existant à l'amont de la retenue (érosion et transport solide). Les apports solides évacués par le cours d'eau ont une grande influence sur la nature et la répartition granulométrique de la retenue. La stratification de la vase au fond de la retenue provoque la réduction de la durée de vie du barrage, la dégradation de la qualité des eaux suite à la prolifération des algues toxiques, l'obturation des organes de vidange et la perturbation de la sécurité de l'ouvrage. Une prévision durable des ressources hydriques contre l'envasement ne se réalise qu'à partir d'un aménagement global qui regroupe les trois zones simultanément (les plans versants, les berges des cours d'eau, et la retenue). Le reboisement des bassins versants, la surélévation des digues, l'utilisation du barrage à onde de chasse et des opérations de dragage, sont des procédés de lutte expérimentés sur les barrages algériens afin de récupérer une partie du volume de stockage perdu par l'envasement.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

## 1. Introduction :

L'eutrophisation est un vieillissement naturel du milieu aquatique qui se traduit par une prolifération végétale due à une forte disponibilité en nutriments. Les pratiques exercées par l'homme sur l'environnement notamment sur le bassin versant perturbent l'écosystème aquatique et entraînent un vieillissement accéléré. Ces dernières années, la plupart des barrages et des cours d'eau algériens sont affectés par l'eutrophisation du fait d'une fragilité naturelle du milieu aquatique à laquelle s'ajoutent des facteurs aggravants, notamment agricoles, mais aussi urbains et industriels (photos IV.1 et IV.2 ci-dessous).

Le processus d'eutrophisation, les symptômes, les effets d'apparition du phénomène, les sources d'émission du phosphore dans le réseau hydrographique, les conséquences d'un excès de phosphore dans l'écosystème et les moyens de lutte contre la pollution par les matières phosphorées peuvent être mises en place, seront exposés et traités dans ce chapitre.



Photo IV.1 dégradation de la qualité des eaux de barrage SMBA, Relizane, 2013.

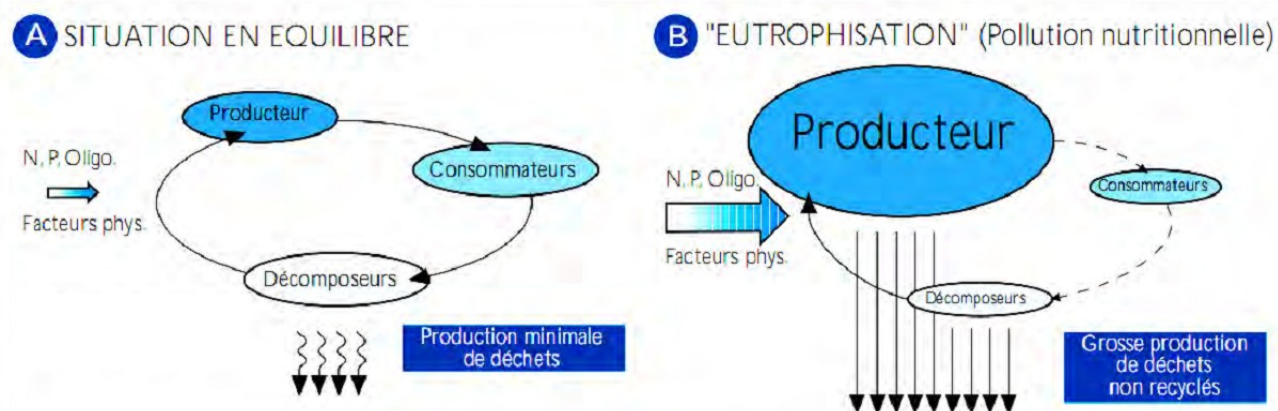
Photo IV.2 Oued Mazafran en plein état hypereutrophe. Tipaza, Algérie, 2012.





## 1. Définitions et généralités :

« L'eutrophisation est un processus évolutif, soit naturel, soit provoqué qui, par rupture d'équilibre entre production primaire d'une part et consommation et destruction d'autre part (Fig. IV.1), rend un lac de plus en plus riche en éléments nutritifs (azote et phosphore essentiellement), donc en matière organique, en organismes vivants se nourrissant de cette matière organique, et s'eutrophise. Ce phénomène se manifeste par une prolifération d'algues en surface qui lorsqu'elles meurent consomment l'oxygène dissous plus vite qu'il n'est régénéré» (DELORME, 1992).



**Fig. IV.1** Représentation schématique du phénomène d'eutrophisation.  
(BAVARD J., 2010)

Nous pouvons proposer une autre définition où l'eutrophisation est considérée comme un enrichissement de l'eau en éléments nutritifs, notamment des composés de l'azote et/ou du phosphore, provoquant un développement accéléré des algues et des végétaux d'espèces supérieures qui entraîne une perturbation indésirable de l'équilibre des organismes présents dans l'eau et une dégradation de la qualité de l'eau en question. (BAVARD, 2010).

Les termes « eutrophe » et « oligotrophe » viennent du grec, sont utilisés en 1907 par Weber pour décrire la fertilité du sol dans les tourbières du nord de l'Allemagne. Ce ne fut que plus tard que THIENEMANN (1918) et NEUMANN (1919) les appliquèrent aux lacs pour exprimer un lac « bien nourris » et un autre « peu nourris ». Un troisième terme « mésotrophe » a été utilisé fréquemment pour décrire un état trophique entre oligotrophe et eutrophe. (UHLMANN et al., 1994, DELORME, 1992).



Le contrôle de ce phénomène sert à juger le degré de trophie d'un milieu aquatique selon son degré de productivité biologique, et le classer dans l'un des niveaux trophiques. L'échelle trophique comporte les niveaux trophiques suivants: **ultra-oligotrophe**, **oligotrophe**, **mésotrophe**, **eutrophe** et **hyper-eutrophe**. L'évolution d'un lac sur l'échelle des niveaux trophiques ne se fait pas brusquement. Le passage de l'état très oligotrophe à l'état très eutrophe est graduel.

## 2. Processus d'eutrophisation :

Un barrage ou un plan d'eau eutrophisé passe par quatre étapes (BENSAFIA, 1999, BAVARD, 2010):

a. La première est le transport des nutriments (azote, phosphore, carbone, oligo-éléments...) d'origines diverses et l'approvisionnement de la retenue par des quantités importantes de ces éléments supérieures à la normale.

b. La disponibilité des éléments nutritifs induit la prolifération anarchique et rapide des végétaux aquatiques (algues, macrophytes et bactéries ...) (photo IV.3). A partir du moment où les végétaux sont implantés, on assiste à un fonctionnement cyclique:

✓ Pendant la journée : production d'oxygène par tous les organismes capables de faire la photosynthèse conduisant à une sursaturation des eaux en oxygène et à une augmentation du pH.

✓ Pendant la nuit : la respiration des organismes et la décomposition des matières produites (algues mortes) par les bactéries consomment l'oxygène produit la journée provoquant l'épuisement du stock d'oxygène.

c. L'appauvrissement biologique du milieu suite au déficit en oxygène dissous et la mort de la plupart des organismes aérobies.

d. L'apparition de fermentation dans les couches profondes et dégagement des gaz et des odeurs nauséabondes à cause de l'absence d'oxygène.



**Photo IV.3:** Production végétale intense. Oued Mazafran Tipaza, 2012.

### 3. Facteurs favorisant l'eutrophisation :

« l'eutrophisation est définie comme une amplification d'un phénomène naturel, à croissance végétale, qui se manifeste lorsque plusieurs conditions sont réunies : un éclaircissement important qui fournit l'énergie pour la photosynthèse, une température élevée qui influe sur la vitesse de croissance des végétaux, un écoulement lent de l'eau qui donne aux algues plus de temps pour absorber les matières nutritives, la transparence de l'eau permet la transmission de la lumière, la présence de nutriments (azote et phosphore) mais aussi le carbone, silice et les oligo-éléments. » (BENSAFIA, 1999)

Un autre paramètre peut jouer un rôle très important dans l'évolution de l'état trophique des retenues d'eau d'une façon spécifique, c'est l'érosion hydrique et le transfert du phosphore par le réseau hydrographique. L'intensité des pluies, la nature et la structure du sol (sensibilité au compactage, à la battance), le travail du sol (présence de mottes à la surface, semelle de labour) la couverture du sol, la nature, la dose, la date d'épandage, type d'irrigation et le mode d'application des fertilisants phosphatés sont autant de facteurs qui jouent un grand rôle sur les transferts de phosphore du fait de leur importance dans la formation du ruissellement. Les flux de phosphore se répartissent en (LEMERCIER, 2003):

- Un flux de ruissellement et érosion fortement dépendant des pratiques agricoles (ruissellement diffus) et des teneurs en phosphore du sol (lors des conditions pluviométriques exceptionnelles);
- Un flux de drainage et lessivage dépendant de la saturation du sol en phosphore, peu dépendant à court terme des pratiques agricoles.

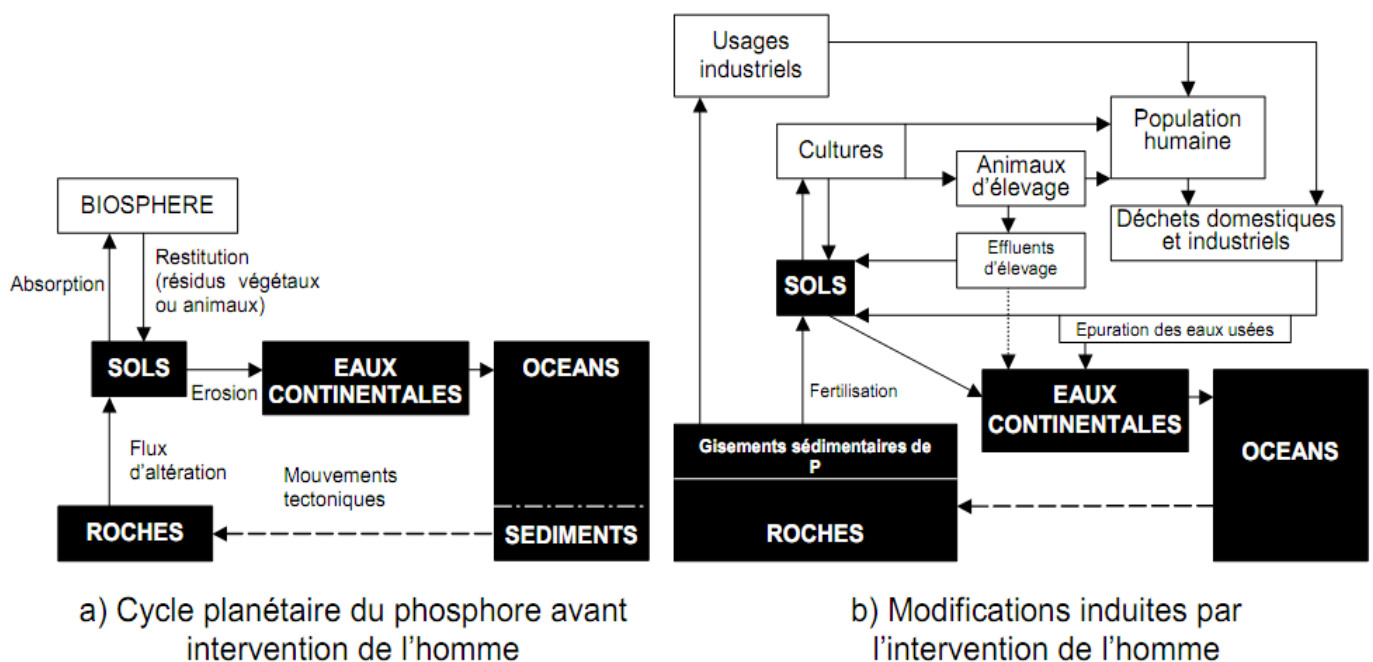
« Les départs de phosphore d'origine agricole s'effectuent donc lors des épisodes pluvieux, lorsque les eaux de ruissellement amènent des particules de sol et des déjections chargées au cours d'eau, c'est-à-dire surtout au début du ruissellement. L'agitation provoquée par l'accélération de l'eau et les remous suffit à dissoudre une grande partie du phosphore dans l'eau. L'augmentation brutale de phosphore dissous transporté au cours des crues provient de cette agitation » (LEMERCIER, 2003).

### 4. Origines de l'eutrophisation :

Le vieillissement des retenues d'eau est un processus naturel qui se développe naturellement sur une échelle de temps relativement longue. Mais son évolution peut être accélérée par les

activités humaines, provenant du ruissèlement urbain, des fertilisants et les pesticides, des rejets industriels, de l'érosion et la sédimentation.

Généralement, les sources d'eutrophisation dans un milieu aquatique attribuent à un excès en phosphore dans les eaux. « Le phosphore est l'un des composants essentiels de la matière vivantes... il représente 0.71% dans la cellule végétale, 0.63% dans la cellule animale (homme) et 2 à 3% de la masse bactérienne » (BENSAFIA, 1999). Il est présent à l'état naturel dans l'écosystème, mais l'activité humaine a considérablement accru la quantité de phosphore libéré dans l'environnement (fig. IV.2).



**Fig. IV.2** Cycle du phosphore avec ou sans perturbation anthropique (d'après Pellerin S).  
(LEMERCIER B., 2003)

Naturellement, le phosphore se trouve sur terre dans cinq sources primaires : les roches, les sols, la biosphère, les eaux continentales et océaniques (plus les sédiments) (LEMERCIER, 2003). Le phosphore du sol, en l'absence d'apport anthropique, provient de l'altération des roches et notamment de la dissolution de l'apatite (phosphate de calcium) comme l'hydroxyapatite ( $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), la fluoroapatite ( $\text{CaF}_2 \cdot 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) et les orthophosphates de fer et l'aluminium ( $\text{Fe PO}_4$ ,  $\text{AlPO}_4$ ) (BENSAFIA, 1999).

Le tableau suivant (Tableau. IV.1) classe les différentes sources du phosphore selon leur origine et leur mode de transmission.

**Tableau. IV.1** Inventaire des principales origines ponctuelles et diffuses du phosphore.  
(LEMERCIER B., 2003)

| Type d'activité et origine             | Phosphore provenant de                                                                                                                                                     |                                                                                    |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                                        | Sources ponctuelles                                                                                                                                                        | Sources diffuses                                                                   |
|                                        | Il est transmis indépendamment des périodes de ruissellement, au rythme des activités humaines. Il est généralement émis par un tuyau à l'exception des sources agricoles. | Il passe par, dans ou sur le sol et il est transféré lors des périodes pluvieuses. |
| <b>Villes et villages (domestique)</b> | -Assainissement collectif.<br>-Assainissement individuel.                                                                                                                  | -Ruissellement urbain.<br>-Dépôts d'ordures.<br>-Marécages drainés ou remblayés.   |
| <b>Industrie</b>                       | -Rejet direct                                                                                                                                                              | -Ruissellement urbain                                                              |
| <b>Agriculture</b>                     | -Stockage dans les bâtiments (fumier, lisier, ensilage)<br>-Nettoyage des locaux<br>-Rejets directs des élevages                                                           | -Stockage « au champ »<br>-Sols cultivés et prairies                               |
| <b>Zones « naturelles »</b>            |                                                                                                                                                                            | -Bruit de fond géochimique                                                         |

Nous distinguons trois origines anthropiques du phosphore (BENSAFIA, 1999) (LEMERCIER, 2003):

#### 4.1. Sources agricoles :

Le phosphore agricole provient essentiellement :

- d'un élevage intensif accompagné par les différentes déjections animales sans être dimensionnées ni évacuées;
- d'une sur fertilisation phosphorée due à une utilisation excessive des engrais minéraux à titre d'exemple le superphosphate ( $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$ ) et des pesticides commerciaux;
- et d'autres pratiques culturales comme les produits utilisés dans le nettoyage (notamment des salles de traite).

Les apports massifs de déjections animales sont à l'origine d'un enrichissement des sols en phosphore. « D'après Giovanni (2002), 70 à 75% des besoins des cultures en phosphore peuvent être théoriquement couverts par les seuls effluents de bovins. » (LEMERCIER, 2003).

Le caractère diffus des rejets agricoles de phosphore ne permet pas d'envisager des solutions de traitement simples. De ce fait, il apparaît nécessaire de mieux connaître ce phosphore d'origine agricole pour pouvoir le maîtriser.

#### **4.2. Sources urbaines et industrielles:**

Les eaux résiduaires urbaines, les usines de fabrication de détergents, d'engrais, agroalimentaire et des abattoirs assurent la transmission des quantités énormes du phosphore dans l'écosystème aquatique. En France, 30% au moins de l'apport domestique en phosphore vient uniquement de lessivage. Le phosphore dans les lessives se trouve sous la forme de tripolyphosphates (TPP).

Selon Dorioz et al. (1997), la production de phosphore est de 4 g de P /jour.habitant. Cette quantité de phosphore dépasse les besoins strictes de la cellule bactérienne qui assure une épuration naturelle ou une autoépuration des eaux usées. Ce qui nécessite des traitements supplémentaires pour éliminer le phosphore.

#### **5. Symptômes d'eutrophisation :**

Plusieurs indices peuvent exprimer un lac affecté par l'eutrophisation. La différence entre le stade oligotrophe et le stade eutrophe peut expliquer ses symptômes. Les milieux oligotrophes sont caractérisés par une faible teneur en nutriments, une grande diversité des communautés biologiques (végétales et animales), une productivité primaire faible, une biomasse peu importante et des eaux de bonne qualité convenant à la plupart des usages. Par contre les eaux eutrophes présentent une productivité et biomasse élevée, pullulation fréquentes d'algues, eaux de la couche profonde pauvres en oxygène, croissance et eaux dont la qualité est insuffisante pour la plupart d'utilisations (UHLMANN et al., 1994).

Le tableau IV.2 suivant résume les caractéristiques des plans d'eau oligotrophe et eutrophe :

**Tableau. IV.2:** Caractéristiques générales des réservoirs oligotrophes et eutrophes.  
(UHLMANN et al., 1994)

| paramètres                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Type de plan d'eau                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Oligotrophe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Eutrophe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <p>I. <u>Biologiques :</u></p> <p>Production de plantes et animaux aquatiques.</p> <p>Biomasse totale du plan d'eau.</p> <p>Fleurs d'eau.</p> <p>Abondance des algues vertes et des cyanophycées.</p> <p>Distribution verticale des algues.</p> <p>Plantes aquatiques dans la zone littorale peu profonde.</p> <p>Algues caractéristiques.</p> <p>Poissons caractéristiques.</p> | <p>Faible</p> <p>Faible</p> <p>Rares</p> <p>Faible</p> <p>Jusqu'à l'hypolimnion (eaux profondes dans les plans d'eau à stratification thermique).</p> <p>Clairsemées ou abondantes ; végétation généralement de type submergée et émergente.</p> <p>Algues vertes :<br/>Desmidiace<br/>Staurostrum</p> <p>Diatomées :<br/>Tabellaria<br/>Cyclotella<br/>Algues brunes<br/>Dinobryon</p> <p>Poissons d'eaux profondes et froides (saumon, truite, corégone)</p> | <p>Elevée</p> <p>Importante</p> <p>Fréquente</p> <p>Importante</p> <p>Généralement limitée aux eaux de surface.</p> <p>Souvent abondante ; en général, développement des algues filamenteuses et diminution des macrophytes.</p> <p>Cyanophycées :<br/>Anabaena<br/>Aphanizomenon<br/>Microcystis<br/>Oscillatoria</p> <p>Diatomées :<br/>Melosira<br/>Fragilaria<br/>Stephanodiscus<br/>Asterionella</p> <p>Poissons de surface et d'eaux tièdes (brochet, perches)</p> |
| <p>II. <u>Chimiques :</u></p> <p>Qualité d'oxygène dissous dans les eaux profondes (hypolimnion).</p> <p>Minéralisation totale (conductivité).</p>                                                                                                                                                                                                                               | <p>Elevée toute l'année</p> <p>Généralement faible</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>Basse et parfois nulle pendant les périodes de stratification thermique.</p> <p>Parfois très élevée</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <p>III. <u>Physiques :</u></p> <p>Profondeur moyenne du plan d'eau.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p>Souvent profond</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>Souvent peu profond</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

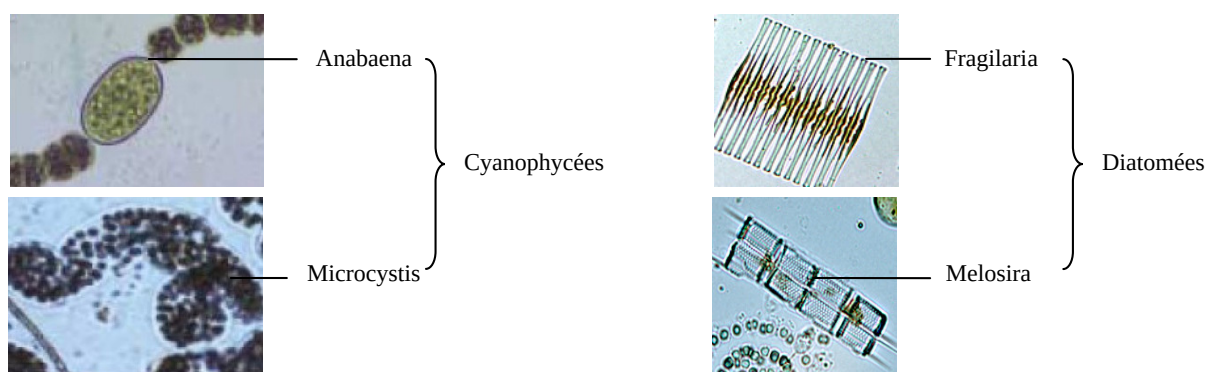
|                                                                         |                    |                                                |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------|
| Volume de l'hypolimnion.                                                | Souvent important  | Variable                                       |
| Température de l'hypolimnion.                                           | Généralement froid | Peu d'eaux froides sauf dans les lacs profonds |
| IV. <u>Usages de l'eau</u> :                                            |                    |                                                |
| Qualité de l'eau pour les principaux usages domestiques et industriels. | Bonne              | souvent mauvaise                               |
| Limitation des possibilités d'utilisation de l'eau.                     | Peu de limitation  | souvent, utilisation restreinte                |

## 6. Effets de l'eutrophisation :

Le phénomène de l'eutrophisation perturbe l'écosystème aquatique par ses effets environnementaux directs et autres indirectes (BENSAFIA, 1999):

### 6.1. Effets directs :

La production biologique répond rapidement aux modifications des concentrations en éléments nutritifs. Les effets directs se traduisent par très intense notamment une grande abondance des algues macroscopiques (phytoplancton) et microscopiques de différentes catégories correspondants à des stades différents d'évolution du phénomène (Fig. IV.3): chrysophycées, xanthophycées, chlorophycées, diatomées et cyanophycées... (DELORME, 1992). Les cyanobactéries sont aussi appelées cyanophycées ou algues bleu-vert. Elles sont de taille microscopique. Elles présentent à la fois des caractéristiques de bactéries (comme l'absence de membrane intracellulaire) et d'algues (comme leurs activités photosynthétiques grâce à la chlorophylle a) (BAVARD, 2010).



**Fig. IV.3:** Différentes catégories d'algues.

(Laboratoire de Développement et d'Analyses de Côtes d'Armor, 2009)

Les proliférations formées, alors généralement visibles, sont des fleurs d'eau (blooms). Les fleurs d'eau peuvent ressembler notamment à une soupe au brocoli ou à une purée de pois (Photo IV.4). Les fleurs d'eau sont rarement rougeâtres mais souvent vertes ou turquoise. Au toucher, l'aspect est quelquefois visqueux (Blais, 2002). De plus, les diatomées sont très importantes dans le processus d'eutrophisation car elles produisent beaucoup d'oxygène la journée et la décomposition des individus morts par les bactéries est responsable de la forte consommation d'oxygène la nuit (BAVARD, 2010).



**Photo IV.4:** Blooms ou les fleurs d'eau, 2012.

## 6.2. Effets indirects :

Les effets indirects de l'eutrophisation suite au développement algal se traduisent par (BAVARD, 2010):

✓ L'appauvrissement en l'oxygène dissous : La diminution des concentrations en oxygène dissous au fond d'un lac est liée à la consommation de ce gaz dissous par les algues et les bactéries aérobiques qui décomposent la matière organique s'accumulant à cet endroit et une



forte décomposition de la matière organique, provenant d'une biomasse élevée d'algues et de plantes.

✓ La réduction de la transparence d'eau et le changement de sa couleur : Lorsqu'il y a une augmentation des populations d'algues, il y a une diminution de la clarté de l'eau. Généralement, le développement du phytoplancton change la couleur qui devient verte. En mesurant la transparence d'un lac de coloration verte, on aura une idée de la densité du phytoplancton. Les lacs eutrophes sont caractérisés par une faible transparence de leur eau.

✓ La variation du pH du milieu aquatique : Le CO<sub>2</sub> produit par les algues ou par un système d'injection de CO<sub>2</sub> pendant la nuit acidifie également l'eau et diminue son pH. Pendant la journée, lors de la photosynthèse, les végétaux captent des protons nécessaires à leur métabolisme rendant le milieu plus basique. Enfin, dans des conditions basiques, l'ammonium réagit avec les ions hydroxyle pour former de l'ammoniac. Ce dernier est également très toxique pour les populations piscicoles.

## 7. Impacts de l'eutrophisation :

### 7.1. Impacts sur la santé humaine :

La présence d'algues, particulièrement les cyanobactéries, dans l'eau des retenues peut provoquer la transmission des toxines dans l'eau de consommation et des difficultés de traitement. Les toxines peuvent persister deux à trois semaines après la mort des algues productrices et elles sont fortement thermorésistantes (LEMERCIER, 2003). Les trois catégories de toxines sont les endotoxines du type lipopolysaccharide (LPS), les hépatotoxines et les neurotoxines (Blais, 2002):

- Les LPS causent des effets irritants et allergènes et sont probablement responsables de symptômes gastro-intestinaux.
- Les hépatotoxines présentent une toxicité sur le foie.
- Les neurotoxines perturbent la transmission de l'influx nerveux. Les LPS seraient présents chez toutes les espèces de cyanobactéries.

La pratique d'activités récréatives comme la baignade dans des eaux affectées par des cyanobactéries ou l'ingestion d'eau potable contaminée par des toxines et incorrectement traitée causerait notamment des douleurs abdominales, des diarrhées, des vomissements, des gastro-entérites, des hépato-entérites, symptômes grippaux, pneumonies atypiques et possiblement des cancers du foie. En 1988, au Brésil, 2 000 cas de gastro-entérites ont été enregistrés chez des

consommateurs d'eau potable : 88 en sont morts (Blais, 2002). Egalement au Brésil, en 1996, 38 patients dialysés sont décédés d'une hépatite sévère à la suite de traitements à l'hémodialyse. Les responsables ont signalé que l'eau utilisée pendant l'hémodialyse contamine des toxines produites par les algues bleu-vert (BMJ, 1996).

### **7.2. Impacts sur l'écologie aquatique :**

L'eutrophisation entraîne une baisse de la diversité biologique, quand les conditions physico-chimiques du milieu sont modifiées (DELORME, 1992) (LEMERCIER, 2003):

- L'auto-ombrage consécutif de la turbidité de l'eau limite la photosynthèse et s'accompagne d'une évolution des espèces algales. Les plus exigeantes en matière d'éclairement cédant la place aux moins exigeantes appartenant à la classe des cyanobactéries;
- La faune piscicole sera perturbée suite aux :
  - variations des conditions physico-chimiques et la modification de ses habitats ;
  - Une grande biomasse peut obstruer les branchies de poissons;
  - Les microcystis aëruginosus tuaient immédiatement les poissons car elles présentent une toxicité élevée ;

Certaines espèces comme les salmonidés disparaîtront et seront remplacés par des poissons blancs. Les salmonidés sont des espèces très fragiles et sont particulièrement sensibles, notamment à la baisse de l'oxygène dissous.

### **7.3. Impacts économiques :**

L'affectation de la qualité de l'eau et du milieu aquatique a des conséquences économiques diverses (LEMERCIER, 2003):

- le surcoût du traitement de l'eau est important ;
- la limitation des activités récréatives a des effets sur le tourisme et l'économie locale;
- Les activités économiques qui dépendent de la qualité du milieu aquatique (pêche, pisciculture, Conchyliculture...) sont largement affectées par l'eutrophisation qui diminue les rendements et augmente les charges d'entretien du matériel.

## **8. Evaluation de l'état trophique :**

L'évaluation de l'état trophique d'un milieu aquatique consiste à déterminer son potentiel trophique et la qualité d'eau correspondante. Au fil du temps, plusieurs essais ont été effectués afin

de classifier les niveaux trophiques en fonction de seuils attribués à différents paramètres de qualité de l'eau. En 1982, le programme coopératif international de surveillance des eaux douces a fixé des valeurs limites pour la teneur totale en phosphore, en chlorophylle a et pour les mesures de transparence au disque de Secchi (UHLMANN et al., 1994).

**Tableau. IV.3:** Valeurs des seuils du système fixe de classification de l'état trophique.  
(UHLMANN et al., 1994)

| Degré de trophie  | P total | Chl moyenne | Chl maximum | Secchi moyenne | Secchi minimum |
|-------------------|---------|-------------|-------------|----------------|----------------|
| Ultra-oligotrophe | <4.0    | <1.0        | <2.5        | >12.0          | >6.0           |
| Oligotrophe       | <10.0   | <2.5        | <8.0        | >6.0           | >3.0           |
| Mésotrophe        | 10-35   | 2.5-8       | 8-25        | 6-3            | 3-1.5          |
| Eutrophe          | 35-100  | 8-25        | 25-75       | 3-1.5          | 1.5-0.7        |
| hypereutrophe     | >100    | >25         | >75         | <1.5           | <0.7           |

Avec :

P total: concentration moyenne annuelle en phosphore total [ $\mu\text{g/l}$ ];

Chl moyenne: concentration annuelle moyenne en chlorophylle (a) dans les eaux de surface [ $\mu\text{g/l}$ ];

Chl maximum: concentration annuelle maximale en chlorophylle (a) dans les eaux de surface [ $\mu\text{g/l}$ ];

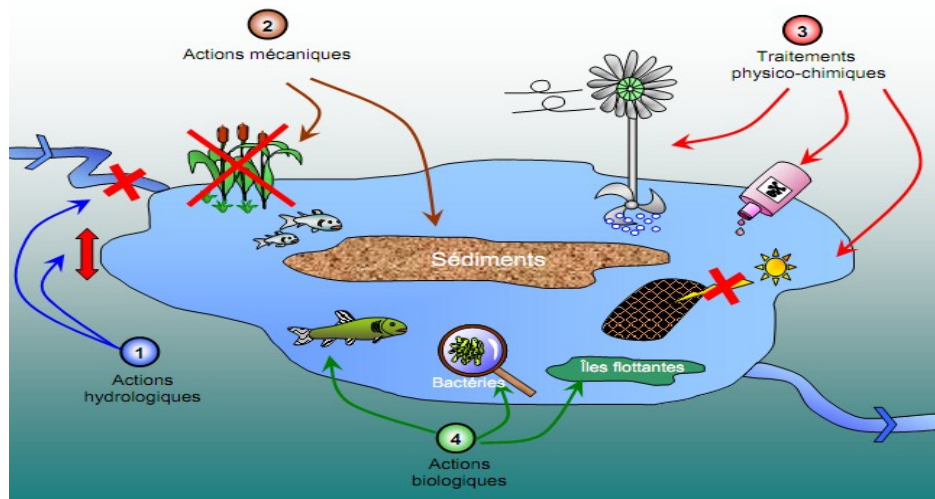
Secchi moyenne: profondeur moyenne annuelle de la transparence au disque de Secchi [m];

Secchi minimum: profondeur minimale annuelle de la transparence au disque de Secchi [m].

Cette méthode des valeurs fixées présente des inconvénients. La classification d'un lac dans un niveau trophique doit donc être interprétée comme une probabilité que le lac se trouve à ce niveau, mais pas comme une certitude absolue car les changements observés dans les paramètres n'est pas uniforme c'est-à-dire qu'un plan d'eau peut être classé dans un état trophique sur la base d'un paramètre, mais dans un autre sur la base d'un second paramètre. Cette possibilité devient forte lorsque les trois paramètres mesurés indiquent le même potentiel trophique (UHLMANN et al., 1994).

## 8. Lutte contre l'eutrophisation :

Le schéma ci-dessous représente les différents groupes d'action qui peuvent être adoptés afin de remédier au phénomène d'eutrophisation. Le schéma est accompagné par un tableau qui résume les avantages et les inconvénients des différentes techniques de lutte.



**Fig. IV.4:** Différents groupes d'actions curatives pouvant être mises en place pour lutter contre l'eutrophisation. (DEVIDAL S., 2007)

| Actions de lutte                                                                                                                       | Avantages                                                                                                                                                                                                                                   | Inconvénients                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>I. <u>Actions hydrologiques :</u></p> <p>a) Traitement des eaux riches en nutriments avant leur rejet dans le milieu aquatique.</p> | <p>-Ce type de traitement permet de retenir une grande partie du phosphore;</p> <p>- Il entraîne peu de contraintes sur le milieu lacustre, puisque le traitement des eaux chargées s'effectue avant le déversement dans le plan d'eau.</p> | <p>-Ce procédé est valable uniquement pour une pollution ponctuelle et non diffuse ;</p> <p>- Le traitement doit être efficace tout au long de l'année, ce qui peut poser problème durant les périodes de crues où la quantité d'eau à traiter est supérieure à la capacité des bassins de rétention ;</p> <p>- Cette méthode de traitement entraîne une rétention importante de sédiments qu'il faut</p> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>b) Déviation des eaux usées chargées pour réduire la contamination de la retenue.</p> <p>c) Elévation du niveau d'eau afin d'augmenter la hauteur du lac et de réduire la quantité de lumière disponible pour les plantes.</p>                                               | <p>-L'apport en nutriments dans le lac est atténué immédiatement après la mise en place de cette action sur l'écoulement.</p> <p>-Cette méthode permet le contrôle de la croissance de certaines plantes aquatiques (macrophytes).</p>                                                                                                      | <p>régulièrement enlever et traiter.</p> <p>-C'est une action provisoire. Il est indispensable que les eaux chargées soient acheminées vers un système ou une station de traitement des eaux;</p> <p>- Si les eaux ne sont pas traitées, le problème de pollution est seulement déplacé ;</p> <p>dans le temps ou dans l'espace.</p> <p>-La limitation des macrophytes pourrait favoriser la prolifération d'algues microphytes;</p> <p>- Les variations de niveau d'eau ont un impact important sur l'érosion des berges.</p> |
| <p>II. <u>Actions mécaniques :</u></p> <p>a) Dragage des sédiments déposés au fond de la retenue.</p> <p>b) Faucardage et récolte manuelle des macrophytes ; l'arrachage à la main, le ramassage à l'aide de râpeaux, ou encore la coupe à l'aide de cisailles spécifiques.</p> | <p>-Réduit la quantité d'éléments nutritifs contenus dans les sédiments, favorables au développement des végétaux;</p> <p>- Empêche le comblement du lac;</p> <p>- Ralentit la dynamique d'eutrophisation du lac.</p> <p>- Facile à mettre en place;</p> <p>- Équipement peu coûteux;</p> <p>- Très peu de contrainte sur l'écosystème;</p> | <p>-Coût d'opération élevé;</p> <p>- Remise en suspension des sédiments;</p> <p>- Effets potentiels du dragage sur les organismes vivants;</p> <p>- Problèmes du traitement et de l'élimination des sédiments extraits.</p> <p>- Problème de recolonisation souvent rapide car difficile d'arracher et ramasser tous les fragments de végétaux indésirables;</p>                                                                                                                                                               |

|                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>c) Coupe mécanique des macrophytes en utilisant des engins spécialisés à cet effet</p>                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sélectif dans la récolte des plantes.</li> <li>- Permet le traitement de surfaces plus importantes que les méthodes manuelles.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Non applicable aux grandes surfaces;</li> <li>- Technique très lente;</li> <li>- Peu d'effet sur les végétaux possédant un système racinaire important.</li> <li>- Problème de recolonisation souvent rapide car il est difficile d'arracher et ramasser tous les fragments de végétaux indésirables;</li> <li>- Impact plus important sur l'écosystème que les techniques manuelles;</li> <li>- Engins pas toujours très maniables.</li> </ul>                                                                                                               |
| <p>III. <u>Traitements physico-chimiques :</u></p> <p>a) Déstratification : c'est une technique destinée à aérer les plans d'eau de faible profondeur, par le brassage de l'ensemble des masses d'eau.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de pollution visuelle;</li> <li>- Technique dite « non polluante »;</li> <li>- Recrée de conditions favorables à la vie piscicole en eau profonde;</li> <li>- Permet une amélioration de la transparence de l'eau, une augmentation de la teneur en oxygène dissous, une réduction des concentrations en ammoniacale, fer, manganèse et également en matières organiques;</li> <li>- Faibles coûts de maintenance.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas applicable pour des lacs de profondeur importante;</li> <li>- Dans certaines situations on peut avoir une augmentation de la charge interne du phosphore disponible, effet contraire à celui attendu;</li> <li>- Perturbe néanmoins l'équilibre de l'écosystème puisque on a une déstratification totale des masses d'eau, qui se traduit par une homogénéisation des teneurs en oxygène et des températures sur l'ensemble de la colonne d'eau. Ces conditions entraînent la disparition d'espèces spécifiques aux eaux froides et pauvres en</li> </ul> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p>oxygène dissous;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- la possibilité de libérer de l'azote gazeux, qui peut provoquer la mort des poissons.</li> <li>- Il est possible que l'aération de l'hypolimnion provoque une diffusion des nutriments vers le métalimnion entraînant l'apparition de cyanobactéries.</li> </ul>                                                                      |
| <p>b) Aération hypolimniquessans perturber la thermocline.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>-Réoxygénation de l'hypolimnion sans déstratification de la colonne d'eau. Il n'y a pas de mélange des eaux profondes et froides avec les eaux superficielles plus chaudes.</p> <p>- Accroissement possible de l'habitat et de la nourriture pour les poissons d'eau froide.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les appareils ne sont pas toujours bien dimensionnés, entraînant parfois une déstratification des eaux et un effet contraire sur la croissance algale.</li> </ul>                                                                                                                                                                                             |
| <p>c) L'inactivation du phosphore par coagulation/floculation: Certains agents chimiques introduits dans le plan d'eau sont capables de diminuer la concentration en phosphore soluble, en le précipitant par adsorption sur les sédiments. La précipitation du phosphore peut être obtenue par l'épandage de produits chimiques tels que les sels d'aluminium, de fer ou de calcium. La chaux (sous forme de chaux vive ou d'hydroxyde de calcium) et le chlorure ferrique sont des coagulants, ils se lient aux particules dissoutes et celles en suspension, formant des amas qui se déposent au fond du</p> | <p>-Cette méthode permet de rendre non disponible une partie du phosphore;</p> <p>- Ces produits permettent non seulement le piégeage et le dépôt dans les sédiments d'une partie du phosphore mais aussi d'une partie de la flore envahissante.</p>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Risques très importants d'intoxication des organismes vivants et impacts sur l'environnement encore mal connu pour certains composés;</li> <li>- Procédé qui produit une quantité importante de boues;</li> <li>- Mesure temporaire qui piège le phosphore mais ne l'élimine pas de la phase sédimentaire;</li> <li>- Coûts qui peuvent être élevés</li> </ul> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| plan d'eau.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p>selon la surface à traiter;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empêche, pendant un certains temps, les activités telles que la pêche, la baignade, les sports nautiques sur le lac.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <p>IV. <u>Action biologique:</u></p> <p>a) Introduction de carpes<br/>consommatrice d'algues : Certains poissons comme la carpe chinoise peuvent contrôler les macrophytes. Cette espèce exclusivement carnivore dans les premières semaines, devient exclusivement herbivore dès que le poisson a atteint la longueur de 25-30 mm.</p> <p>b) Ajout de bactéries : Les bactéries requièrent un milieu oxygéné pour survivre et se reproduire en se nourrissant de matière organique et d'algues présentes dans le lac. Avant d'introduire des bactéries dans le plan d'eau il est indispensable d'installer un aérateur.</p> <p>c) Iles flottantes : un massif végétal artificiel flotte à la surface de l'eau. Ces îles sont construites à base d'une matrice de polymère plastique recouverte de terre végétale dans laquelle des plantes aquatiques ou semi-aquatiques sont plantées. Les racines de ces plantes constituent alors un rideau permettant la filtration de l'eau et des éléments dissous.</p> | <p>L'ensemble des techniques de lutte de type biologique représente les avantages suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Aucune intervention mécanique;</li> <li>- Peu de nuisance pour les riverains;</li> <li>- Aucune évacuation et stockage des boues ou sédiments;</li> <li>- Faibles coûts.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-cette carpe, majoritairement herbivore, n'entre pas en compétition alimentaire avec les autres espèces ;</li> <li>-il est difficile d'avoir une action sélective sur les plantes envahissantes avec cette méthode car les carpes ne consomment pas forcément en priorité les végétaux qui posent problèmes.</li> <li>-Peu entraîner une hausse de température des eaux;</li> <li>- Ajout d'espèces étrangères qui peuvent nuire aux espèces autochtones.</li> <li>-Les premières utilisations ont été notées récemment sur de petits lacs privées au Canada et aux États-Unis, mais aucune étude scientifique n'a encore été effectuée pour tester l'efficacité de la technique.</li> </ul> |

Tableau. IV. 4: Différents groupes de techniques utilisées dans la lutte curative de l'eutrophisation.  
(DEVIDAL S., 2007)



## **9. Conclusion :**

L'eutrophisation est l'une des formes de pollution des eaux de surface. Les rejets directs des eaux usées issues des activités industrielles, urbaines et les différentes pratiques agricoles enrichissent le réseau hydrographique en matières nutritives, en réduisant l'échelle d'apparition du phénomène. La résolution du problème se base sur le facteur limitant qui est le phosphore. Cependant, l'amélioration des rendements des méthodes de déphosphatation, l'équipement de stations de plus en plus nombreuses en procédés de déphosphatation et l'utilisation de détergents de moins en moins phosphatés contribuent à diminuer la part du phosphore urbain et industriel au profit du phosphore d'origine agricole. 20 à 30% de l'azote et du phosphore des eaux usées peut être éliminé dans les STEP par les bactéries des boues activées, sans traitement spécifique (LEMERCIER, 2003). Il existe plusieurs solutions et techniques qui peuvent être utilisées afin de récupérer et améliorer la qualité des eaux de barrages affectée par l'eutrophisation.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

## 1. Présentation de la région :

### 1.1. Caractéristiques du bassin versant :

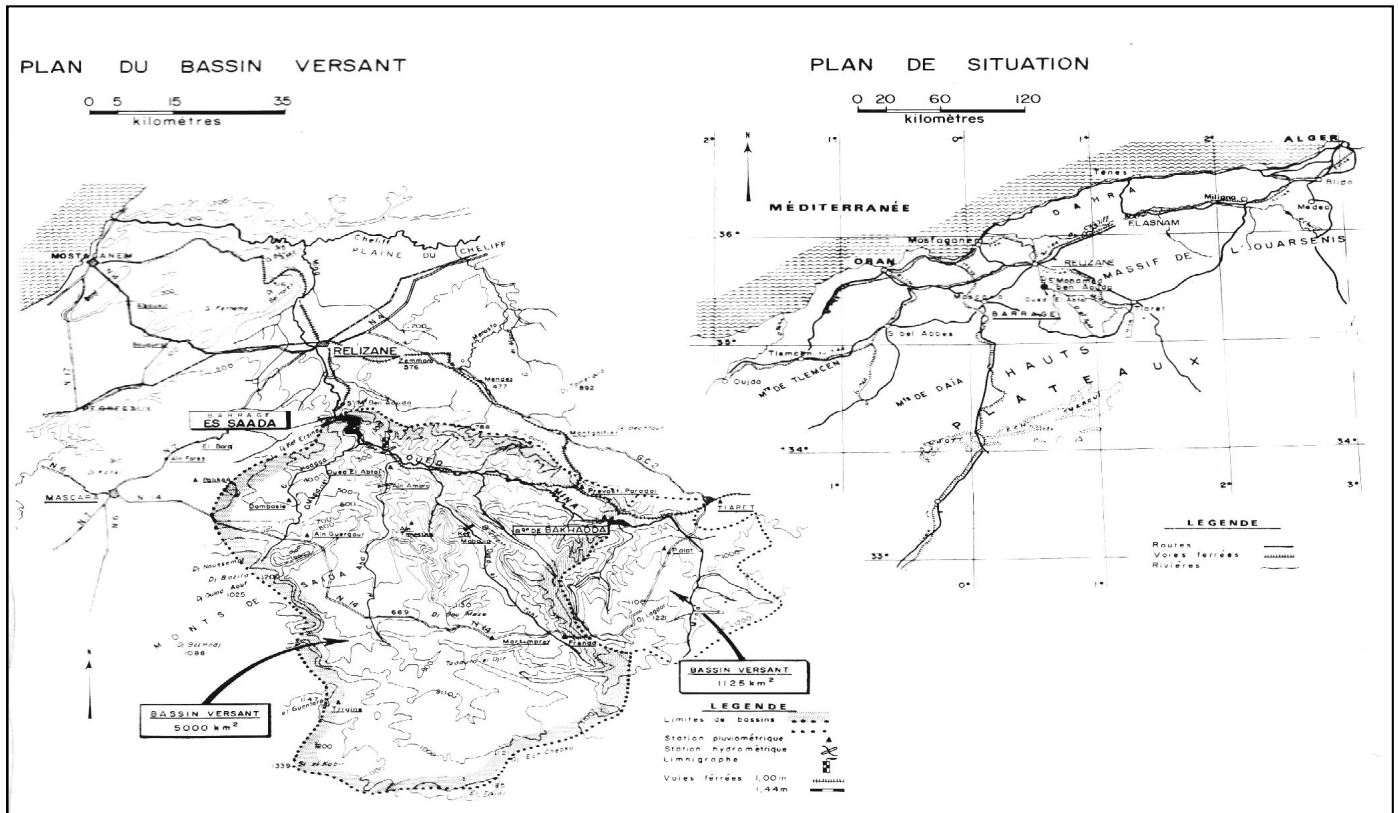
#### 1.1.1. Situation géographique :

Le bassin versant de l'Oued Mina est situé à environ 300 km dans l'Ouest Algérien, dans le Tell Oranais entre 0° 20' et 1° 10' de longitude Est et entre 34° 40' et 35° 40' de l'attitude Nord. Son périmètre et ses extensions se trouvent dans le bassin inférieur de l'oued Chélif. Il draine une superficie de 5400 km<sup>2</sup> (Fig. V.1). Son cours d'eau principal 'Oued Mina' traverse la ville de Relizane et Tiaret avant d'être capté au niveau du barrage Sidi Mhamed Ben Aouda. Il parcourt une distance de 135 km environ entre les barrages de Bakhada et Sidi M'hamed Ben Aouda, avec une orientation Sud-est, Nord-Ouest. L'Oued Mina reçoit quelques affluents: l'Oued Haddad, l'Oued El Abd, l'Oued Taht et l'Oued Medroussa.

Les caractéristiques morphométriques du bassin sont récapitulées dans le tableau V.1 suivant :

Tableau. V.1 Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Mina (source ANRH).

| Caractéristiques                 | Symboles | Unités             | Valeurs       |
|----------------------------------|----------|--------------------|---------------|
| Code                             |          |                    | 013402        |
| Sous bassin                      |          |                    | Mina Haddad   |
| Station                          |          |                    | Oued El Abtal |
| Oued                             |          |                    | Mina          |
| Mise en service                  |          |                    | 01/01/1964    |
| Coordonnée                       | X        | m                  | 316.80        |
| Coordonnée                       | Y        | m                  | 245.65        |
| Superficie                       | S        | km <sup>2</sup>    | 5400          |
| Périmètre du BV                  | P        | km                 | 295           |
| Longueur du talweg               | L        | km                 | 141           |
| Longueur de rectangle équivalent | Le       | km                 | 80            |
| Altitude maxima                  | Hmax     | m                  | 1339          |
| Altitude moyenne                 | Hmoy     | m                  | 872           |
| Altitude minima                  | Hmin     | m                  | 205           |
| Indice de compacité              | Kc       |                    | 1.12          |
| Indice de pente                  | I        |                    | 0.00          |
| Densité de drainage              | Dd       | km/km <sup>2</sup> | 0.00          |
| Coefficient de torrentialité     | Ct       |                    | 0.00          |



**Fig. V.1** Situation du bassin versant de l'Oued Mina.  
(SAIDI H., 2011)

### 1.1.2. Aperçu climatologique:

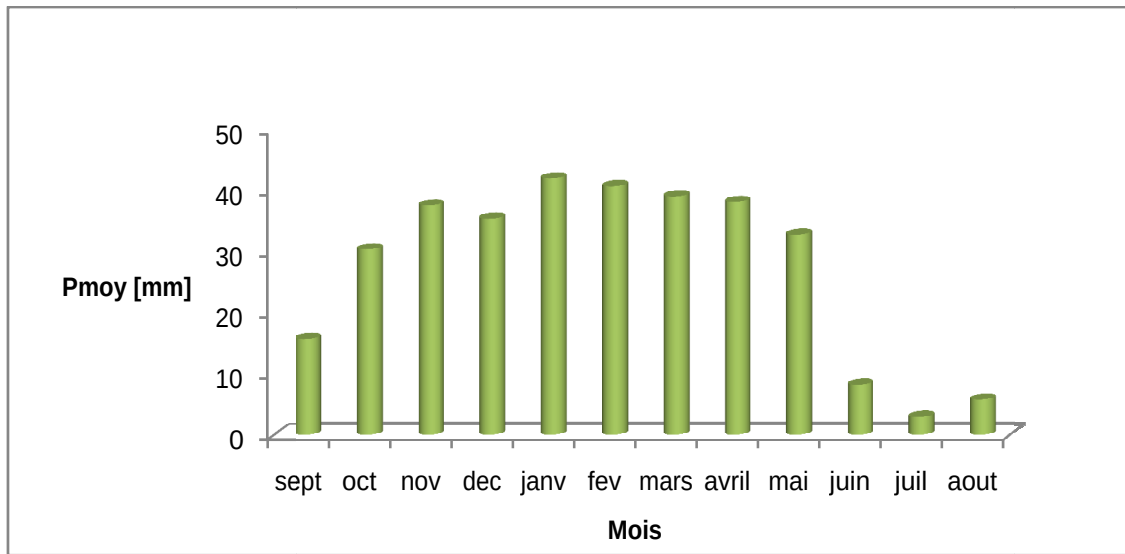
Le climat du bassin versant de l'Oued Mina est qualifié de semi-aride. La température moyenne annuelle sur le bassin versant est de  $17,9^{\circ}\text{C}$ . Les valeurs mensuelles maximales et minimales moyennes sont respectivement de  $27^{\circ}\text{C}$  et  $10^{\circ}\text{C}$ . Le mois de janvier présente les plus basses températures, alors que le mois d'août est le mois le plus chaud. L'humidité relative moyenne annuelle dans la région est estimée à environ 69% et les valeurs extrêmes seraient atteintes en décembre et janvier (78%) et en juillet (62%). L'évaluation de l'ensoleillement indique une insolation moyenne journalière sur le bassin versant de 7,9 heures/jour et les valeurs varient de 5,1 heures/jour en décembre à 10,8 heures/jour en juillet. La vitesse moyenne annuelle du vent à environ 3 m/s, avec des directions préférentielles Nord-Ouest, Nord, Nord-Est.

La pluviométrie moyenne annuelle sur le bassin de l'oued Mina est de 328 mm. Les précipitations moyennes mensuelles varient de 3 mm au mois de juillet à 42 mm au mois de janvier.

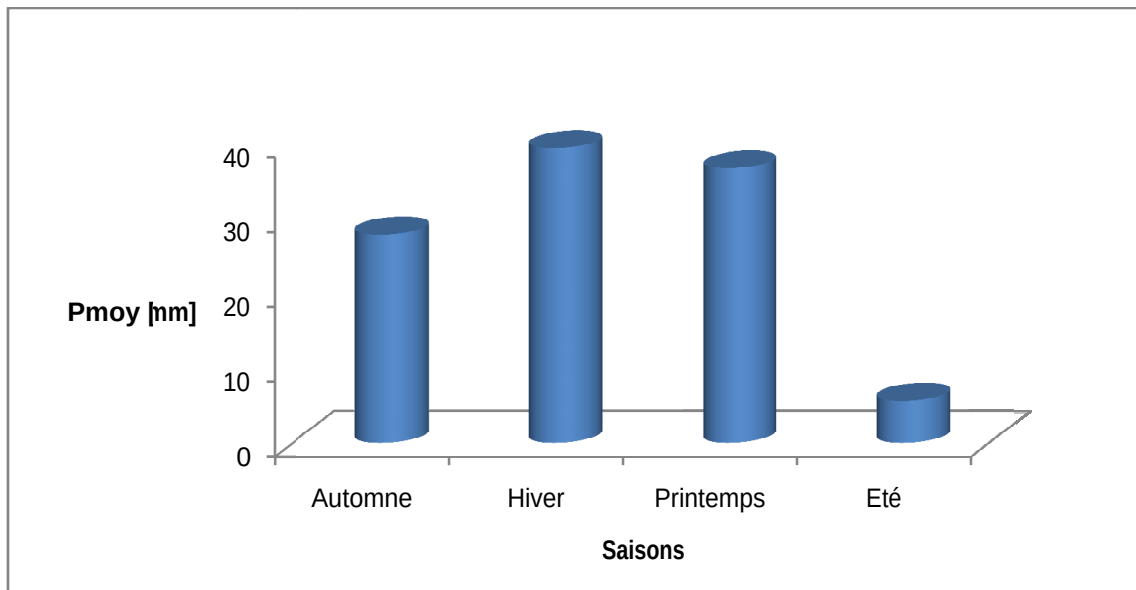
On constate que la saison pluvieuse du bassin s'étend du mois de novembre au mois d'avril. La moyenne mensuelle des précipitations au cours de cette période est de 39 mm. Le reste de

l'année hydrologique s'étend du mois de mai au mois d'octobre, où la région est beaucoup moins arrosée avec une précipitation moyenne mensuelle de 16 mm.

La station qui a servi à valider les valeurs de la précipitation annuelle et qui ont permis l'analyse statistique de la répartition des pluies mensuelles (Fig. V.2) et saisonnières (Fig. V.3) pour le bassin versant de l'Oued Mina, est la station d'Ain El Haddid (code : 013004 ; X= 334.5 ; Y= 197), sur une série des années qui s'étend de 1970 à 2010.



**Fig. V.2:** Répartition moyenne de la pluviométrie au cours de l'année (Période 1970-2010).



**Fig. V.3:** Variation saisonnière moyenne de la pluviométrie (Période 1970-2010).

### 1.1.3. Lithologie de la région :

Le bassin versant de l'Oued Mina est caractérisé du point de vue géologique par:

- La prépondérance du Jurassique au Nord et à l'Ouest.
- Les restes d'un paysage Crétacé avec des roches calcaires et grès calcaires.

La présence de marnes dans lesquelles il y a des intercalations de quelques bancs de carbonate, il ressort du tableau V.2 et de la figure V.4, que la majorité des sols du bassin sont constitués de marnes et d'argile imperméables.

Tableau. V.2: Formations lithologiques du bassin versant de la Mina.

| Désignation                                                                                                                                                           | période     |                                           | S (km <sup>2</sup> ) | %    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------|----------------------|------|
| Sables fins rouge et jaune clair, dunes.                                                                                                                              | Pliocène    | T<br>E<br>R<br>T<br>I<br>A<br>I<br>R<br>E | 46.46                | 0.97 |
| Grés sableux avec en partie un peu de cimentation carbonatée, calcaires sableux et croûtes pouvant atteindre 1 m d'épaisseur.                                         | Pliocène    |                                           | 307.19               | 6.43 |
| Grés bruns à grains fins d'origine marine avec cimentation carbonatée - alternant avec des couches de grés marins et des calcaires, en partie conglomérat bien ronds. | Miocène Sup |                                           | 179.77               | 3.76 |
| Marnes sableux alternant en partie avec des bans de grés peu importants.                                                                                              | Miocène Sup |                                           | 62.51                | 1.31 |
| Dépôts de carbonates et de grés en partie sous forme de conglomérats et de brèches et par endroits de minces plaques de grés et de marnes.                            | Miocène Inf |                                           | 196.92               | 4.12 |
| marnes avec des intercalations de minces plaques de grés et de bancs de limon.                                                                                        | Miocène Inf |                                           | 162.37               | 3.4  |
| Bancs de grés et de carbonate important, avec de rares intercalations de couches de marnes.                                                                           | Oligocène   |                                           | 69.46                | 1.45 |
| marnes verts clair avec sporadiquement de faibles bancs de grés et de limon en partie de marnes sableuses foncées.                                                    | Oligocène   |                                           | 232.91               | 4.88 |
| Calcaires fossilisés surtout d'origine marine et calcaires à nummulites, en partie conglomérat bien ronds, grés mal assortis avec cimentation carbonatée.             | Eocène Moy  |                                           | 12.07                | 0.25 |
| calcaires à foraminifères, grés marins en alternance avec des marnes colorées.                                                                                        | Eocène Inf  |                                           | 67.04                | 1.40 |
| Marnes avec intercalations de bancs peu importants de carbonates et de grés.                                                                                          | Crétacé Sup |                                           | 8.86                 | 0.19 |
| Bonne couche de grés à grains fins jaune-                                                                                                                             | Crétacé     |                                           | 51.69                | 1.08 |

|                                                                                                                                         |                |                                                |         |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------------------------------|---------|--------|
| rougeâtres.                                                                                                                             | Sup            | C<br>R<br>E                                    |         |        |
| Importante quantité de calcaires gris et dolomies.                                                                                      | Crétacé Sup    |                                                | 49.10   | 1.03   |
| Marnes claires à verdâtres, pierres limoneux.                                                                                           | Crétacé Inf    |                                                | 80.56   | 1.69   |
| Calcaires en partie sableux et par endroits stromatolithe.                                                                              | Crétacé Inf    | T<br>A<br>C<br>E                               | 69.12   | 1.45   |
| Calcaires et dolomies, par endroits bien déposés avec des intercalations de marnes et en partie de conglomérats et du calcaire sableux. | Jurassique Sup | J<br>U<br>R<br>A<br>S<br>S<br>I<br>Q<br>U<br>E | 721.59  | 15.11  |
| Calcaires et dolomies alternant en général avec des marnes claires et par endroits avec des calcaires sableux et des marnes.            | Jurassique Sup |                                                | 405.22  | 8.49   |
| Dominance des marnes claires, grises et vertes alternant avec de faibles bancs de calcaires et de dolomies.                             | Jurassique Sup |                                                | 1065.68 | 22.32  |
| Importante quantité de calcaire gris en partie et dolomies à gros grains, surface karstique.                                            | Jurassique moy |                                                | 736.61  | 15.43  |
| Importante quantité de calcaire gris et dolomies, surface karstiques avec éboulis.                                                      | Jurassique moy |                                                | 227.72  | 4.77   |
| Alternance de gris quartziques, dolomies roche limoneux et marnes.                                                                      | Jurassique Inf |                                                | 7.69    | 0.16   |
| Gris durs et dolomies                                                                                                                   | Trias          |                                                | 6.73    | 0.14   |
| Eau libre                                                                                                                               |                | TRIAS                                          | 7.95    | 0.17   |
| Total                                                                                                                                   |                |                                                | 4775.22 | 100.00 |



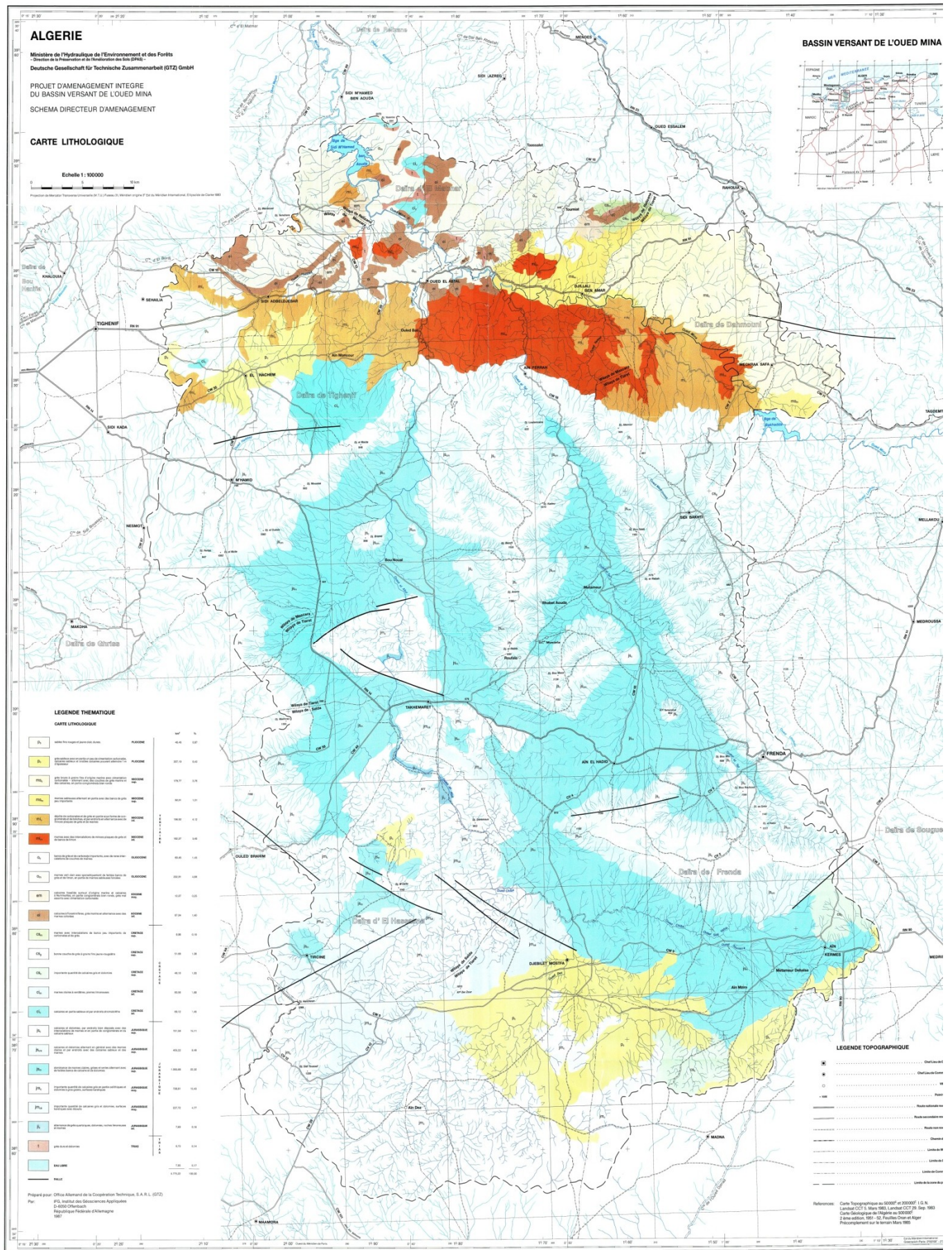


Fig. V.4: Carte lithologique du bassin versant de l'Oued Mina (Source : Ministère de l'Hydraulique de l'Environnement et des Forêts)

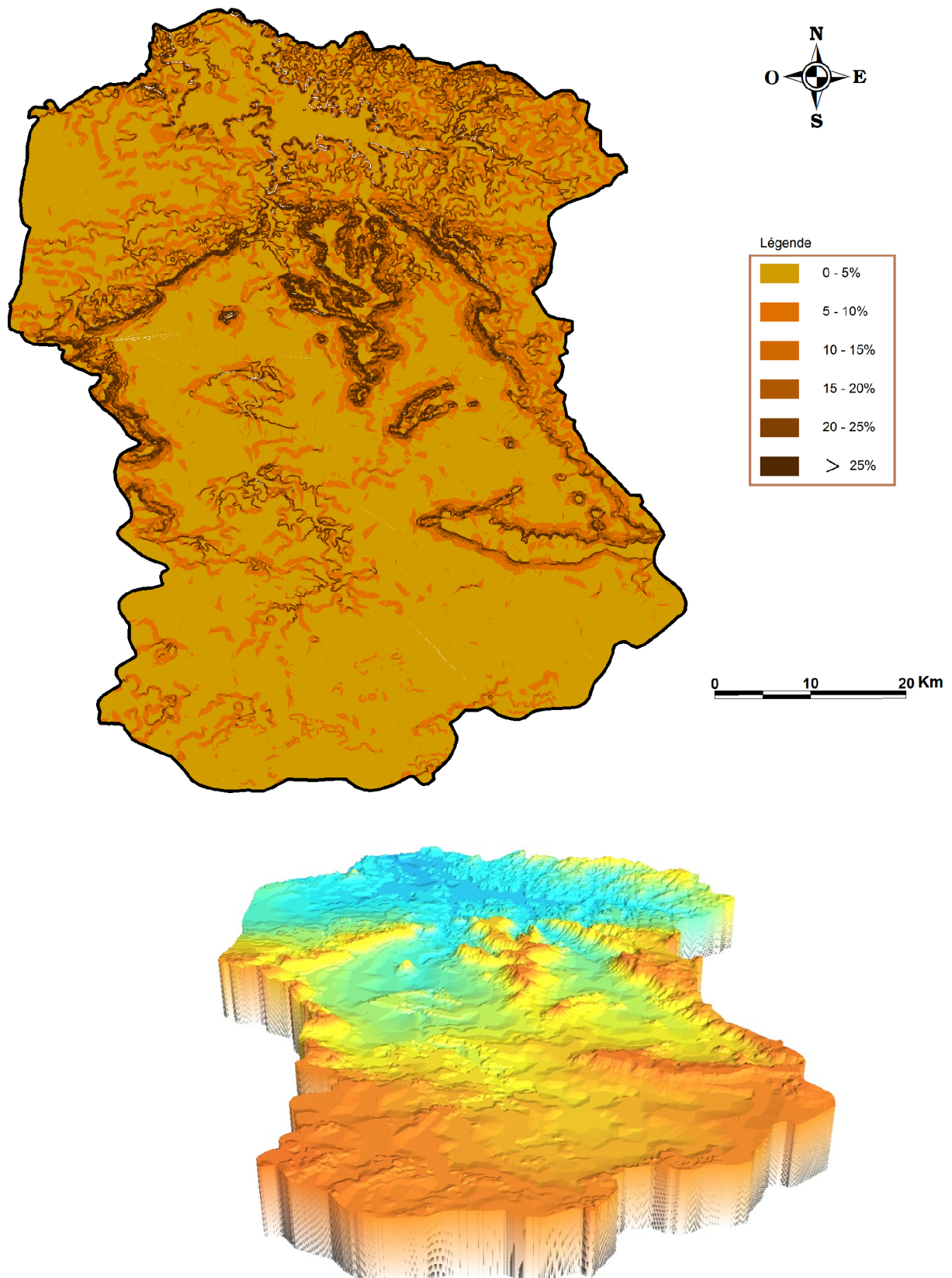


#### 1.1.4. Topographie :

D'après la Carte des pentes (Fig. V.5) et le tableau des classes de pentes dans le bassin versant de l'oued Mina (Tableau V.3), on constate que les pentes inférieures à 3 qui correspondent aux plaines, occupent une grande place. Le pourcentage des terres sur les pentes supérieures au 25% est très faible alors que la majorité de la surface du bassin est caractérisée par un relief relativement doux dominant surtout au Sud. Le Nord reflète la présence de massifs montagneux qui atteignent 1300 m d'altitude.

Tableau. V.3: Classes de pentes dans le bassin versant de l'Oued Mina

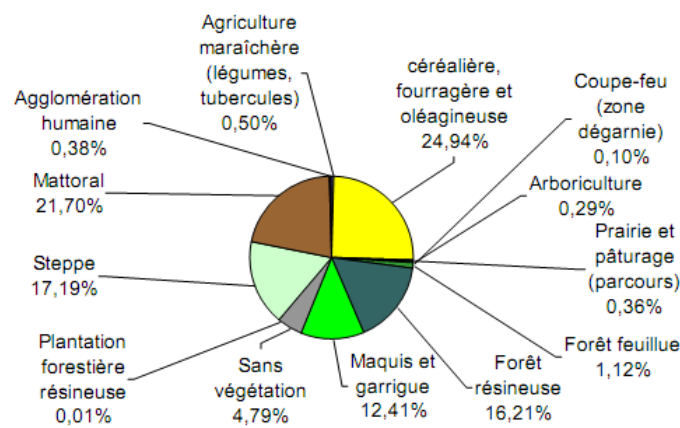
| Classes               | Superficie (km2) | %    |
|-----------------------|------------------|------|
| $P \leq 3$            | 2604.97          | 54.6 |
| $3 \leq P \leq 12.5$  | 1935.47          | 40.5 |
| $12.5 \leq P \leq 25$ | 233.49           | 4.7  |
| $P \geq 25$           | 3.34             | 0.1  |



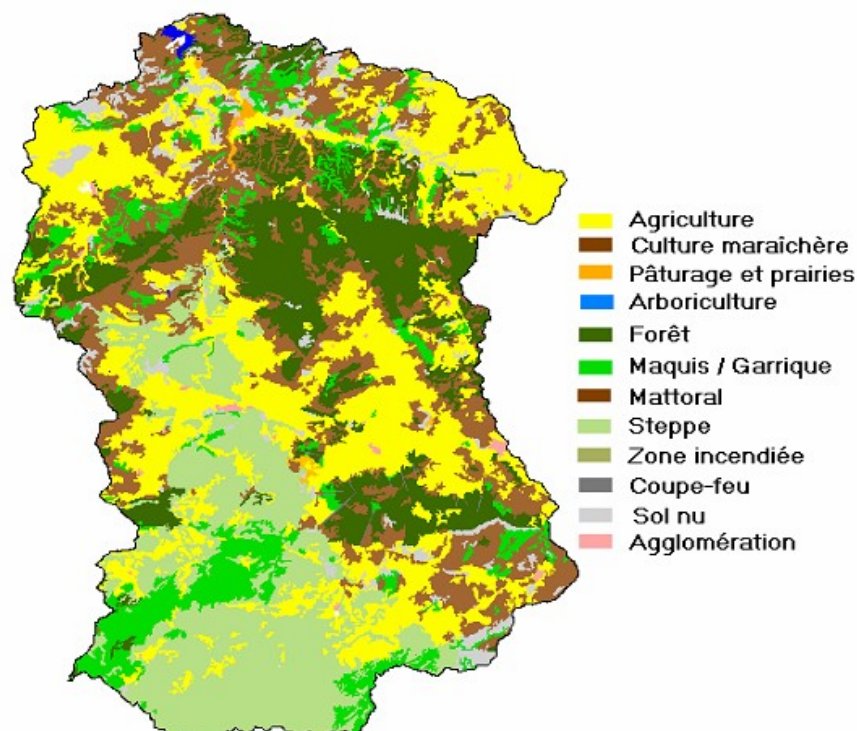
**Fig. V.5:** Cartes des pentes du bassin versant de l'Oued Mina.

### 1.1.5. Végétation :

La majorité de la surface du bassin versant de la Mina représente des zones agricoles. Elles dominent toutefois le quart du territoire (Fig. V.6) (Fig. V.7). Les zones de matorral occupent des superficies presque aussi importantes, soit environ 22% du territoire. Ce type de couvert est suivi par les steppes qui se concentrent au Sud du bassin avec un pourcentage d'environ 17% du bassin. Les forêts couvrent la zone montagneuse qui ne représente que 0.1% de la surface totale, au Nord-est du bassin. Finalement, les sols nus représentent environ 5% du territoire. Ce pourcentage serait supérieur si l'on y comptabilisait les zones de matorral qui ne comportent qu'une très faible couverture végétale.



**Fig. V.6:** Répartition du couvert des terres du bassin de S.M Ben-Aouda. (ANRH)



**Fig. V.7:** Carte simplifiée du couvert des terres du bassin de S.M. Ben-Aouda. (ANRH)

## 1.2. Caractéristiques du barrage :

La construction du barrage Sidi M'hamed Ben Aouda proprement dit a débuté en 1973. Sa mise en service a eu lieu en 1978. Sa capacité est de  $235 \text{ Hm}^3$ , est destinée principalement à l'alimentation en eau potable pour le village de Sidi M'hamed Ben Aouda et la ville de Relizane, et pour répondre à des besoins agricoles par des lâchers d'irrigation modulés du printemps à l'automne et renforcés en été pour le périmètre de la Mina.



**Fig. V.8:** Image satellitaire de la retenue de Sdi M'hamed Ben Aouda. (ANBT)

La digue est de type homogène en terre à dominante argileuse. Le Barrage est équipé d'un évacuateur de crues à seuil libre forme de tronc de cône pour un débit de  $4400 \text{ m}^3/\text{s}$ , de deux vidanges de fond de capacité total de  $355 \text{ m}^3/\text{s}$  et de prises d'eau potable et irrigation (Photo V.1).





Photo V.1: Barrage Sdi M'hamed Ben Aouda, 2013.

### Caractéristiques du barrage :

Type : homogène en terre.

Capacité :  $153.710 \text{ hm}^3$  à la cote normale 180,00.

Début de travaux : 1973.

Mise en eau : 1977.

Volume régularisable :  $80 \text{ hm}^3$ .

Longueur de la digue : 890 m.

Largeur de la digue sur la basse : 200 m

Largeur de la digue en crête : 10 m.

Evacuateur de crues en rive gauche : Circulaire forme  
de tronc de cône, débit =  $4400 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Vidange de fond : - Vidange gauche :  $250 \text{ m}^3/\text{s}$ .

-Vidange droite :  $105 \text{ m}^3/\text{s}$ .

-Orifice de dévasement :  $(2,1 \text{ m}^3/\text{s}) \times 4$ .

Prise d'eau :  $11 \text{ m}^3$ .

Dévasement : par chasse d'eau par vidange de fond.

## 2. Résultats et discussion:

En se basant sur les données de l'ANRH d'Alger, nous avons choisis la station de l'Oued l'Abtal qui possède plusieurs données sur le transport solide d'Oued Mina et sur la qualité des eaux de barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda.

### 2.1. Calcul du transport solide dans l'Oued Mina :

A travers les données de l'ANRH, nous avons déterminé l'apport solide produit et évacué au niveau du bassin hydrographique de la Mina. Nous disposons une série de mesure de 12206 valeurs de débits liquides ( $Q_l$  en  $m^3/s$ ) et débits solides en suspension ( $Q_s$  en  $kg/s$ ), de 1971 à 2001. Le débit solide moyen est calculé par :

$$Q_s = C \cdot Q_l \dots \dots \dots \text{eq.V.1}$$

Avec : C : Concentration moyenne des sédiments en suspension  $[g/l]$  ;

$Q_l$  : Débit liquide  $[m^3/s]$ .

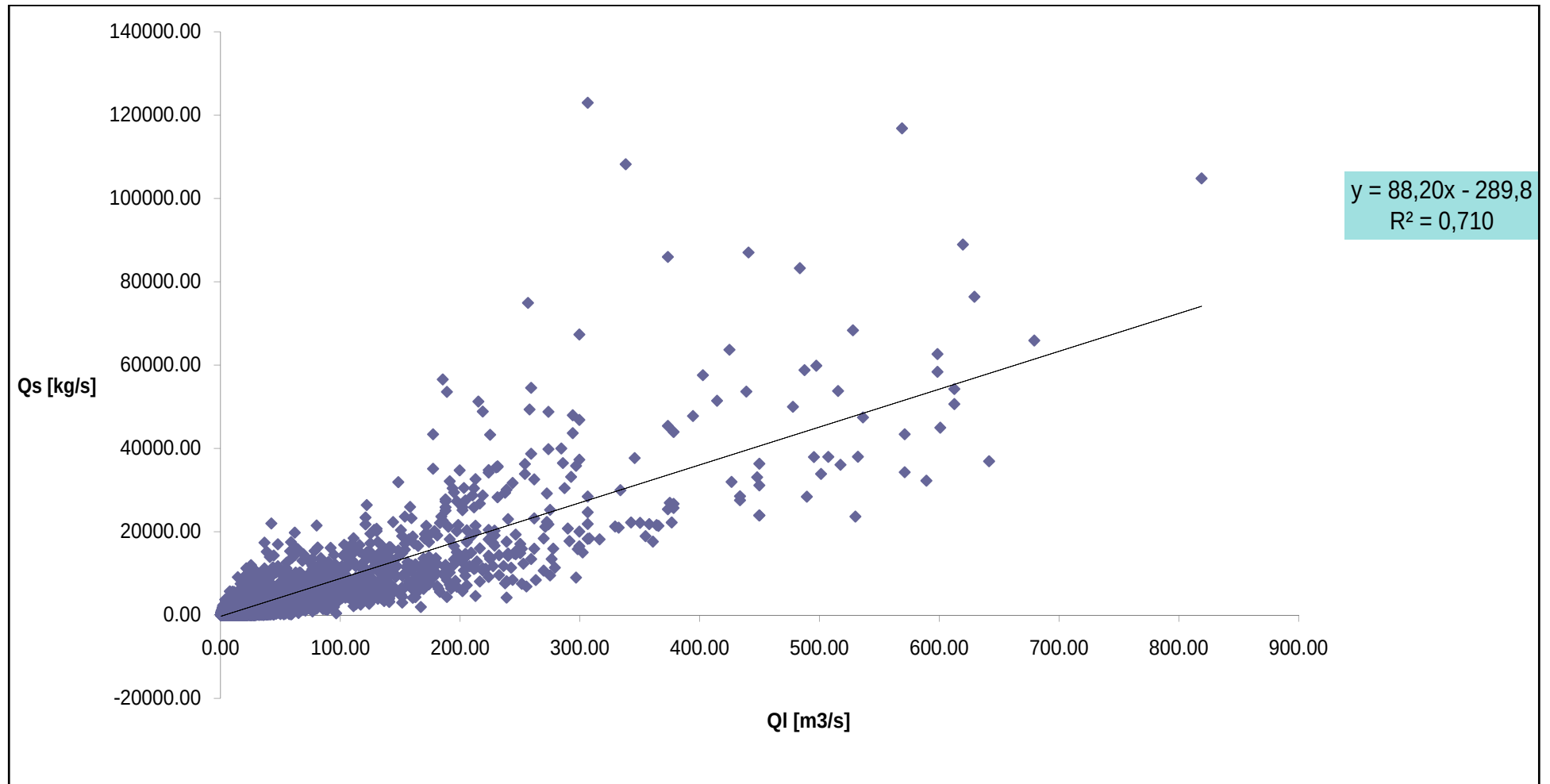
Nous avons effectué des corrélations entre le débit solide et le débit liquide afin de trouver une relation entre les deux paramètres qui caractérise l'apport solide dans la rivière de l'Oued Mina, à l'échelle annuelle, mensuelle et saisonnière. On signale que les fonctions ont été soumises à des relations linéaires, puissances, polynomiales, logarithmiques qui semblent donner des meilleurs coefficients de corrélation.

#### 2.1.1. Variation annuelle :

Les résultats de la corrélation débit solide-débit liquide sont regroupés dans le tableau suivant, et ils sont illustrés dans les figures V.9.

Tableau. V.4: Quantification moyenne annuelle des débits solides en suspension.

| Années      | Equations de corrélation  | Coefficient de corrélation | Observations des corrélations | Débit liquide moyen $[m^3/s]$ | Débit solide moyen $[kg/s]$ |
|-------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 1971 - 2001 | Type linéaire             | R=0,84                     | Bonne                         | 19,72                         | 1444,80                     |
|             | $Q_s = 88,20 Q_l - 289,8$ |                            |                               |                               |                             |
| 1971 - 2001 | Type linéaire             | R=0,33                     | Mauvaise                      |                               |                             |
|             | $C = 0,219 Q_l + 22,77$   |                            |                               |                               |                             |



**Fig. V.9:** Relation entre le débit solide  $Q_s$  [kg/s] et le débit liquide  $Q_l$  [m³/s] de l'Oued Mina (Période 1971-2001)-annuel.

### 2.1.2. Variation mensuelle :

Nous avons établi des corrélations débit solide-débit liquide à l'échelle mensuelle. Les résultats sont illustrés dans le tableau suivant V.5.

**Tableau. V.5:** Quantification des débits moyens mensuels en suspension.

| Mois      | Equations de corrélation                   | Coefficient de corrélation | Observations des corrélations | Débits liquides moyens [m <sup>3</sup> /s] | Débit solide moyen [kg/s] |
|-----------|--------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| Janvier   | Type linéaire<br>$Q_s = 0,006 Q_l + 7,030$ | R=0,87                     | Bonne                         | 19,65                                      | 1174,47                   |
| Février   | Type linéaire<br>$Q_s = 59,56 Q_l - 35,01$ | R=0,93                     | Très bonne                    | 19,59                                      | 1247,69                   |
| Mars      | Type linéaire<br>$Q_s = 67,66 Q_l - 141,5$ | R=0,81                     | Bonne                         | 19,70                                      | 1538,29                   |
| Avril     | Type linéaire<br>$Q_s = 121,7 Q_l - 435,8$ | R=0,86                     | Bonne                         | 19,69                                      | 1166,31                   |
| Mai       | Type linéaire<br>$Q_s = 82,46 Q_l - 48,56$ | R=0,92                     | Très bonne                    | 19,72                                      | 2141,51                   |
| Juin      | Type linéaire<br>$Q_s = 52,47 Q_l - 63,36$ | R=0,84                     | Bonne                         | 18,62                                      | 335,99                    |
| Juillet   | Type linéaire<br>$Q_s = 62,10 Q_l + 205,5$ | R=0,88                     | Bonne                         | 16,20                                      | 1634,06                   |
| Aout      | Type linéaire<br>$Q_s = 116,2 Q_l - 489,9$ | R=0,98                     | Très bonne                    | 21,33                                      | 2177,51                   |
| Septembre | Type linéaire<br>$Q_s = 103,3 Q_l - 580,7$ | R=0,80                     | Bonne                         | 19,47                                      | 2648,39                   |
| Octobre   | Type linéaire<br>$Q_s = 94,2 Q_l - 366,6$  | R=0,88                     | Bonne                         | 19,57                                      | 1668,14                   |
| Novembre  | Type linéaire<br>$Q_s = 72,29 Q_l - 232,6$ | R=0,88                     | Bonne                         | 19,58                                      | 578,67                    |
| Décembre  | Type linéaire<br>$Q_s = 59,87 Q_l - 63,10$ | R=0,61                     | Acceptable                    | 19,58                                      | 487,69                    |

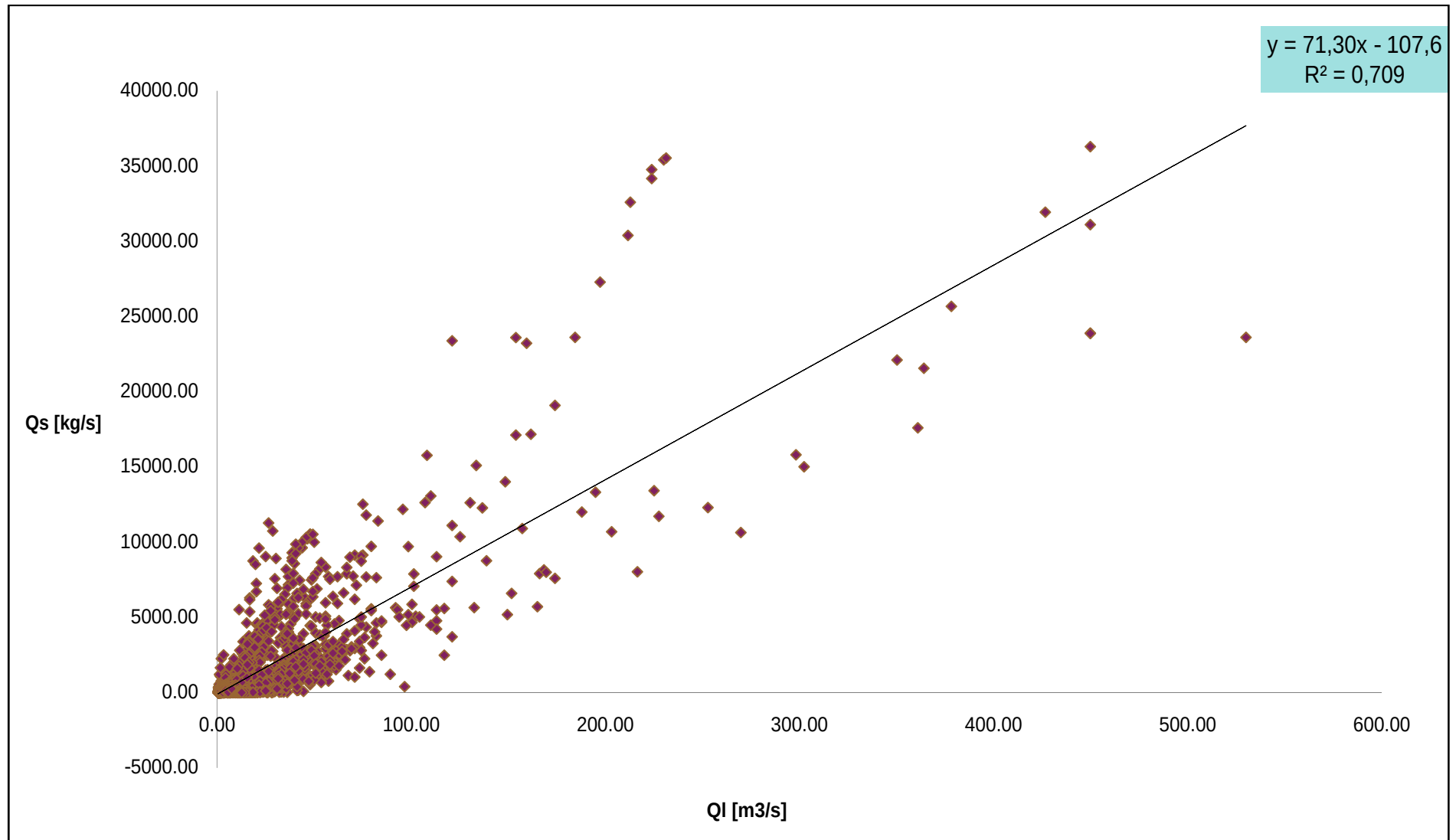


### 2.1.3. Variation saisonnière :

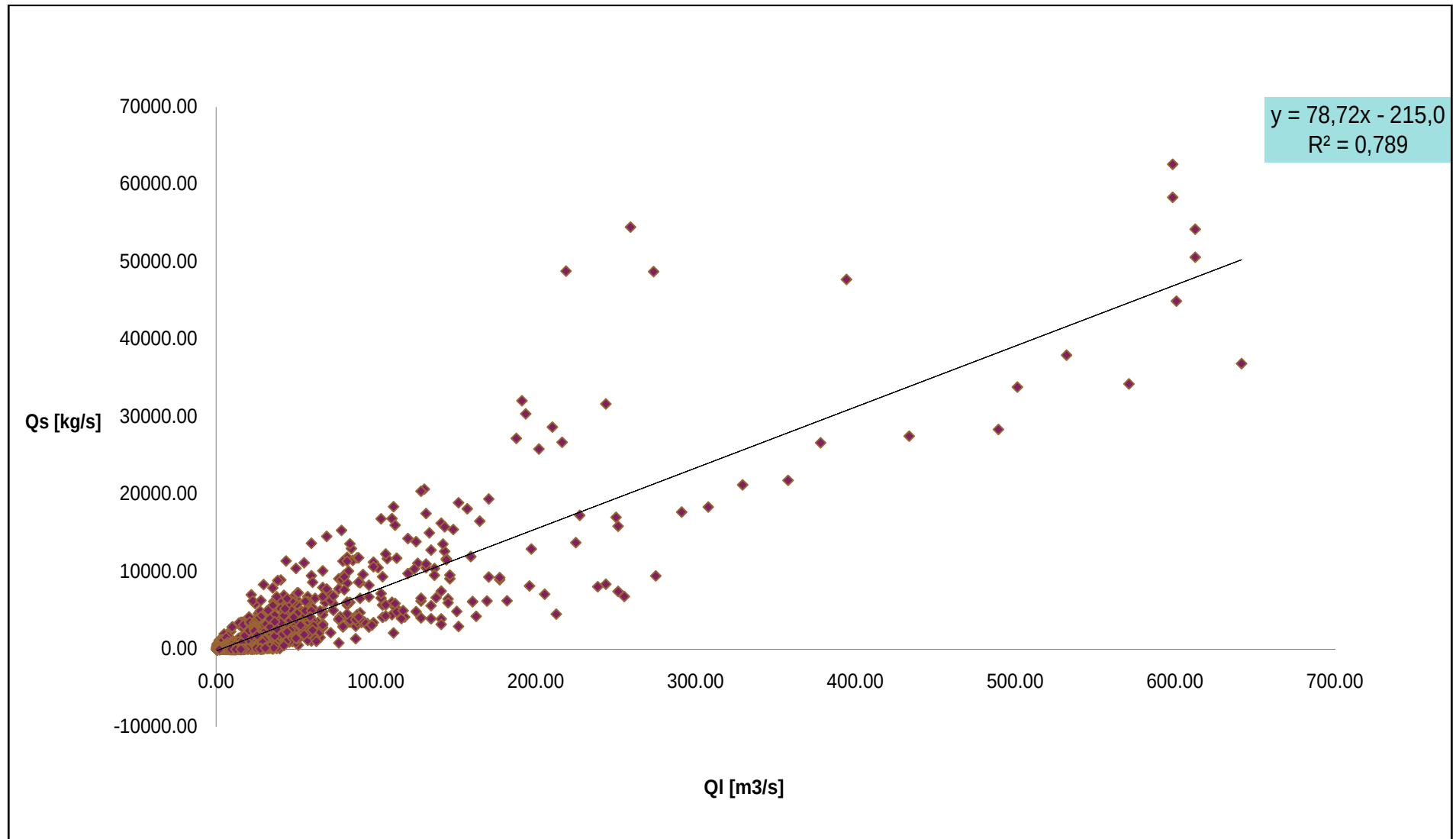
Pour résumer les résultats de la corrélation à l'échelle saisonnière, nous avons rédigé le tableau suivant V.6 accompagné par les figures V.10, V.11, V.12 et V.13.

Tableau. V.6: Quantification des débits solides moyens saisonniers en suspension.

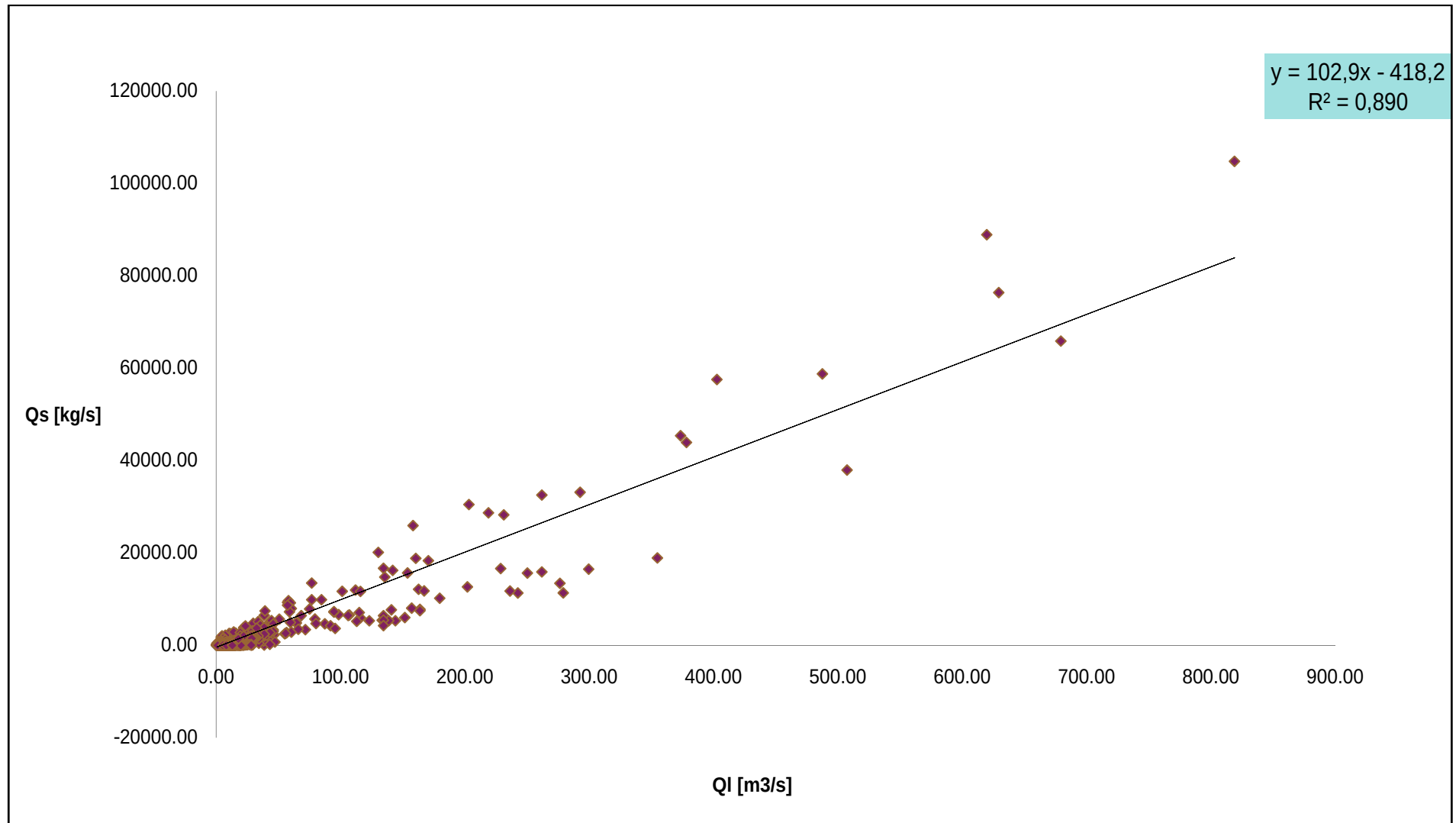
| Saisons          | Equations de corrélation | Coefficient de corrélation | Observations des corrélations | Débits liquides moyens [m <sup>3</sup> /s] | Débit solide moyen [kg/s] |
|------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| <b>Hivers</b>    | Type linéaire            | R=0,84                     | Bonne                         | 15,31                                      | 983,98                    |
|                  | Qs = 71,30 Ql - 107,6    |                            |                               |                                            |                           |
| <b>Printemps</b> | Type linéaire            | R=0,89                     | Bonne                         | 25,57                                      | 1798,04                   |
|                  | Qs = 78,72 Ql - 215,0    |                            |                               |                                            |                           |
| <b>Eté</b>       | Type linéaire            | R=0,94                     | Très bonne                    | 17,78                                      | 1412,33                   |
|                  | Qs = 102,9 Ql - 418,2    |                            |                               |                                            |                           |
| <b>Automne</b>   | Type linéaire            | R=0,84                     | Bonne                         | 21,85                                      | 1671,40                   |
|                  | Qs = 97,00 Ql - 435,0    |                            |                               |                                            |                           |



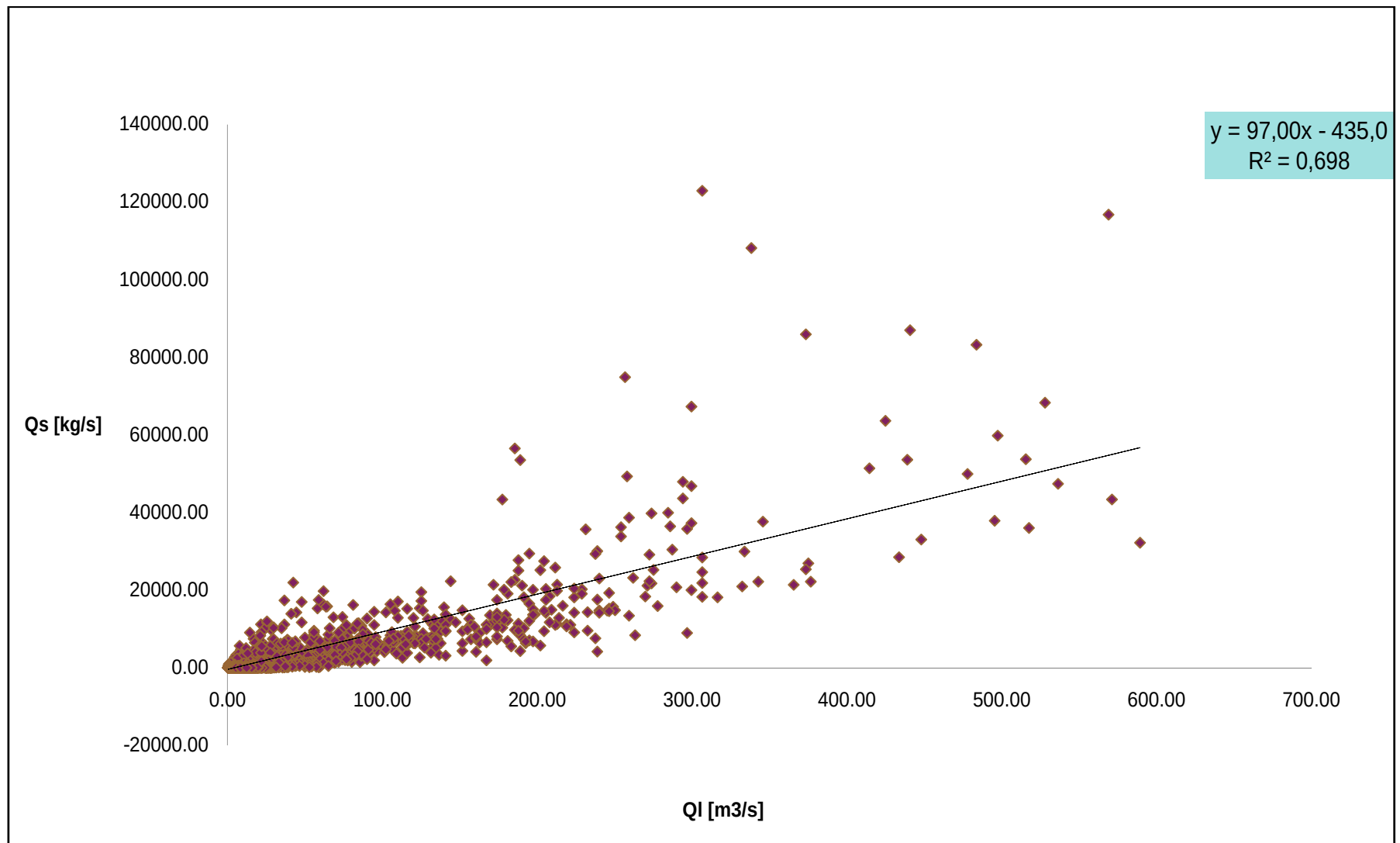
**Fig. V.10:** Relation entre le débit solide  $Q_s$  [kg/s] et le débit liquide  $Q_l$  [m3/s] de l'Oued Mina (période 1971-2001)-saison d'hiver.



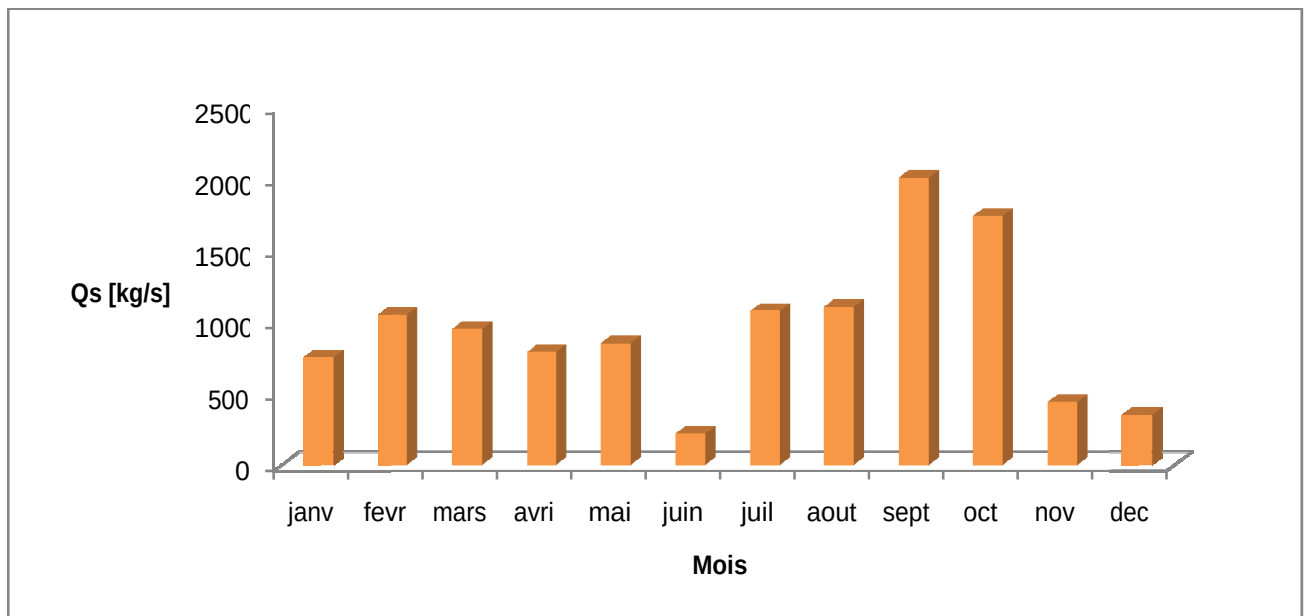
**Fig. V.11:** Relation entre le débit solide  $Q_s$  [kg/s] et le débit liquide  $Q_l$  [m³/s] de l'Oued Mina (période 1971-2001)-saison de printemps.



**Fig. V.12:** Relation entre le débit solide  $Q_s$  [kg/s] et le débit liquide  $Q_l$  [m3/s] de l'Oued Mina (période 1971-2001)-saison d'été.



**Fig. V.13:** Relation entre le débit solide  $Q_s$  [kg/s] et le débit liquide  $Q_l$  [m3/s] de l'Oued Mina (période 1971-2001)-saison d'automne.



**Fig. V.14:** Variation de débit solide moyen mensuel en suspension sur une période s'étend de 1972 à 2001.

#### 2.1.4. Discussions et interprétations :

D'après les figures qui représentent la relation entre le débit solide et le débit liquide à l'échelle annuelle et saisonnière V.9, V.10, V.11, V.12 et V.13, on peut obtenir les coefficients de corrélations  $[R = (R^2)^{1/2}]$  qui correspondent respectivement aux : 0.84, 0.84, 0.89, 0.94 et 0.84.

A partir le tableau V.5 qui résume les résultats mensuels de la corrélation entre le débit solide et le débit liquide, les coefficients de corrélations varie de 0.61 à 0.98.

Les coefficients de corrélations aux trois différentes échelles représentent des valeurs supérieures à 0.6, alors il existe une bonne corrélation entre le débit solide et le débit liquide.

La bonne corrélation dans ce cas, peut s'expliquer par l'effectivité de la relation c'est-à-dire que le débit solide est en fonction du débit liquide par la relation V.1.

Les relations de la corrélation débit liquide-débit solide permettent de caractériser le transport solide en suspension dans l'Oued Mina et conclure la productivité des sédiments dans bassin versant de la Mina suite à l'érosion hydrique.

- A partir la figure V.14 qui illustre la variation mensuelle du débit solide moyen, nous pouvons constater que la saison d'automne notamment le mois de septembre représente la

période la plus productive des sédiments en suspension dans le bassin versant de la Mina. Ceci peut être expliqué par l'apparition des ruissellements hortonien lors des orages exceptionnels d'automne après des périodes sèches. Ce type de ruissellement se manifeste dans un sol sec ou non saturé lorsque la vitesse de l'écoulement superficiel horizontal est supérieure à celle de l'écoulement vertical vers les profondeurs suite à une intensité de la pluie qui dépasse la vitesse de l'infiltration des eaux.

## 2.2. Pertes de la capacité du barrage :

Cette partie d'étude est basée sur les données de l'ANBT qui dispose des mesures sur l'envasement et des différents paramètres du bilan hydrique de barrage SMBA.

Le tableau V.7 représente le volume d'eau perdu par l'évaporation, les fuites et l'envasement dans la retenue de SMBA.

**Tableau. V.7:** Quantification des pertes de la capacité de stockage par l'envasement, l'évaporation et les fuites .

|                                             | Evaporation<br>(1978-2012) | Fuites<br>(1978-2012) | Envasement<br>(1978-2012) |
|---------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------|
| <b>Volume total [hm<sup>3</sup>]</b>        | 360,6                      | 21,2                  | 81,291                    |
| <b>Volume moyen<br/>[hm<sup>3</sup>/an]</b> | 11,3                       | 0,7                   | 3,252                     |

### 2.2.1. L'envasement du barrage SMBA :

Les trois levées bathymétriques de la retenue, effectuée en 1985, 2000 et 2003 par l'Agence nationale des barrages [ANB], montrent qu'en 1985, le volume utile était 225,6 Hm<sup>3</sup>, soit une diminution de 4 % du volume initial, et qu'en 2000, il aurait été réduit à 159,4 Hm<sup>3</sup>, soit une diminution de 32 % du volume initial. La dernière levée bathymétrique effectuée en 2003 montre une diminution de 35% du volume initial (tableau V.8) (Fig. V.15).

**Tableau. V.8:** Evolution de la capacité de stockage du barrage SMBA en fonction du temps.

|                                  | 1978<br>(mise en service) | 1985    | 2000    | 2003    |
|----------------------------------|---------------------------|---------|---------|---------|
| <b>Capacité (hm<sup>3</sup>)</b> | 235                       | 225,580 | 159,419 | 153,709 |
| <b>Perte (hm<sup>3</sup>)</b>    |                           | 9,420   | 75,581  | 81,291  |
| <b>% de perte</b>                |                           | 4       | 32      | 34,60   |



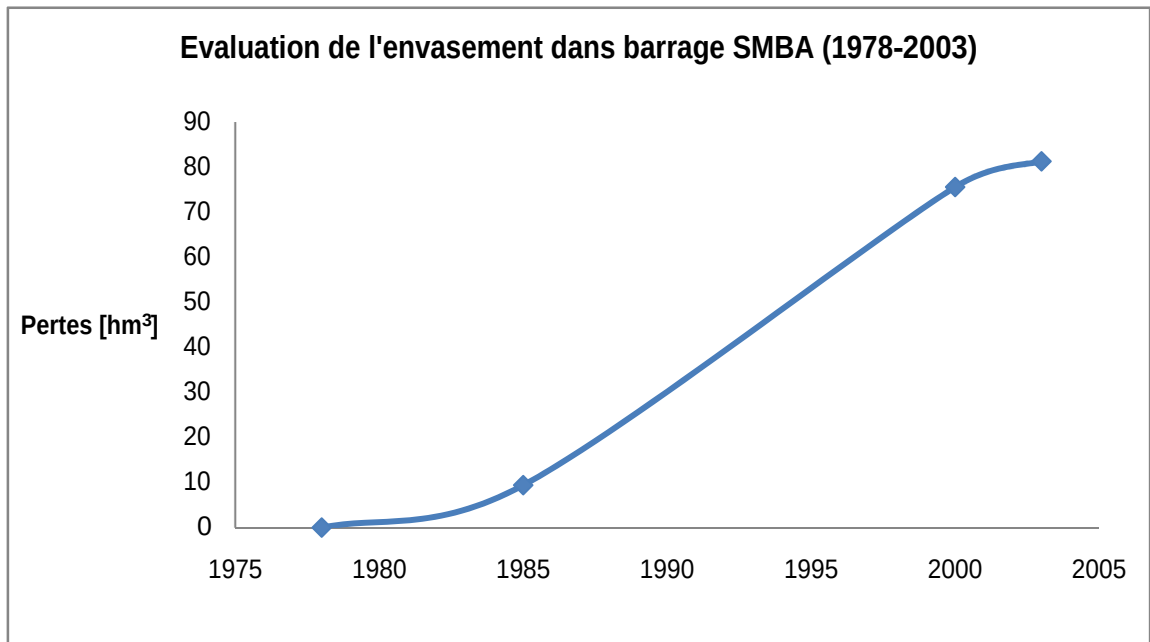


Fig. V.15: Evolution du volume de la vase dans le barrage SMBA (1978-2003).

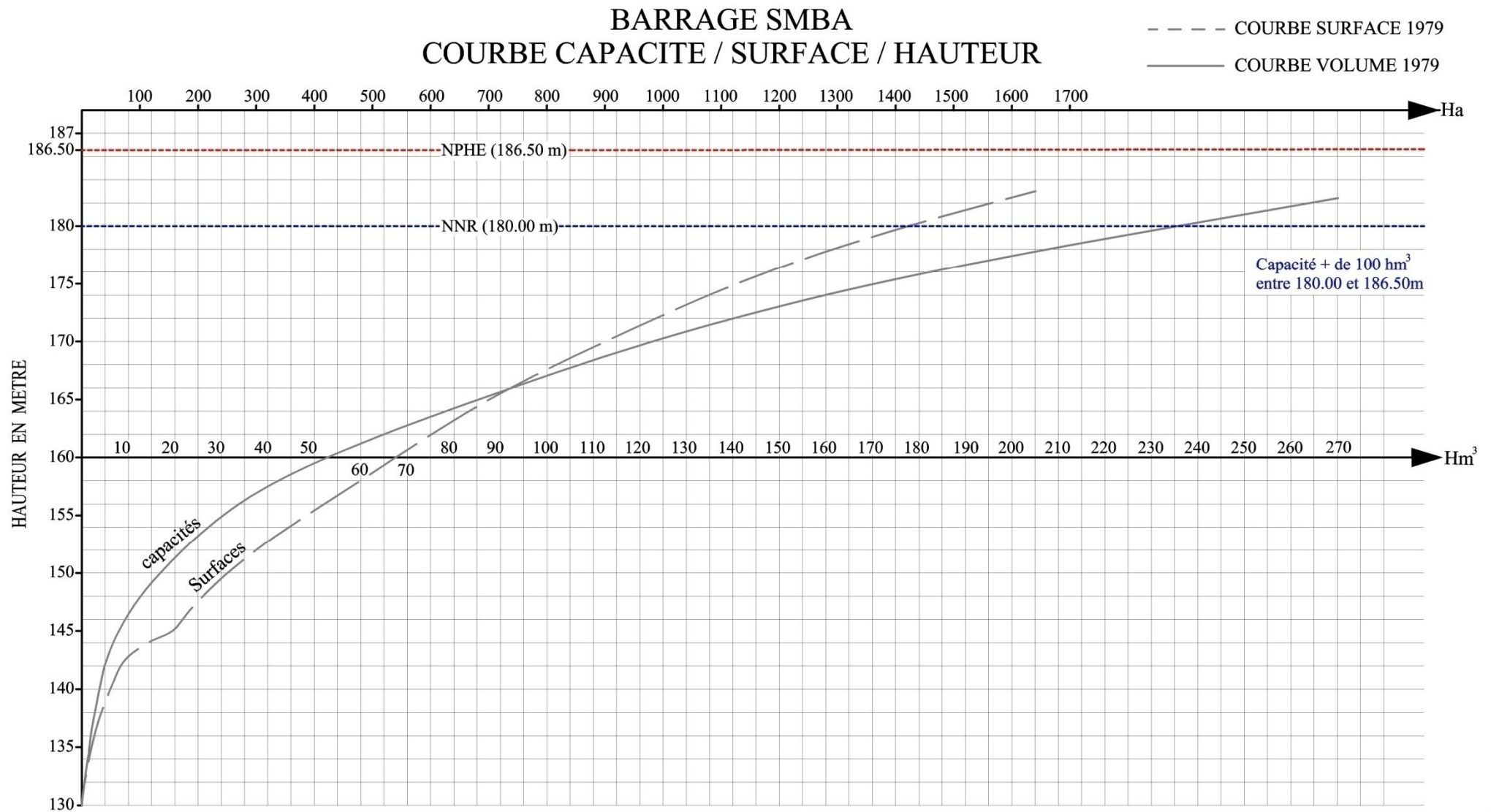


Fig. V.16: Courbe capacité/ surface/ hauteur du barrage SMBA, 1979(ANBT).

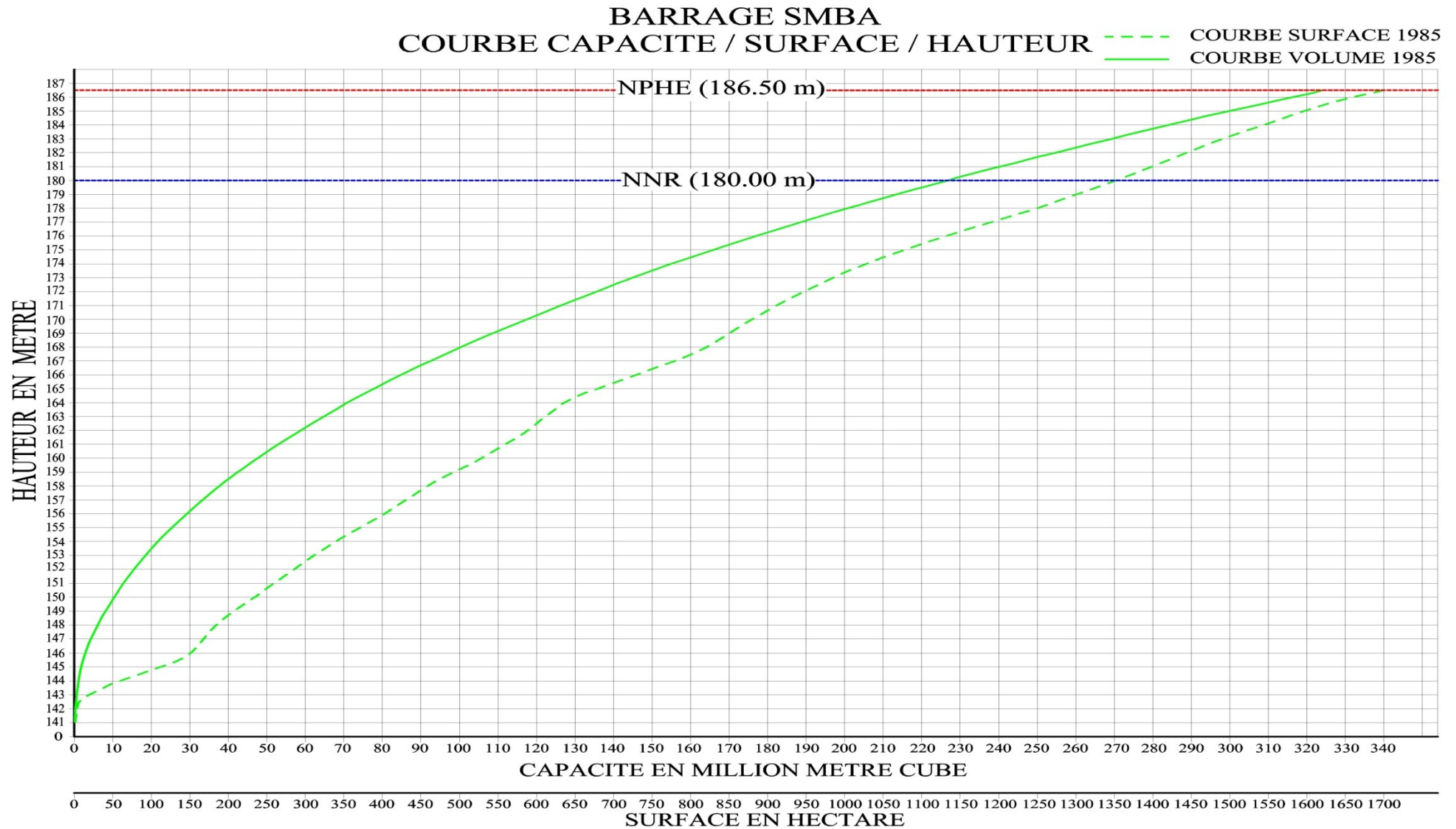


Fig. V.17: Courbe capacité/ surface/ hauteur du barrage SMBA, 1985 (ANBT).

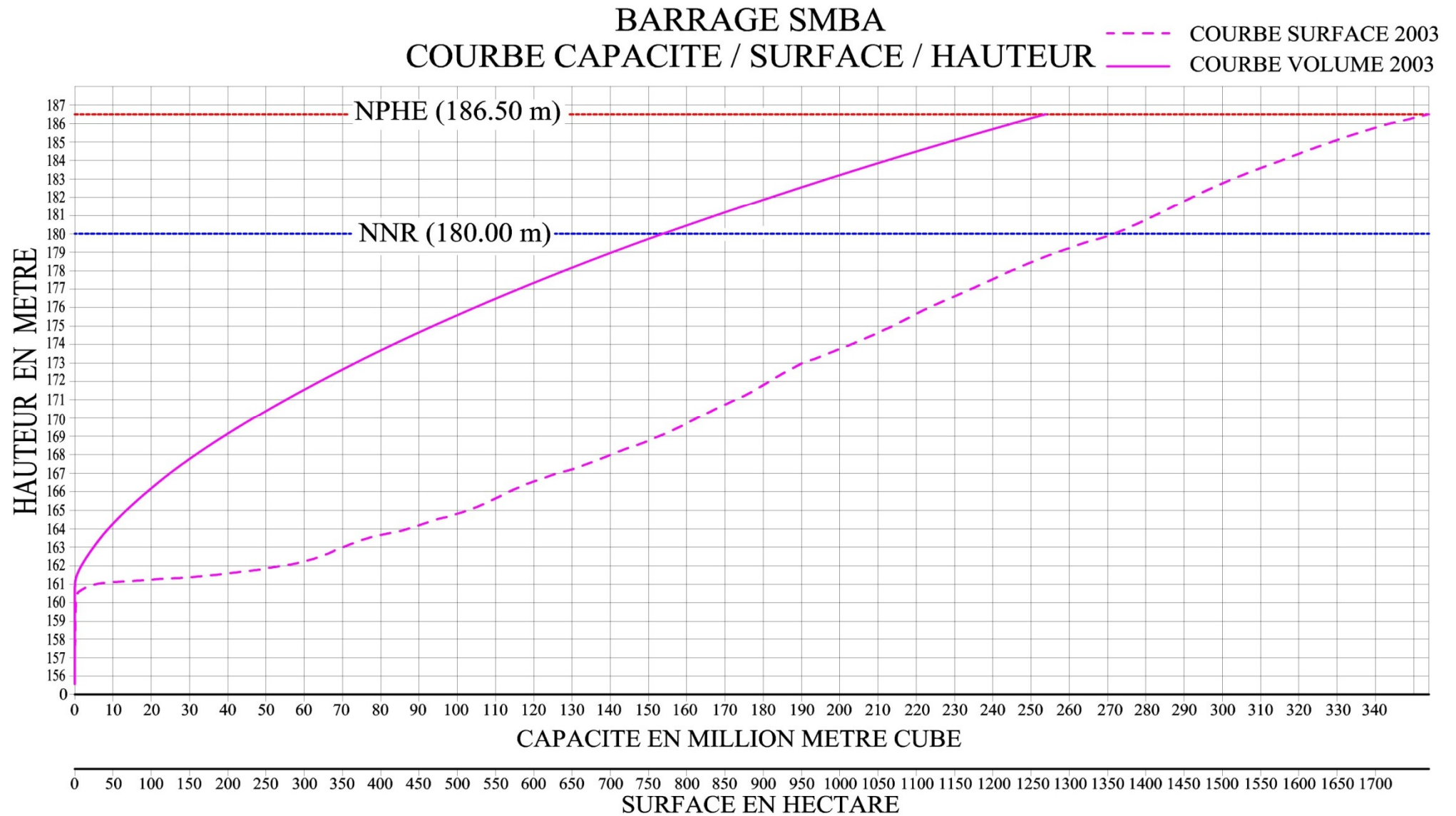


Fig. V.18: Courbe capacité/ surface/ hauteur du barrage SMBA, 2003 (ANBT).

### 2.2.1.1. Discussion et interprétations :

A partir des résultats précédents, on note que les deux courbes capacité/hauteur des années 1985 et 2003 ont des allures semblables. Le décalage qui existe entre les 2 courbes est directement lié à l'accroissement de l'envasement du barrage. En rapport également avec l'envasement, les courbes hauteur/surface sont décalées mais ce décalage a tendance à se réduire avec l'altitude.

Les deux courbes hauteur/surface se rapprochent au-delà de l'altitude 174 m et la variation de la surface devient quasiment la même pour les deux périodes. Ceci est prévisible mais indique également que l'effet de l'envasement affecte la surface jusqu'à l'altitude 174 m.

L'évolution de la perte en capacité du barrage analysée à partir de la mise en service du barrage en 1978 est comme suit (Rapport technique SIDI M'HAMED BEN AOUDA (ANBT), 2003):

**Tableau. V.9:** Evolution de la perte en capacité du barrage analysée à partir de la mise en service du barrage.

|                                                   | 1978 - 1985 | 1985 - 2000 | 2000 - 2003 | TOTAL  |
|---------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| <b>Perte de la capacité (en Hm<sup>3</sup>)</b>   | 9,42        | 66,161      | 5,71        | 81,291 |
| <b>Perte moyenne annuelle (en Hm<sup>3</sup>)</b> | 1,35        | 4,41        | 1,90        |        |

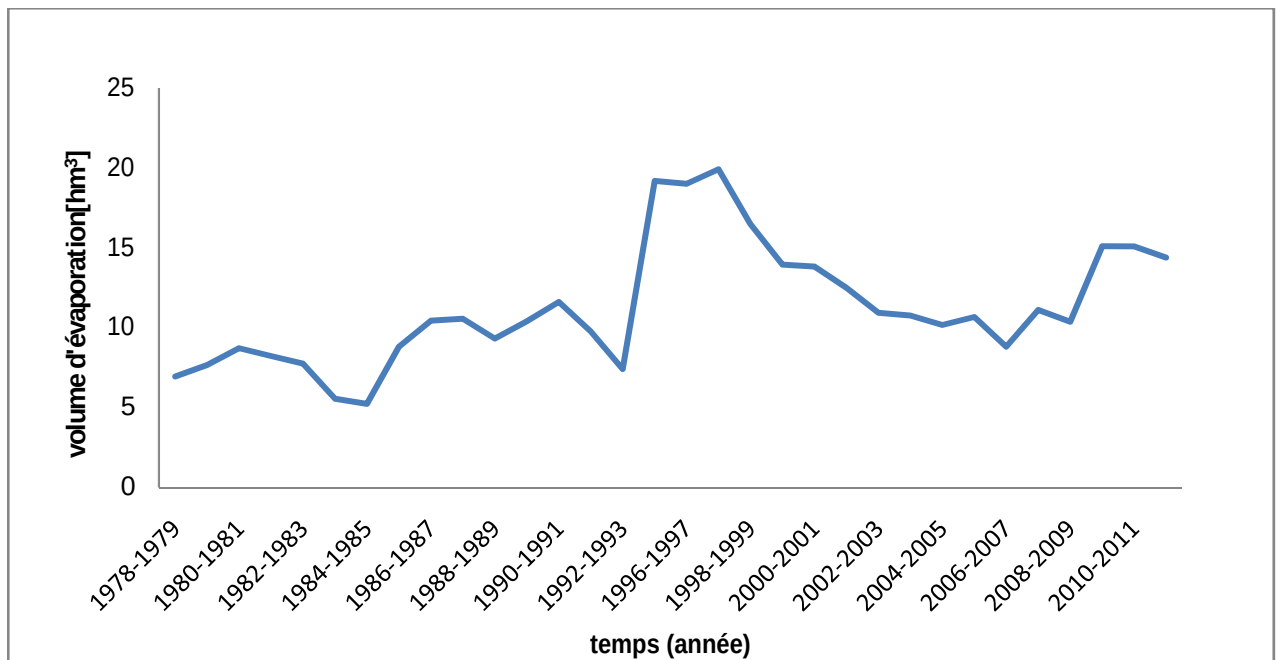
Le résultat principal obtenu est l'estimation de la capacité et de la superficie à la PHE et à la RN. Elles sont comme suit :

- La superficie actuelle du barrage à la retenue normale (180.00 m) est de 1358.0 ha.
- La superficie actuelle du barrage à la PHE (186.50 m) est de 1769.6 ha.
- La capacité actuelle du barrage à la retenue normale (180.00 m) est de 153.7 Hm<sup>3</sup>.
- La capacité actuelle du barrage à la PHE (186.50 m) est de 253.8 Hm<sup>3</sup>.

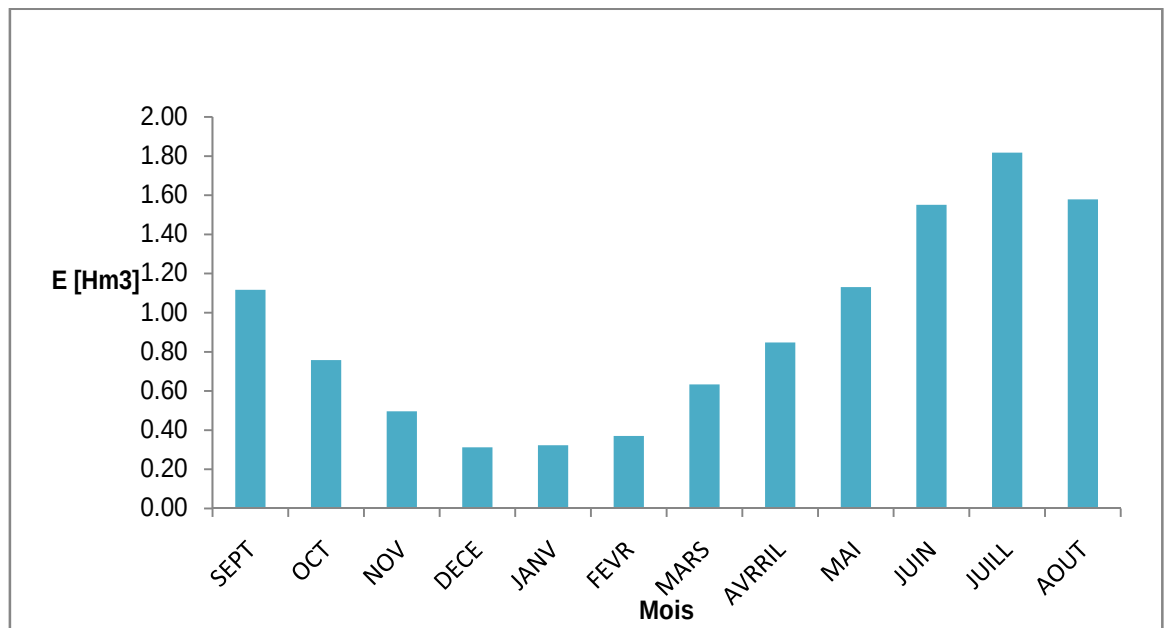
La perte en capacité du barrage depuis sa mise en service en 1978 est évaluée à 81,3 Hm<sup>3</sup> soit l'équivalent d'un tiers (1/3) de sa capacité initiale. Ce qui correspond à une perte moyenne annuelle de 3,25 Hm<sup>3</sup>/an.

### 2.2.2. Pertes liés à l'évaporation :

D'après l'interprétation des données d'évaporation mensuelles de l'ANBT, le volume d'évaporation moyen annuel au niveau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda est de  $11 \text{ Hm}^3/\text{an}$  (Fig. V.19). Les pertes annuelles prévisibles par évaporation représentent 7% du volume total de réservoir. La Figure V.20 précise les évaporations moyennes mensuelles. La retenue subie une évaporation intense durant la saison d'été spécifiquement en mois de juillet où elle est en maximum. Elle représente une perte d'eau importante de près de  $1,8 \text{ Hm}^3$ . En effet, le surplus d'eau capté le long de la saison d'hiver sera perdu en été par l'évaporation.



**Fig. V.19:** Evaporation moyenne annuelle sur le bassin versant de l'Oued Mina.



**Fig. V.20:** Evaporation moyenne mensuelle sur le bassin versant de l'Oued Mina.

### 2.3. Qualité des eaux du barrage SMBA :

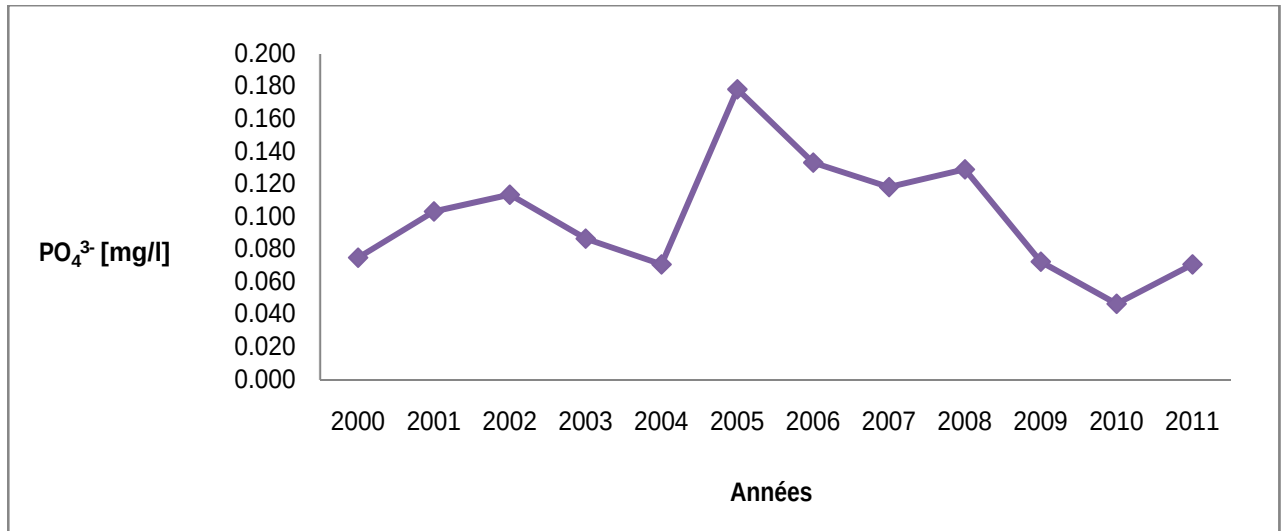
Pour caractériser au mieux l'état trophique des lacs, on évalue le degré d'eutrophisation en se basant sur différents paramètres telles que les concentrations en phosphore total, chlorophylle (a) et la transparence des eaux de la retenue à l'aide du disque dit de Secchi. Puisque les données de la chlorophylle (a) et la transparence des eaux de barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda ne sont pas disponibles au niveau de l'ANRH, cette étude s'axe sur l'évaluation de la concentration du phosphore dans les eaux de barrage et d'autres paramètres physico-chimiques qui sont susceptibles de se rapporter au phénomène d'eutrophisation à savoir le phosphore, le pH et l'oxygène dissous.

#### 2.3.1. Paramètres physico-chimiques :

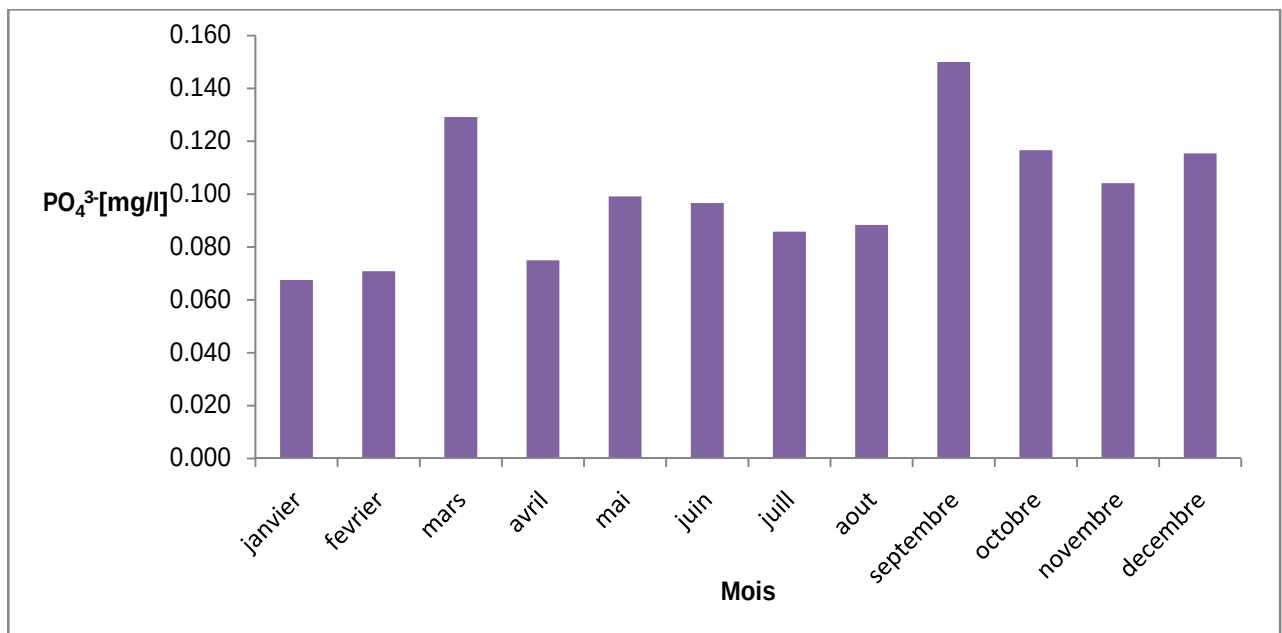
##### 2.3.1.1. Phosphore :

Le phosphore étant un élément indispensable à la vie des organismes, plus il y a de phosphore dans l'eau, plus les organismes aquatiques peuvent se développer et se multiplier. De plus, les études ont montré que dans les cours d'eau, c'est le phosphore biodisponible qui est l'élément nutritif limitant. Il est donc indispensable de surveiller les concentrations de phosphore dans l'eau car leur maîtrise a un rôle important dans la lutte contre l'eutrophisation.

Les figures V.21 ; V.22 et V.23 représentent respectivement l'évolution annuelle, mensuelle et saisonnière de la concentration du phosphore dans les eaux de barrage SMBA.

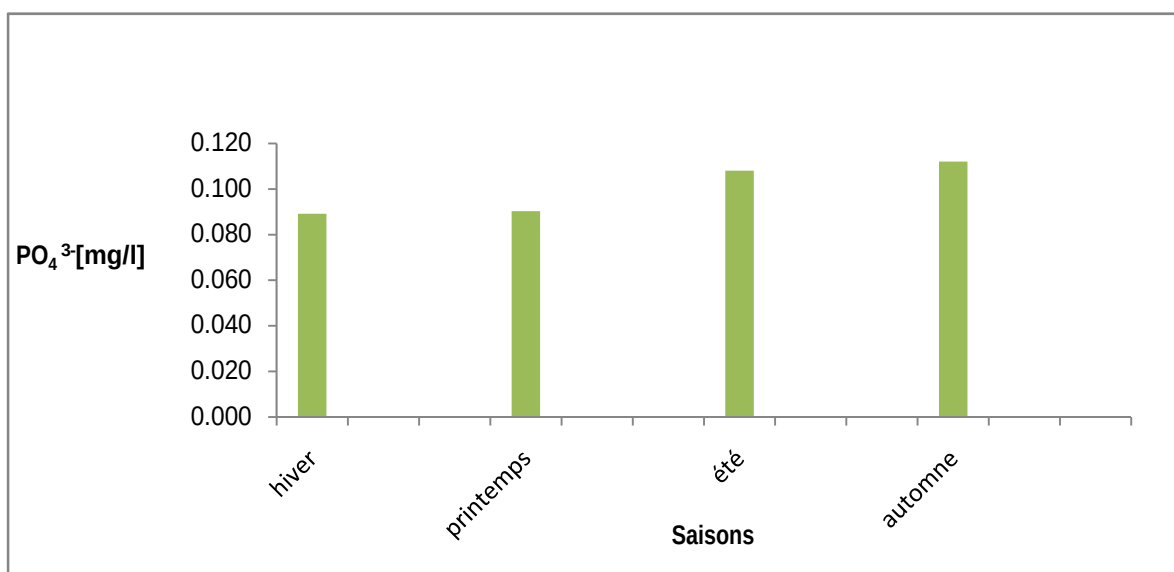


**Fig. V.21:** Evolution annuelle de la concentration du phosphore  $PO_4^{3-}$  (période:2000-2011).



**Fig. V.22:** Evolution mensuelle de la concentration du phosphore  $PO_4^{3-}$  (période:2000-2011).





**Fig. V.23:** Variation saisonnière de la concentration du phosphore  $PO_4^{3-}$  (période:2000-2011).

Sur l'échelle annuelle, on constate des concentrations de phosphore relativement élevées. Elles varient de 0,047 mg/l à 0,178mg/l, avec une moyenne annuelle de 99.9  $\mu$ g/l. Cette dernière valeur correspond à la classe « eutrophe » sur l'échelle trophique [35-100  $\mu$ g/l].

Sur l'échelle mensuelle, on observe que les mois de mars et septembre représentent les périodes de plus fortes concentrations en phosphore et qui atteignent 129  $\mu$ g/l.

Durant les saisons d'été et d'automne, on observe une teneur excessive en phosphore. Ce qui corrobore l'apparition de la couleur verte à la surface des eaux du barrage SMBA (voir photo V.2 prise le 05/ 06/2013)

Sur les trois différentes échelles, l'évolution de la concentration du phosphore dans les eaux de barrage SMBA représente des teneurs qui signifient le niveau eutrophe des eaux du barrage.

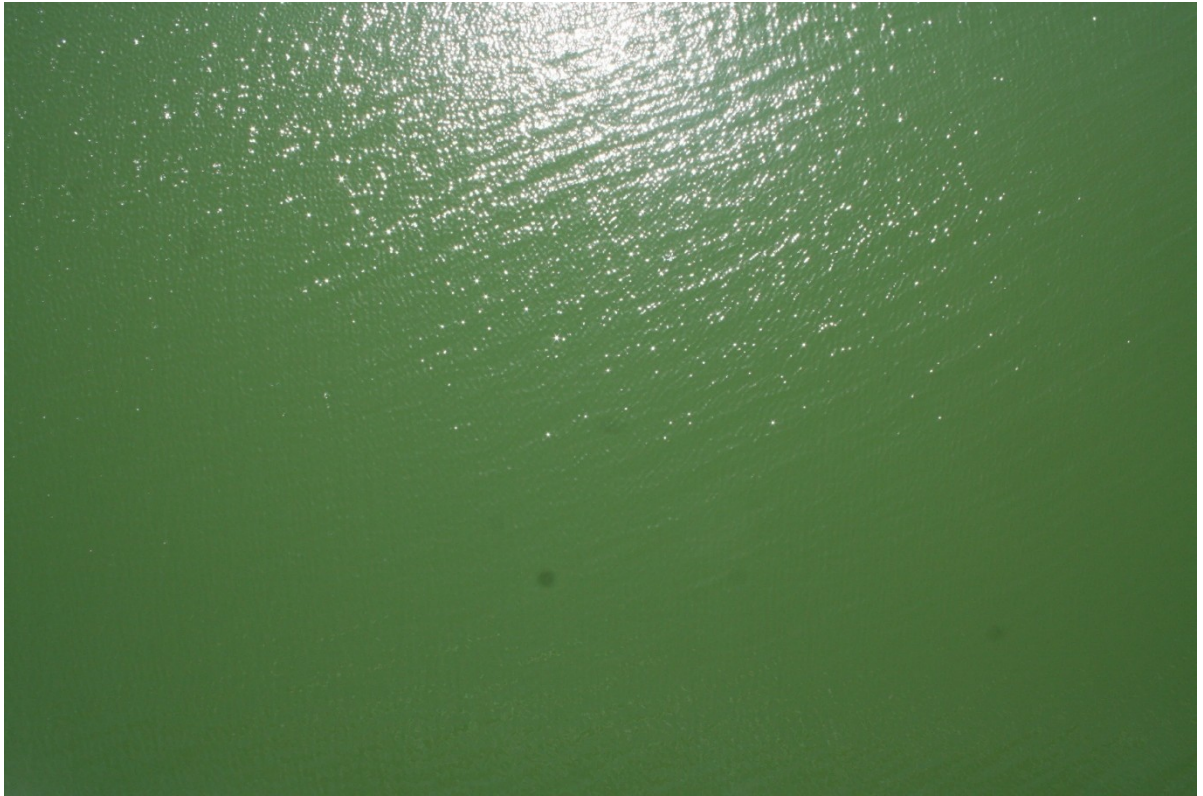
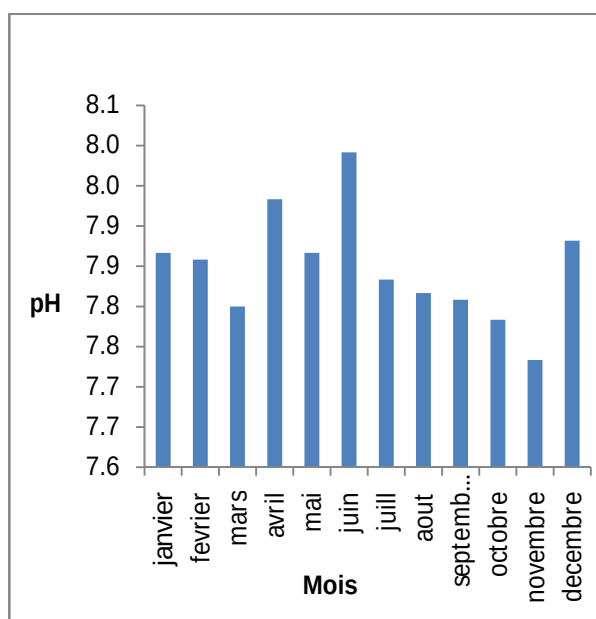


Photo V.2: Couleur verdâtre des eaux de Barrage Sdi M'hamed Ben Aouda, 2013.

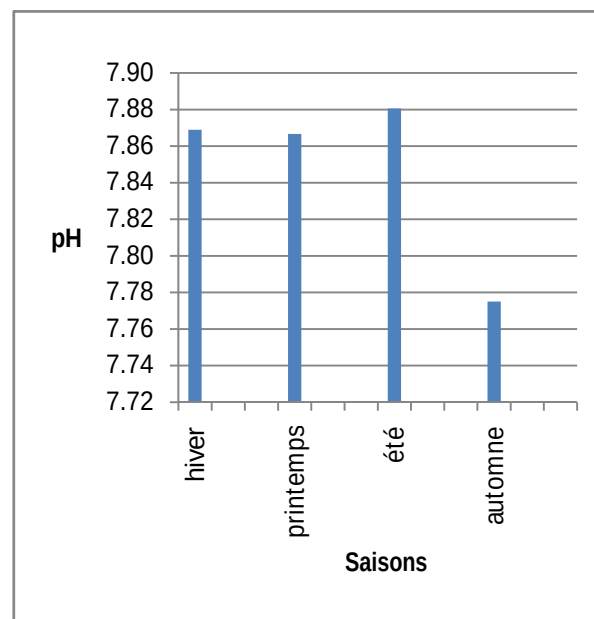
#### 2.3.1.2. *pH* :

On s'intéresse au pH dans cette étude car sa valeur peut varier fortement dans une journée par effet d'une production végétale intense. En effet, lors de la photosynthèse, les végétaux captent des protons nécessaires à leur métabolisme rendant le milieu plus basique.

Les figures V.24 et V.25 illustrent les résultats de la variation mensuelle et saisonnière du pH.



**Fig. V.24:** variation mensuelle du pH  
(période: 2000-2011).



**Fig. V.25:** variation saisonnière du pH  
(période: 2000-2011).

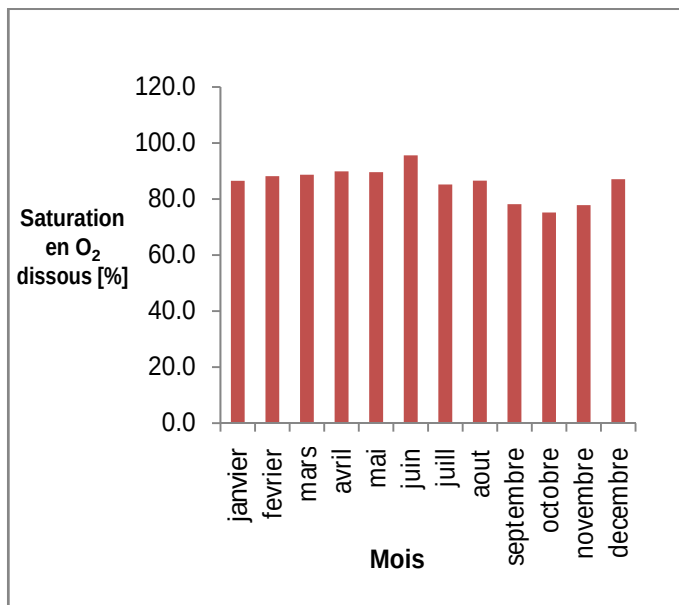
On constate que les valeurs mensuelles et saisonnières du pH restent légèrement basiques. Ce qui indique la présence d'une production algale au niveau de la retenue.

A partir des résultats de la figure V.25, on observe que les valeurs du pH, pendant la saison d'été, atteignent le maximum (pH=7.9).

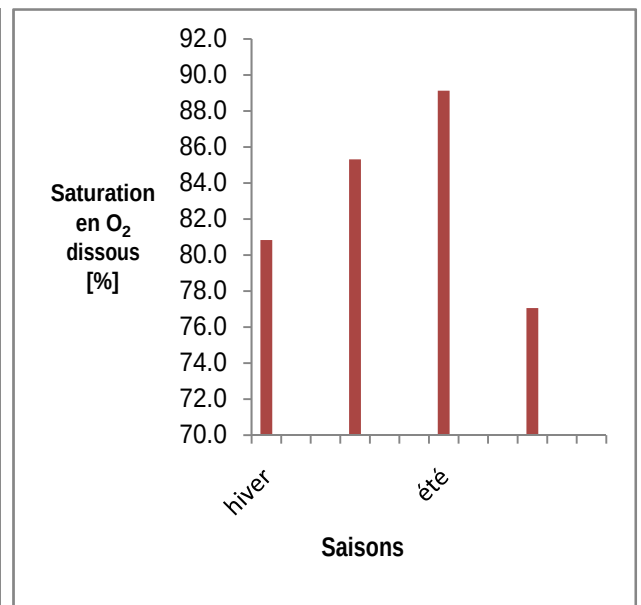
### 2.3.1.3. Oxygène dissous :

La photosynthèse effectuée la journée par les organismes chlorophylliens (algues ou macrophytes) produit de l'oxygène. La nuit, la respiration de l'ensemble des organismes et la dégradation de matières organiques par les bactéries consomment de l'oxygène. En présence du phénomène d'eutrophisation, la grande quantité d'organismes provoque de fortes variations de la quantité d'oxygène dans l'eau.

Les graphes correspondant aux figures V.26 et V.27 montrent la variation de la saturation en oxygène dissous dans la retenue de SMBA.



**Fig. V.26:** variation mensuelle de la concentration de l'oxygène dissous (période: 2000-2011).



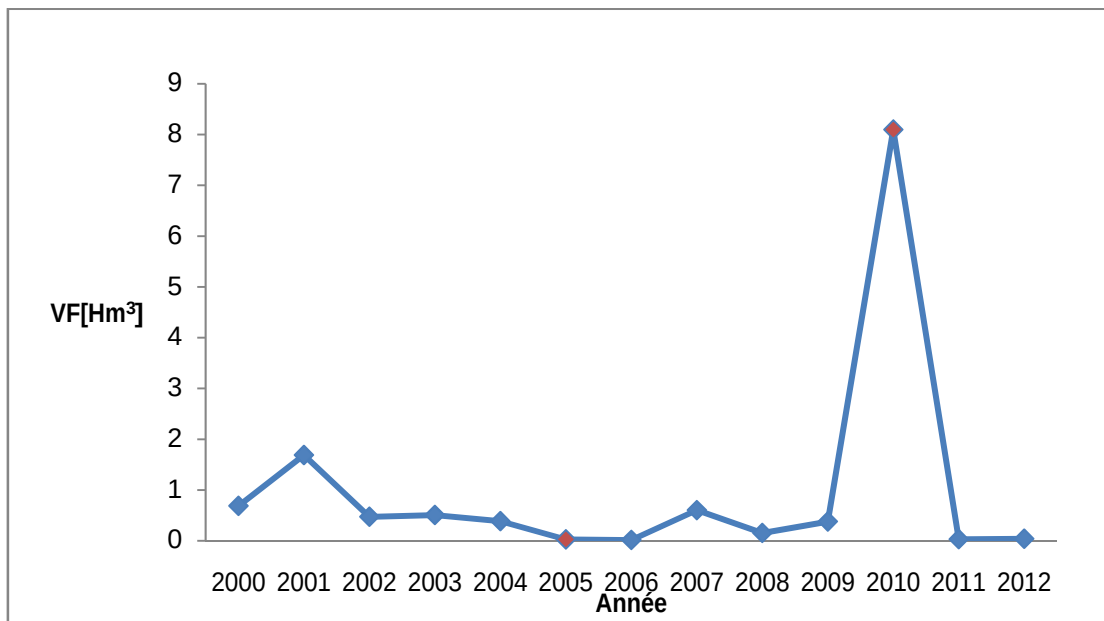
**Fig. V.27:** variation saisonnière de la concentration de l'oxygène dissous (période: 2000-2011).

Le taux de saturation en oxygène des eaux dans le barrage représente des pourcentages élevés, varie de 75 à 95% par mois. Ce qui reflète un milieu pratiquement riche en oxygène.

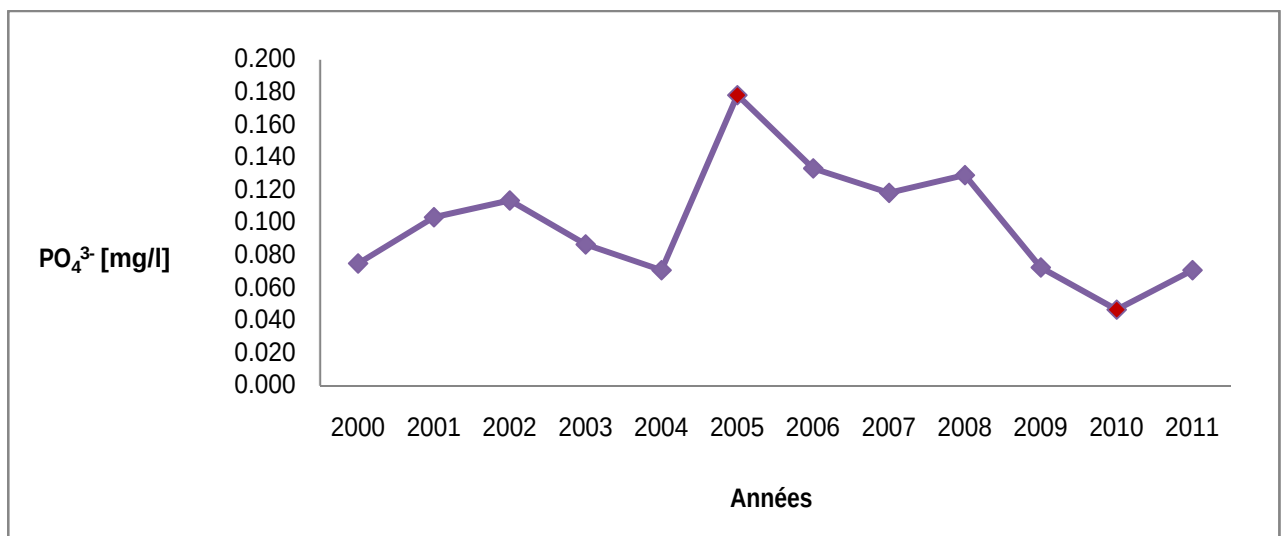
Nous constatons que pendant les saisons d'été et d'automne, le milieu aquatique devient plus riche en oxygène dissous. Ce qui confirme un développement algal important produisant une quantité élevée d'oxygène.

#### 2.4. Relation entre le volume de la vase chassée et la concentration résiduelle du phosphore dans les eaux de barrage SMBA :

La figure V.28 représente le volume de la vase chassée par les vannes de fond du barrage SMBA en fonction du temps.



*Fig. V.28: Variation annuelle du volume de dévasement pendant le Vidange de fond du barrage SMBA en fonction du temps (période: 2000-2012).*



*Fig. V.29: Evolution annuelle de la concentration du phosphore PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (période:2000-2011).*

A partir de la figure V.28 et la figure V.29 qui illustre la variation annuelle de la concentration du phosphore dans les eaux de barrage SMBA, on constate que :

- En 2005 : l'absence de la vidange de fond a été traduit par une teneur excessive en phosphore dans la retenue (concentration de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> = 178µg/l).

- En 2010 : un volume exceptionnel de vase a été chassé [ $VF=8 \text{ Hm}^3$ ] et qui a été accompagné par une concentration très faible en phosphore (concentration de  $\text{PO}_4^{3-}=47\mu\text{g/l}$ ), durant les années d'exploitation du barrage.

Il nous apparait qu'il existe une relation entre la concentration de phosphore et le volume de la vase déposé au fond du barrage. Le volume de la vase éliminé par la chasse de fond a permis de réduire le taux de phosphore particulaire qui se trouve sous une forme précipitée dans la vase. L'élimination du volume de phosphore précipité limite la concentration de phosphore dissous dans la retenue de barrage SMBA. Ceci nous laisse conclure que la présence de la vase dans la retenue de barrage augmente la teneur en phosphore dans les eaux. En effet, tous les auteurs s'accordent à affirmer que le phosphore est considéré comme facteur limitant du phénomène d'eutrophisation. Par conséquent, notre barrage est exposé à ce phénomène.

Les photos qui ont été prises sur le site du barrage montrent clairement que celui-ci est affecté par cette pollution (voir photos V.3, V.4 et V.5 ci après)



Photo V.3: Apparition de l'eutrophisation dans le barrage SMBA, 2013.





Photo V.4: Apparition de l'eutrophisation dans le barrage SMBA, 2013



Photo V.5: Apparition de l'eutrophisation dans le barrage SMBA, 2013.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.



## CONCLUSION GENERALE :

A la lumière des résultats obtenus dans cette modeste étude qui a consisté à évaluer l'état trophique du barrage SMBA, l'impact de la présence de la vase sur la qualité de ses eaux ainsi que l'impact de chaque paramètre sur la détérioration de la qualité du milieu aqueux, nous pouvons conclure ce qui suit :

- le bassin versant étudié représente un relief relativement doux caractérisé par une formation lithologique avec la dominance des marnes et des limons sensibles à l'érosion hydrique, explique l'intensité des apports de particules fines au niveau de la retenue ;
- l'absence de la végétation ou la dominance d'un couvert légèrement résistant aux agents érosifs augmente le risque des pertes de sols de bassins versant de la Mina ;
- la retenue du barrage SMBA est exposée à des problèmes qui menacent la capacité de stockage et la potabilité de ses eaux : l'envasement, l'évaporation et l'eutrophisation ;
- Durant 25 ans d'exploitation (1978-2003), 34% de son volume réservé au captage d'eau a été perdu et occupé par les quantités énormes de la vase ;
- Le climat semi-aride est responsable d'une perte de 7% du volume d'eau retenu chaque année suite à une évaporation agressive ;
- La présence de la vase au fond du barrage a participé à l'apparition de l'eutrophisation de ses eaux. Les photos qui ont été prises sur le site du barrage montrent clairement que celui-ci est affecté par cette pollution. Ses conséquences directes et indirectes sont nombreuses et préoccupantes y compris pour la santé publique (toxicité directe de certaines cyanobactéries) ;
- La concentration en phosphore à différentes échelles appartient à la classe eutrophe. Ce qui exprime un apport excessif en nutriment dans la retenue de SMBA. La surface du bassin versant est caractérisée par la dominance des activités agricoles, ce qui nous laisse dire que l'eutrophisation dans le bassin de l'Oued Mina est d'origine agricole ;
- Les données annuelles et mensuelles du pH et de l'oxygène dissous ne montrent pas l'état trophique dans le barrage d'une façon précise car l'effet d'une prolifération algale sur ces deux paramètres apparaît sur l'échelle horaire et en fonction de la stratification thermique de la retenue ;

- le phosphore est un élément essentiel aux organismes vivants notamment les algues. Donc c'est un facteur limitant sur le quel nous pouvons maîtriser l'eutrophisation par des solutions curatives pour limiter son transfert vers le réseau hydrographique : des traitements de déphosphatation pour maîtriser des rejets ponctuels et un aménagement du territoire pour les rejets diffus.

En fin il avait été souhaitable de poursuivre cette étude sur une période plus longue et effectuer les dosages réguliers (horaire, journalier, en fonction de la profondeur du barrage) des différents paramètres de suivi de la qualité des eaux de la retenue notamment le phosphore sous toutes ses formes, les nitrates, la silice, la transparence, le dénombrement des algues, la concentration en chlorophylle (a) ...dans les eaux et dans la vase.

Afin de protéger et préserver les ressources naturelles et les sols, pour les générations futures, il est primordial que l'État essaye de lancer dans cette zone de Sidi M'hamed Ben Aouda, des études afin de suivre le phénomène d'eutrophisation dans le barrage SMBA et diminuer les pressions anthropiques sur la ressource. Il est fondamental que ces études s'axent sur des analyses permettant l'évaluation de l'eutrophisation spécifiques à la région. Il faut que les responsables et la population de la région continuent à combattre l'érosion avec tous les moyens d'aménagement disponibles dans le cadre des projets de développement durables et par la sensibilisation sur les conséquences désastreuses de ce fléau.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.