

M0032/97A

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHER CHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
D'EL-HARRACH

Département d'Hydraulique

**THESE DE MAGISTER**

Présentée par:

**CHOUFI LATIFA**

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'EFFET DE LA  
VASE SUR LE PHENOMENE DE L'EVAPORATION**

Soutenue le .....1997 Amphi IV devant le Jury composé de :

Président: Mr KERBACHI

Professeur ENP Alger

Rapporteurs: Mr KETTABA

Professeur ENP Alger

Mr REMINLB

Maitre de Conférences U.Blida

Examineurs: Mlle BENMAMAR.S

C. de Cours ENP Alger

Mr BERKANI .M

C. de Cours ENP Alger

Mr NAKIB.M

C. de Cours ENP ALger

## AVANT - PROPOS

Cette étude expérimentale a été effectuée au laboratoire du département d'hydraulique de l'Ecole Nationale Polytechnique d'El-harrach, en vue de l'obtention du diplôme de Magister.

La modeste contribution que constitue ce mémoire de thèse n'aurait sans doute pu être réalisé sans le concours, les compétences et la bienveillance d'un certain nombre de personnes que je dois remercier.

J'adresse toute ma reconnaissance à Monsieur KETTAB A. pour son aide permanente durant toute ma formation de graduation et Post-graduation, ses conseils avisés m'ont toujours été profitables.

J'exprime ma reconnaissance la plus profonde pour Monsieur REMINI B. qui m'a confié ce sujet de recherche et m'a guidé dans mon travail expérimental.

Je remercie également monsieur le Professeur d'EMERITE C. THIRRIOT qui m'a évalué ce travail. Les échanges de vue que j'ai eu avec lui pendant mes séjours à Toulouse ont été particulièrement fructueux et utiles.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à Monsieur le président ainsi que les membres qui ont accepté de juger mon travail et de me faire l'honneur de participer au jury.

Mes sincères remerciements vont à Melle BENMAMAR S. Chef de département pour avoir accepté de juger mon travail, pour son aide précieuse et son investissement personnel malgré ses nombreuses activités pédagogiques et scientifiques et administratives.

Je n'oublie pas de remercier vivement Monsieur MERZOUK L. Directeur de l'institut de Génie Civil (Université de Constantine) pour les facilités qui m'a apporté pour que je puisse achever mon étude expérimentale à l'E.N.P d'El-Harrach.

Mes remerciements s'adressent également à toutes les personnes qui m'ont assistées et ayant contribué à la finalisation de ce travail, sans leur collaboration je n'aurais pas pu le mener à bon terme, je leurs suis reconnaissante et redevable d'une aide constante et cordiale notamment : Doudja, Dalila, Saïd, Djazia.

## RESUME

L'envasement et l'évaporation sont deux phénomènes fondamentaux qui entraînent une perte considérable en eau stockée des retenues. Dans ce sens, une étude expérimentale et des analyses ont été menées dans le but d'une mise au point et afin de vérifier les effets de la composition chimique et granulométrique de la vase sur le phénomène de l'évaporation.

Les résultats obtenus ont montré que la nature de la vase influe directement sur l'accélération de l'évaporation en plus des paramètres climatiques naturels.

**Mots clé:** Barrage, vase, dépôt, retenue, évaporation naturelle.

## ABSTRACT:

The siltation and the evaporation are two fundamental phenomenons which carried a considerable loss in reserve water of the restraints.

In this sense, a tentative survey and some analyses was led in the goal of clarification and in order to verify the effects of the chemical composition and granulometry of the silt on the phenomenon of the evaporation.

The gotten results showed that the nature of the silt influences directly on the acceleration of the evaporation in addition some natural parameters chigmatic.

## KEY WORDS:

Dam, Silt, Deposit, reservoir, Naturel évaporation

## ملخص:

التوحد و التبخر ظاهرتان أساسيتان تؤديان إلى نقص معتبر في كمية المياه المذخرة داخل السدود.

ضمن هذا الإطار دراسة تجريبية و تحاليل أقيمت للتحقق حول أثر المركبات الكيميائية و تركيزات غرين الاوحال المترسبة في الجهة الميتة للمصب على ظاهرة التبخر.

نتائج التجارب توّضح أن نوعية الوحد تأثر مباشرة على سرعة التبخر زيادة على الظواهر الجوية الطبيعية.

## LISTE DES FIGURES

Fig -1 Organigramme du cycle de l'eau et des apports solides dans la retenue

Fig I-1 Comportement des apports solides dans une retenue

Fig I-2 Schématisation du dépôt solide

Fig I-3 L'étude du cycle des sédiments

Fig I-4 Diagramme illustrant le processus de tassement

Fig II-1 : Localisation de l'évaporation

Fig II-2 : Atmomètre

Fig II- 3 : Bac d'évaporation

Fig III-1 : Dispositif expérimentale

Fig III-2: Empilage de tamis.

Fig IV- 1 : Variation temporelle de l'évaporation de l'eau en présence de la vase 1.

Fig IV-2 : Variation temporelle de l'évaporation de l'eau en présence de la vase 1 et du sable.

Fig IV-3 : Variation temporelle de l'évaporation de l'eau en présence de la vase 3 et 2 .

Fig IV- 4 : Variation temporelle de l'évaporation de l'eau en présence de la vase 4 et 5

Fig IV -5 : Variation temporelle de l'évaporation de l'eau en présence de la vase 1 en quantité différente.

Fig IV -6 : La courbe granulométrie des vases étudiées [1,2,3]

Fig IV- 7 : La courbe granulométrique des vases étudiées.[4,5,6]

Fig IV-8 : Taux d'évaporation en fonction du pourcentage d'argile

Fig IV- 9: Taux d'évaporation en fonction du pourcentage de limon fin

Fig IV-10 : Taux d'évaporation en fonction du pourcentage de limon grossier

Fig IV- 11 : Taux d'évaporation en fonction du pourcentage du sable fin

Fig IV- 12 : Taux d'évaporation en fonction du pourcentage du sable grossier.

Fig IV- 13: Vitesse d'évaporation en fonction de la matière organique.

Fig IV- 14 : Vitesse d'évaporation en fonction du carbonate .

Fig IV- 15: Vitesse d'évaporation en fonction de l'azote.

Fig IV- 16: Vitesse d'évaporation en fonction du carbonate de calcium.

Fig IV- 17 : Vitesse d'évaporation en fonction de la conductivité électrique.

Fig IV- 18 :Vitesse d'évaporation en fonction du potassium total.

Fig IV - 19 : Vitesse d'évaporation en fonction du PH.

Fig IV- 20 : Vitesse d'évaporation en fonction du poucentage de saturation.

Fig IV- 21 : Vitesse d'évaporation en fonction des Sulfates.

Fig IV- 22 : Vitesse d'évaporation en fonction du Bicarbonates.

Fig IV- 23 : Vitesse d'évaporation en fonction du Chlorures.

Fig IV- 24 : Vitesse d'évaporation en fonctions du Calcium.

Fig IV- 25 : Vitesse d'évaporation en fonction du Magnesium.

Fig IV - 26 : Vitesse d'évaporation en fonction du Sodium.

Fig VI - 27 : Vitesse d'évaporation en fonction du Potasium.

## TABLEAUX

Tab.I.1. Envasement des barrages en Algérie.

Tab.I.2. Différent aspect du transport solide.

Tab.II.1. Evaporation des barrages Algériens.

Tab.III.1. Granulométrie de la vase étudiée.

Tab.III.2. La composition chimique des vases étudiées.

Tab.III.3 La composition chimique de la vase étudiée ( Bilan ionique).

# INTRODUCTION

## INTRODUCTION

L'eau continue à présenter pour l'humanité un des problèmes les plus lourds et les plus importants. Jamais comme ces dernières années, les problèmes hydrologiques n'ont autant intéressés les autorités, l'opinion publique et même les techniciens.

On se plaint du manque d'eau dans la mesure où elle est matière pour toute forme de développement, dont les demandes les plus importantes proviennent de l'agriculture et de l'industrie. Demandes qui sont en augmentation continuelle face à des disponibilités qui sont souvent largement insuffisantes.

On se plaint aussi des caprices de l'eau quand les crues troublent la tranquillité des barrages et transportent des matières solides, en réduisant la capacité du stockage de la retenue d'eau.

Face à ces nombreux problèmes sans cesse croissants, les spécialistes ont accordé une importance de plus en plus grande à l'envasement des réservoirs qui reste parmi les études les plus complexes, en raison de la multiplicité des paramètres.

Ce phénomène de comblement des retenues a suscité de nombreux travaux de recherche, il est devenu capital, vu son importance dans l'approvisionnement en eau potable et en irrigation.

En Algérie, la durée de vie de beaucoup de barrages est de l'ordre d'une trentaine d'années à cause de l'alluvionnement massif [29].

Il est à noter que chaque année l'infrastructure hydraulique Algérienne est amputée d'une capacité estimée à des millions de mètres cubes.

Nombreux étaient, et sont les chercheurs qui s'y intéressaient et ont contribué à la compréhension du problème d'envasement, mais sans tenir compte d'un phénomène naturel qui fournit progressivement des quantités importantes de l'eau à l'atmosphère sous forme de vapeur ce phénomène est appelé « l'évaporation ».

Peut-on compter sur les petites réserves d'eau superficielles stockées dans les retenues en climat tempéré ? Mais qu'en reste-t-il en zone aride et semi-aride, où l'évaporation est capable d'enlever jusqu'à trois mètres par an sur un plan d'eau libre [36]. Dans ce contexte très vaste que se situe notre travail de recherche qui consiste à une contribution à l'effet de la nature de la vase atterrissant dans la retenue et le phénomène de l'évaporation [fig 1].

A cet effet, notre étude a fait l'objet d'une série d'expériences sur les échantillons prélevés dans différents endroits.

Nous nous sommes intéressés non seulement à l'aspect climatologique mais aussi à la nature de la vase utilisée.



Ce travail est divisé en quatre chapitres :

Dans les deux premiers chapitres, nous avons présenté une étude sur l'origine de la vase, le mode de transport des apports solides et leurs origines, avec les paramètres influençant le phénomène de l'évaporation.

Le troisième chapitre est consacré à la partie expérimentale, suivie des analyses granulométriques et chimiques de ces échantillons.

Le quatrième chapitre, nous présentons, analysons et discutons ces résultats expérimentaux avec une conclusion.

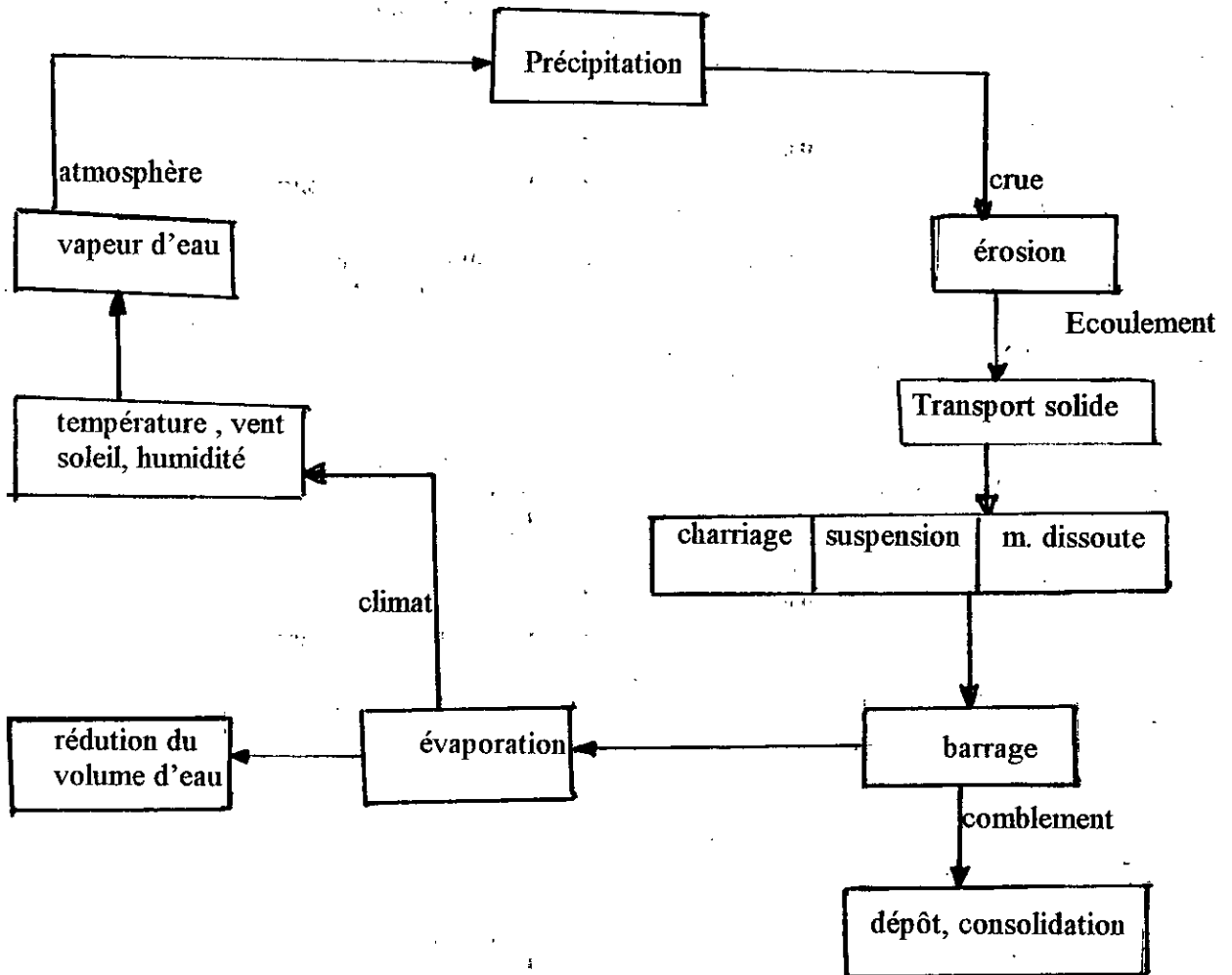


Fig-1 Organigramme du cycle de l'eau et des apports solides dans la retenue

# PREMIER CHAPITRE

## ORIGINE DE LA VASE

## ORIGINE DE LA VASE

### I-1 HISTORIQUE :

Les barrages comptent parmi les plus anciennes constructions . Aux environs de 2900 avant J.C le pharaon MENES, fondateur de la première dynastie égyptienne aurait barré le Nil pour construire en maçonnerie un barrage d'environ 15 mètres de hauteur et 450 mètres de longueur.

Vers 750, avant J.C , fut édifié le barrage de SUDD AL ARIM sur l'Oued DHANA à SABA, d'une hauteur de 4 mètres et 600 mètres de long. Il fut surélevé plusieurs fois, sans doute à cause de l'alluvionnement du reservoir qui diminuait la capacité disponible destinée à l'irrigation [6].

Les grecs accomplirent peu de choses en matière de barrages ou de travaux hydrauliques

Les romains semblent avoir entrepris la construction des barrages tardivement et surtout dans les provinces [Turquie, Tunisie , Espagne notamment ] .

Au moyen âge, le centre de l'activité de la construction des barrages s'éloigna vers l'extrême orient en particulier vers la Chine et le Japon.

De nombreux ouvrages furent construits en Inde, à Ceylan, au Veitnam ainsi que dans les pays de culture Arabe.

Au 15 ième siècle, l'Europe de l'Ouest devient le centre le plus actif dans la construction des barrages.

D'après les pays membre du Comité Internationale des Grands Barrages [ C.I.G.B], le nombre d'ouvrages de plus de 15 mètres de hauteur existant actuellement et construits à diverses époques est de 450 barrages [4].

Le problème de l'alluvionnement des barrages préoccupe beaucoup de chercheurs, de part le monde , de nombreuses équipes ont réalisées des travaux de recherche et d'études pour mieux comprendre le mécanisme du transport solide et sa conséquence sur l'exploitation des retenues.

Au début du 20 ième siècle, d'autres études ont été menées afin de faire une mise au point d'une nouvelle méthodologie d'étude, de modélisation et de lutte. Dans ce sens, nous donnons un aperçu sur l'envasement des barrages à travers quelques pays dans le monde.

En URSS, dans la ville de Georgia , nous citons la capacité de stockage de la retenue de Lajanuri Hydrochéne qui est de l'ordre de  $25 \text{ Mm}^3$  . Celle a été diminué de  $6.1 \text{ Mm}^3$  durant les sept (07) premières années de son existence, ceci est expliqué par un taux d'envasement de 10.8% par an [12].

Selon HWANG, le réservoir de Jeansanpei avait une capacité de  $7 \text{ Mm}^3$  avec un taux moyen annuel d'envasement de  $0.233 \text{ Mm}^3$  durant 18 ans. Les prochaines 25 années, ce taux serait réduit à  $1200 \text{ m}^3$  seulement. Alors que le réservoir de HOKU avait une capacité de stockage de  $5.44 \text{ Mm}^3$  et les sédiments annuels dans le courant est de  $0.8 \text{ Mm}^3$  [12].

Aux Etats Unis , l'alluvionnement représente 1200 millions de tonnes par an et la perte des sols peut être diminuée.

En Inde, pour la retenue Tungabhadra , entre 1953 et 1963, l'envasement annuel représentait  $50.47 \text{ Mm}^3$  il est passé à  $16 \text{ Mm}^3$  entre 1972-1978 avec un taux d'alluvionnement actuel de 0.5-1% [4]. D'un autre côté, la retenue de Power House N°2 KUNDAH PALAM FORELEXY avait la capacité initiale de  $4.75 \text{ Mm}^3$  et a été réduit à  $0.096 \text{ Mm}^3$  au dessus de la période de (07) sept ans. Cela représente en moyenne annuelle de  $0.11 \text{ Mm}^3$  avec un volume déposé de l'ordre de  $0.02 \text{ Mm}^3$  [12]. Par ailleurs, le réservoir de Baira avait une capacité initiale de stockage de  $2.4 \text{ Mm}^3$  avec un taux moyen annuel en sédiments est estimé à  $0.092 \text{ Mm}^3$  et ce pendant une année et demi [4].

Au Japon la perte en eau représente 6.3% pour les retenues de plus de 1 million de mètres cubes de volume initial [4].

Nous pouvons également nous faire une opinion en considérant l'apport annuel en sédiments des bassins versants:

- En Suisse l'apport annuel en sédiments varie de 100 à  $1000 \text{ m}^3/\text{Km}^2/\text{an}$  [4].

- Au Maroc il est de l'ordre de  $2500 \text{ m}^3/\text{Km}^2/\text{an}$  [4].

En Chine, de grandes variations en apports solides sont constatées de  $2000-9000 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$  pour la province de Taiwan et de 20 000 - 35000 tonnes / $\text{Km}^2/\text{an}$  pour certains affluents du fleuve jaune.

Au Venezuela, KRUMDIEK et CHAMOT avaient cité le réservoir de Santo Domingo qui avait un stockage total de  $3 \text{ Mm}^3$  et le maximum de sédiment annuel dans l'écoulement est de  $0.167 \text{ Mm}^3$  dont  $0.575 \text{ Mm}^3$  de sédiments se déposent en trois (03) jours [12].

Au Portugal, la perte annuelle de stockage liée à l'alluvionnement représente 0.015 à 0.6% [4].

En Algérie, nous citons le cas du barrage de Oued El Fodda qui avait la capacité initiale de  $228 \text{ Mm}^3$  en 1932 à la date de sa construction. les calculs donnaient à cette date une durée de vie de 200 ans [3]. Le barrage a perdu son réserve inter-annuelle en 1990, avec un apport annuel moyen de  $80 \text{ Mm}^3$  dont  $0.66 \text{ Mm}^3$  d'apport solide qui venait de déposer chaque année dans la cuvette du barrage.

En 1964, sa capacité arrivait à  $150 \text{ Mm}^3$  ou le taux d'envasement a atteint 34%. En 1977, sa capacité est descendue à  $109 \text{ Mm}^3$  [3].

Pour les autres différents barrages Algériens , nous avons dressé le tableau suivant pour montrer le taux d'envasement [Tab I- 1].

Barrages	Oued	Surface du versant (ha)	Date de mise en service	Capacité initiale Mm <sup>3</sup>	Capacité calculée en 1967 Mm <sup>3</sup>	Perte de capacité donnée Mm <sup>3</sup>	Perte de capacité calculée Mm <sup>3</sup>	Erosion spécifique T/Km <sup>2</sup>	Envasement annuel moyen [Mm <sup>3</sup> ]	Taux d'envasement		Période en Année	Capacité en 1996 [Mm <sup>3</sup> ]
										calculé	donné		
Fergoug	El Hamam	566 00	1963	181	16.96	0	1.04	2300	0.26	12	0	4	9.42
Oued Fodda	O.El Fodda	80 000	1932	228	134.9	8.9	93	5300	0.66	40.8	39	35	57.76
Hamiz	Hamiz	139 00	1935	21.5	10.96	9.5	10.56	2400	0.33	49.1	44.2	32	1.37
F.ELGhorza	El abiod	130 00	1950	47	34.25	12	12.75	1600	0.75	27.1	25.5	17	12.5
Zardezas	Saf saf	33 000	1945	14.9	9.4	4.9	5.5	750	0.25	36.9	32.9	22	2.15

**Tab - I-1 ENVASMENT DES BARRAGES ALGERIENS**

## I-2 EROSION:

L'érosion est un phénomène géologique naturel , défini comme le détachement des fragments de particules, de leur position initiale par l'eau ou par d'autres agents géologiques [ le vent, les vagues, les variations brutales de la température ... etc).

Ce phénomène est très répandu en zone méditerranéenne et surtout en zone semi-aride. Il touche les pays du Maghreb particulièrement l'Algérie qui se classe parmi les pays les plus érodibles du monde avec un taux de 2000-4000 t/km<sup>2</sup>/an (10).

Ce phénomène naturel menace gravement les potentialités en eau et en sol. Il constitue le danger le plus dramatique des bassins versants, surtout si les conditions physiques et géomorphologiques sont favorables à son déclenchement telles que:

- La nature géologique du bassin versant .
- Le caractère torrentiel des précipitations .
- La pente.

La détermination des lois d'érosion dépend de la granulométrie, de la teneur en eau des sédiments et de la composition minéralogique.

### I-2-1 LES CAUSES DE L'EROSION

L'érosion est causée par un ruissellement superficiel aléatoire non contrôlé. Elle mobilise d'énormes quantités de débris et de matière solide, les entraînant jusqu'aux retenues, en provoquant une réduction remarquable de la capacité utile des réservoirs [30].

Les causes de l'érosion peuvent être soit naturelles, soit anthropiques.

Les Causes Naturelles sont :

- \* Agressivité climatique
- \* Morphologie du bassin
- \* Lithologie du bassin versant

Les Causes anthropiques sont :

- \* Couvert végétal
- \* Mode d'exploitation

### I-2-2 LES CONSEQUENCES DE L'EROSION

Les conséquences de l'érosion sont bien connues:

L'appauvrissement des terres agricoles et la réduction de la surface des terres cultivables de façon irréversible causant une grande perte dans la production végétale.

Le rehaussements des lits des cours d'eau entraînant des risques d'inondation.

La réduction par envasement de la capacité de la réserve en eau des barrages au rythme de 20 Mm<sup>3</sup>/an [30].

La destruction des routes et des ouvrages d'art en réduisant la rentabilité de la construction de ses équipements.

Beaucoup d'autres chercheurs ont étudié le phénomène de l'érosion en cherchant des moyens pour son élimination. Fourmarier a estimé les pertes en terre à travers le monde [30] à :

- Maghreb : 220 t/Km<sup>2</sup>/an
- Afrique : 715 t/Km<sup>2</sup>/an
- Asie : 610 t/Km<sup>2</sup>/an
- Europe : 84 t /Km<sup>2</sup>/an
- Amérique du nord et centrale : 491 t/Km<sup>2</sup>/an
- Amérique du sud et antilles : 70 t/Km<sup>2</sup>/an.

### I-3 APPORTS SOLIDES

Les sédiments pénétrant dans la retenue proviennent du bassin versant amont et sont transportés par les cours d'eau sous trois formes [ Tab I-2]

Dimension	Désignation	Zone concernée	Mode de Transport	Nature du phénomène
4 - 62 μ	Silts	Lac, retenue de barrage (zone morte)	Suspension courante de densité	Mécanique
0.2 - 4 μ	Vases	Lac estuaire littoral	Suspension courante de densité	Mécanique chimique physico
0.062 - 2 mm	Sables	Littoral, cours d'eau	Suspension, charriage	Mécanique
-64 mm	Graviers	Cours d'eau	Charriage	Mécanique
64 -250mm	Galets	Plage, rivière à forte pente torrents	Charriage	Mécanique
>250 mm	Blocs	Torrents à très forte pente.	Charriage	Mécanique

**Tab I-2 DIFFERENTS ASPECTS DU TRANSPORT SOLIDE**

## LE CHARRIAGE:

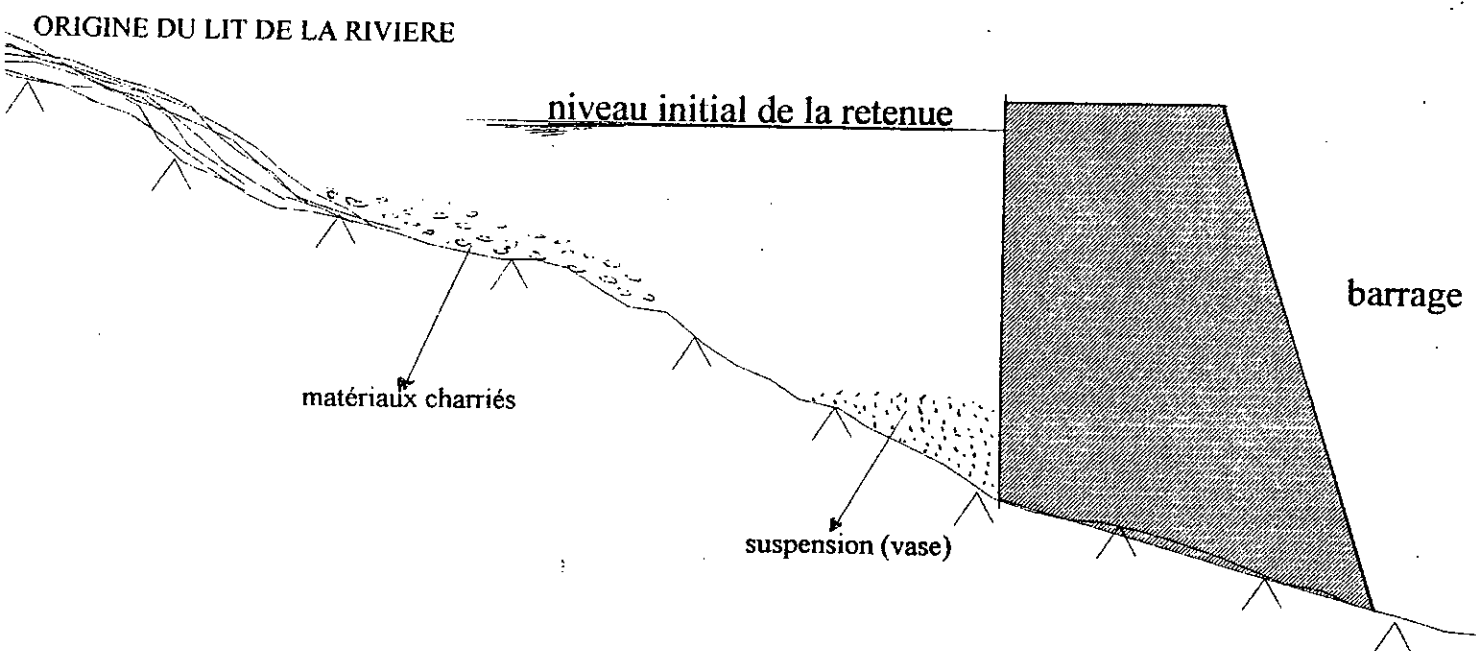
Ce type de transport concerne la matière minérale en phase solide plus particulièrement les éléments grossiers qui contribuent à la formation et à l'équilibre du lit, principalement la pente.

Ces particules grossières se déposent en amont de la retenue dans la zone du remous sous forme de delta.

## LA SUSPENSION

Le transport en suspension concerne les éléments fins du transport solides qui sont maintenues en suspension par la turbulence de l'eau et sont entraînés jusqu'au barrage. Elle progressent vers l'aval du remous et peuvent traverser la retenue soit en suspension colloïdale, soit en suspension par turbulence.

La suspension colloïdale n'entraîne qu'un faible pourcentage de la charge solide entrant dans cette retenue, alors que les autres modes de transport portent de grandes quantités [fig I-1].



**Fig I-1 COMPORTEMENT DES APPORTS SOLIDES DANS UNE RETENUE**



## LE TRANSPORT DISSOUS:

Ce transport constitue la matière dissoute des rivières. Il est composé à 99% des éléments majeurs  $[SO_4^{--}, HCO_3^-, Cl^-, Mg^{++}, Ca^{++}, Na^+, K^+]$ . Il peut être plus élevé que le transport solide surtout en hiver particulièrement en région tempérée.

De par sa définition, ce transport dissous n'intervient pas sa définition, le phénomène de l'alluvionnement des retenues [4].

## I-4 DEPOT SOLIDE

Les sédiments entrant dans une retenue franchissent le barrage et se déposent soit par décantation sur place, soit par le transport par les courants de densité qui se propagent dans le fond et vient s'accumuler dans la partie aval en formant une masse boueuse surmontée par l'eau claire. Cette masse se consolide peu à peu en l'absence d'un système de soutirage [21].

Les expériences effectuées ont montré que les sédiments déposés dans la retenue sont constitués exclusivement de la vase argileuse [29].

Les éléments sableux (grossiers) n'apparaissent qu'à proximité de la partie amont sous forme de delta où la granulométrie varie considérablement avec la profondeur [28] et le courant entrant subit une diminution de vitesse.

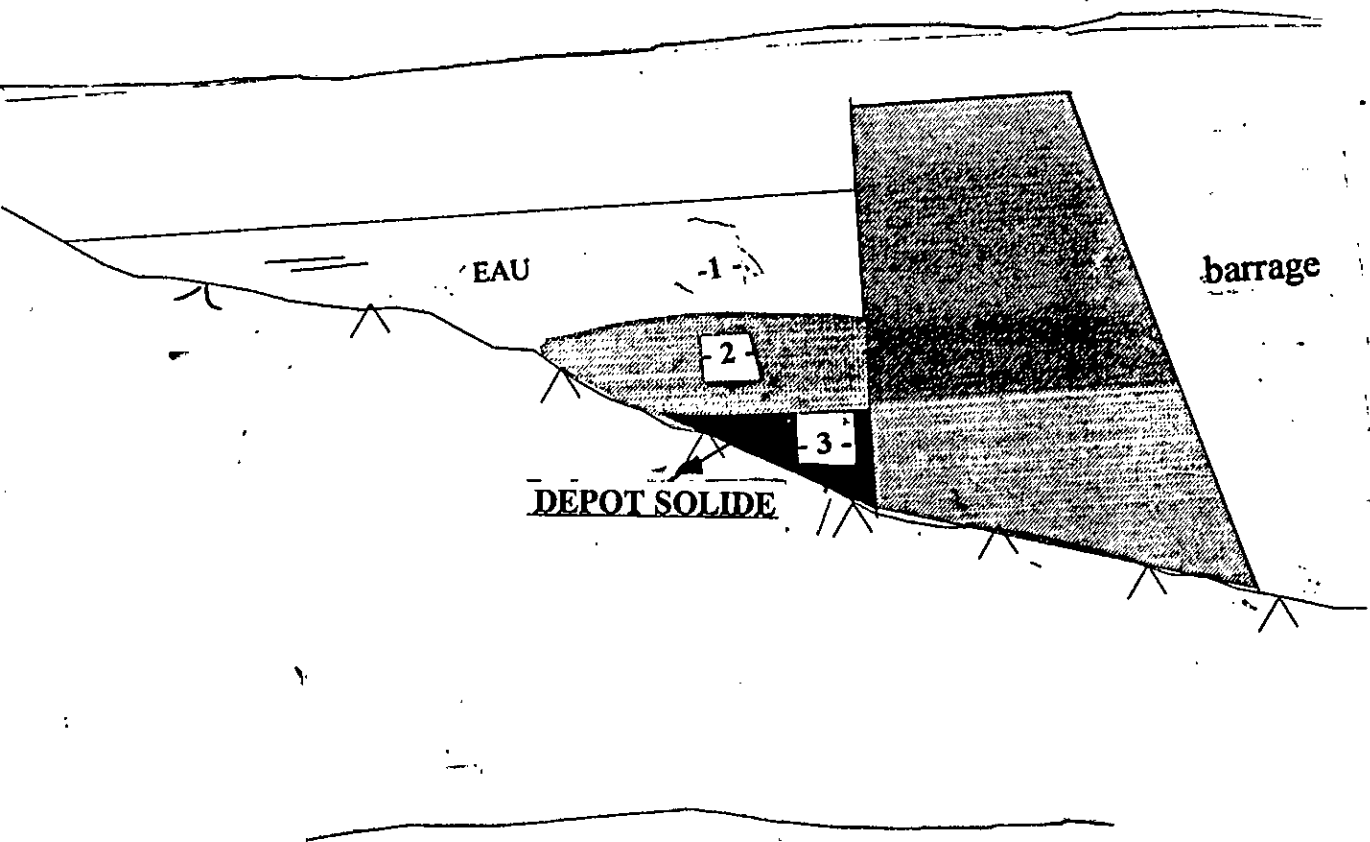
En général, les courants de densité se manifestent quand une couche fluide passe sous une couche de plus faible densité et deviennent importants. Ces courants ne peuvent contribuer au transport solide en quantité importante de sédiments que lorsque la concentration de ces derniers est élevée à l'entrée de la retenue : ceci ne se produit que si le débit entrant est élevé et susceptible de pénétrer profondément dans le barrage [30].

L'étude rhéologique des sédiments fins permet de déterminer des paramètres importants pour préciser le comportement des mixtures de vase afin de pouvoir définir par des valeurs les caractéristiques physiques d'un dépôt en cours de consolidation sous l'eau.

Le comportement macroscopique de la vase dans la retenue constitue néanmoins un fluide très particulier, dont l'étude est très recherchée par une observation de l'extérieur de différents phénomènes sans que n'intervienne aucune explication physique.

La figure I-2 représente la schématisation du dépôt solide, qui n'est pas loin de la réalité. Cette schématisation consiste à considérer le système (vase-eau) chargé comme un système multi-couche du point de vue rhéologique la couche N° 1 n'est pas trop chargée, et représente la couche supérieure de l'eau supposée claire et calme et considérée comme un fluide Newtonien [une très faible concentration]. La couche N°2 est une zone trouble et turbide, elle forme le dépôt [vase-fluide], elle est considérée comme un fluide de Bingham.

La couche N°3 est composée d'une vase hétérogène, où la distribution de la concentration de la vase en sédiment est fonction de la profondeur. Cette zone peut être considérée comme une zone multi-couche [32]. Elle peut être étendue de fond très vaseux et subit toute influence. Comme par exemple celle causée par la vidange du barrage.



**Fig I-2 SCHEMATISATION DU DEPOT SOLIDE**

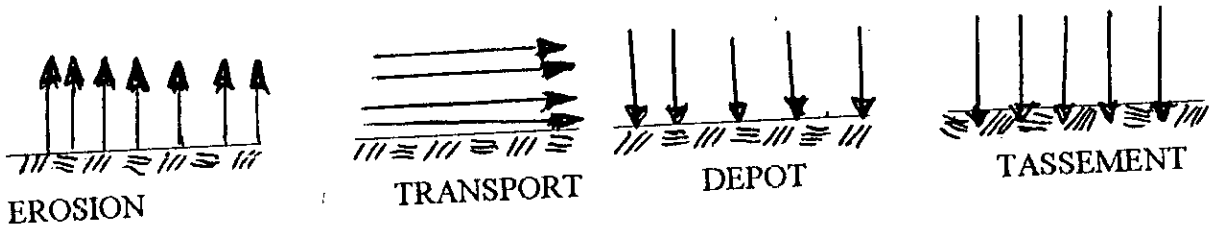
#### **4-1 FORMATION DE LA VASE**

Les vases provenant des matériaux fins se déposent par gravité sur le fond de la retenue. Elles se tassent et s'écrasent sous l'effet de leur propre poids perdant progressivement une partie de leur eau de structure avec élimination de leur eau interstitielle (voir expérience).

Ces vases se décantent et se regroupent par agrégats, elles forment un milieu aqueux complexe "sol-eau" essentiellement variable dans le temps [30].

Ces vases sont susceptibles de former des coulées boueuses avec les parties les plus basses de la retenue [fig.I.2].

Lorsqu'elles sont stabilisées et en l'absence du mouvement, elles se consolident et deviennent de plus en plus difficiles à extraire. Elles varient beaucoup en masse et en volume, en fonction de la source, de la profondeur, du dépôt et du degré de submersion [32].



**Fig-I-3 L'ETUDE DU CYCLE DES SEDIMENTS**

**4 - 2 TASSEMENT DE LA VASE**

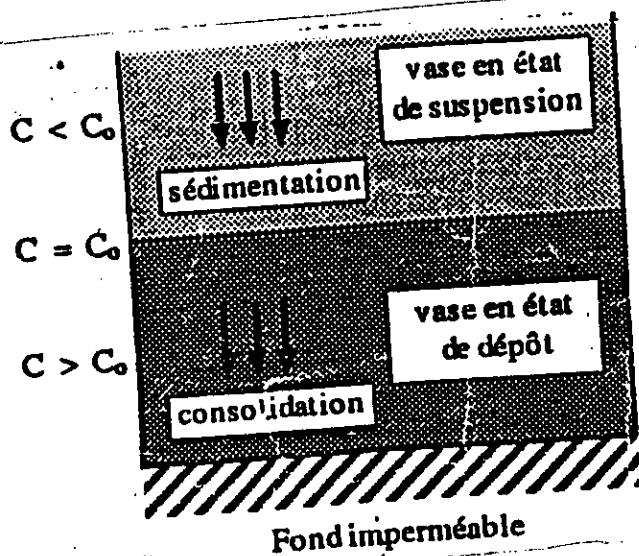
Les expériences effectuées sur la vase ont montré que le tassement est un phénomène très lent [28] qui dépend de nombreux paramètres tels que :

- La dimension de la particule formant le dépôt
- La température de l'eau
- Le pourcentage de sable contenu dans la mixture
- La forme de la particule.

Le tassement de la vase se traduit par la variation, en fonction du temps, de la profondeur, de la concentration en sédiments ou de la teneur en eau [28].

Le comportement des sédiments très fins du type vases et limons est très complexe, par suite, des variations de leurs propriétés physiques au cours du temps [fig I-4].

La connaissance des conditions de tassement et des variations rhéologiques des dépôts de vase est donc un élément primordial pour toutes les études d'envasement d'un site, qu'il soit d'une retenue, d'une installation de décantation ou d'épuration d'eau [28].



**Fig I-4 DIAGRAMME ILLUSTRANT LE PROCESSUS DE TASSEMENT**

## I - 5 CONCLUSION

Ce chapitre constitue une étape de la description du processus de la sédimentation montre que:

- L'érosion est un phénomène géologique naturel qui se produit en tout lieu . Il menace gravement l'infrastructure hydraulique du pays.
- L'origine du transport solide en suspension se traduit par un comblement des retenues en diminuant considérablement la vie des barrages en réduisant la capacité de stockage de l'eau.
- Le problème de tassement des vases est particulièrement aigu et complexe . Il se pose surtout au concepteur des barrages causant des dommages aussi bien à l'ouvrage qu'à l'environnement.
- La lutte contre le comblement des retenues et la mesure de l'efficacité de son traitement permettent de combattre efficacement les effets érosifs ce qui permet d'allonger la durée de vie des ouvrages et de préserver la quantité et la qualité de l'eau stockée

# **DEUXIEME CHAPITRE**

## **L'EVAPORATION**

# EVAPORATION

## II - 1 INTRODUCTION

Le problème de déplacement de l'eau dans un milieu poreux a toujours été l'un des plus cruciaux dans différents domaines. Ce déplacement ne peut être dû, qu'à un gradient de pression, ou à un gradient de température soit aux deux à la fois.

Ce problème a préoccupé les chercheurs depuis le début de ce siècle notamment DALTON [33] qui a touché à la nature et aux propriétés des vapeurs en général. Il a mis au point diverses expériences permettant de déterminer les facteurs dont dépend l'évaporation naturelle.

En effet en 1909 déjà, PATTEN en mesurant les conductivités du sol a découvert ce phénomène [33].

En 1915, BOUYOUGOS a été le premier à avoir étudié l'évaporation et a trouvé que le transfert de l'eau s'effectuait vers la partie froide et qu'il était maximum pour certaines teneurs en eau voisines de la limite de plasticité [33].

En 1943 SMITH a trouvé que le déplacement se fait en phase liquide [33].

La même année GWARKIN et MACLEAN [33] ont montré que l'intensité de déplacement de l'eau augmentait avec celle du gradient de température.

En 1952 HENDERSON a étudié l'effet de la température sur la mobilité de l'eau absorbée et a trouvé l'expression de la variation de la tension inter faciale avec la température.

En 1975, HABIB et SOEINO [33] ont repris le problème du point de vue expérimental et ont trouvé que l'eau se déplace du côté chaud vers le côté froid. Pendant la même année DAMAGNES a étudié la diffusion de la vapeur d'eau dans l'atmosphère à partir de la surface d'un sol et la concentration qui s'effectue dans le sens inverse afin de trouver des sources secondaires d'approvisionnement en eau dans les sols en région à climat sévère.

En 1977, BACON et BORIES [32] ont étudié par voie expérimentale et numérique, le transfert d'humidité sur des échantillons imperméables soumis à des faibles gradient de température. Ils ont trouvé une bonne concordance entre les résultats numériques et expérimentaux. Plusieurs chercheurs ont apporté et continuent d'apporter leur contribution pour une meilleure compréhension : l'Hydrologue veut connaître l'évaporation totale d'un réservoir, le météorologue étudie l'influence de l'évaporation terrestre ou maritime sur les mouvements atmosphériques. Alors que l'ingénieur spécialiste cherche à prévoir l'évaporation dans les retenues, les canaux et les bassins [1].

Nous avons dressé un tableau regroupant l'évaporation de l'eau estimée à des millions de mètres cubes de quelques barrages Algériens [ tab II-1].

Barrages/années	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
FERGOUG	4.3	2.5	2.5	2.8	2.9	2	2.5	2.4	1.75	1.6	1.15
MEFROUCH	1.2	0.5	0.03	0.3	1.22	1.8	0.6	0.4	1.53	1.4	1.0
BOUHARIF	5	5.4	2.6	4.9	3.9	3.6	2	3.5	5.2	4.0	2

**Tab II- 1 EVAPORATION DE L'EAU AU NIVEAU DES BARRAGES ALGERIENS**

## **II - 2 DEFINITION**

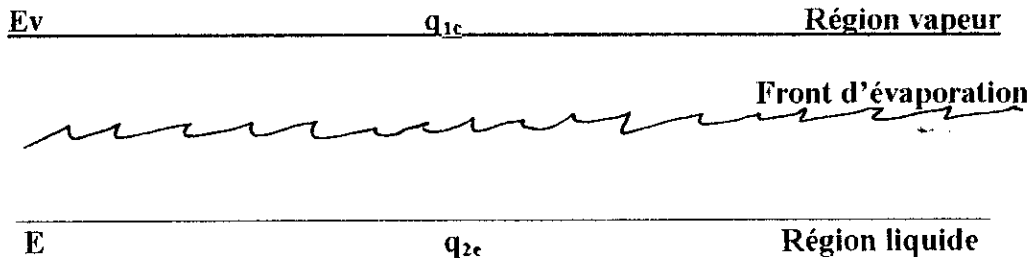
L'évaporation représente la quantité d'eau qui, par le processus de diffusion, se trouve dissipée sous forme de vapeur dans l'atmosphère et perdue pour la surface évaporante [fig II-1].

Ce phénomène naturel présente une différence marquante suivant qu'il s'agit d'une surface évaporante inerte [lac, retenue, sol ...] ou une surface biologique [plante] [36].

En effet, si on considère une surface inerte donnée, l'évaporation de cette surface sera parfaitement définie et par conséquent toujours identique, si les conditions extérieures énergétiques et mécaniques sont les mêmes ainsi que l'état hydrique de la surface [Perrier 1975].

La quantité d'eau évaporée par an est tout à fait variable, suivant les points du globe et de l'année : faible en hiver et augmente avec la saison chaude d'où son maximum se situe entre 12h - 15h. Il est de 4 à 5 fois plus fort que le minimum, alors que les 12 heures de nuit ne donnant que le  $\frac{1}{4}$  de l'évaporation journalière [14].

En Juin et Juillet l'évaporation est de 77 mm - 78 mm en région tempérée et elle arrive à 5 mm pendant le mois de Décembre [14].



**Fig II - 1 LOCALISATION DE L'EVAPORATION**

- $q_{1c}$  : L'énergie rentrante dans l'interface par conduction  
 $q_{2c}$  : L'énergie sortante par conduction de l'interface  
 $E_v$  : L'énergie passant à la région par vapeur par convection.

### **II- 3 LES PARAMETRES INFLUENÇANT L'EVAPORATION**

L'évaporation sur une surface libre d'eau nécessite l'intervention et l'équilibre de plusieurs facteurs dans la zone où elle se produit.

Il est clair que la défaillance de ces facteurs dans la zone considérée peut y entraîner la diminution progressive du phénomène [34]. Ces paramètres sont:

#### **II - 3- 1 LA TEMPERATURE**

Comme la tension de vapeur saturante de l'eau augmente avec la température, le taux d'évaporation croît avec la température de l'eau ou de la surface évaporante.

#### **II - 3-2 LE RAYONNEMENT SOLAIRE**

C'est le temps pendant lequel le soleil brille et arrive à la surface libre sous forme directe et diffusée. Si ce rayonnement solaire est intense, l'évaporation serait grande et absorbe de la chaleur. Cette dernière est fournie principalement par ce rayonnement, et elle est transformée sélectivement en énergie calorifique par la surface évaporante. Le bilan calorifique de la surface doit tenir compte d'autres échanges de chaleur avec le milieu ambiant.

L'intensité de ces rayonnements solaires intervient comme facteur principal dans certaines théories modernes de l'évaporation.

#### **II - 3-3 EFFET DU VENT:**

Le vent assure le remplacement de l'air plus ou moins saturé au contact de la surface évaporante par de nouvelles couches ayant une température et une humidité généralement plus faibles. Le vent favorise l'évaporation, d'autant plus que sa vitesse et sa turbulence sont grandes.



Toutefois, si ces paramètres atteignent une valeur limite au dessus de laquelle la vapeur d'eau est dispersée, au fur et à mesure de sa formation, tout accroissement de ceux-ci, au delà de cette limite, sera sans effet.

De nombreuses formules d'évaporation font intervenir la vitesse du vent dans un terme correctif souvent important. Il faut noter que cette vitesse varie avec la hauteur au dessus du sol et il est dans l'impossibilité de mesurer cette vitesse à l'interface même. Il serait souhaitable que la hauteur à laquelle doit être prise la vitesse du vent intervenant dans les formules soit précisée. Elle varie suivant les essais évapométriques entre 0.5 et 10m [31].

## II - 3-4 L'HUMIDITE DE L'AIR:

Elle se détermine par la qualité de la vapeur d'eau dans l'air qui se trouve constamment en état de formation [évaporation], ou en état de condensation [précipitations]. L'humidité de l'air est caractérisée par les paramètres suivants:

### 3-4-1 L'HUMIDITE ABSOLUE ea:

Elle indique la quantité de l'humidité, qui se trouve dans une unité de volume d'air, pendant la période froide de l'année, l'humidité absolue est plus faible en hiver, par contre en période chaude, elle devient plus importante.

### 3-4 - 1 L'HUMIDITE RELATIVE r :

Elle est appelée aussi le déficit hygrométrique qui est le rapport entre l'humidité absolue et la tension de vapeur d'eau (ea).

$$r = \frac{ea}{eo} \%$$

avec

ea : L'humidité absolue

eo: La tension de vapeur qui dépend de la température

Rappelons que les valeurs de r sont plus grandes la matinée et deviennent plus faibles dans l'après midi durant toute l'année.

## II - 3-5 PRESSION BAROMETRIQUE

L'évaporation augmente lorsque la pression barométrique diminue. Elle intervient dans certaines formules sous forme de logarithme. D'après certains auteurs son influence est très faible.

## **II-4- MESURE DE L'EVAPORATION**

La mesure de la déperdition d'eau par évaporation à partir des réservoirs ou des bacs a tenu une place de choix dans les études expérimentales.

En étudiant l'évaporation au laboratoire, nous ne tiendrons pas compte de certains phénomènes qu'ont eu lieu dans la nature et dans le déroulement naturel de l'évaporation à partir de la surface libre de l'eau . Du fait par exemple une surface d'eau est soumise à des variations périodiques de température durant la nuit puis le jour.

Cette mesure fait appel à deux approches principales :

### **A- APPROCHE THEORIQUE**

Elle fait appel à des formules plus ou moins empiriques . Parmi les nombreuses formules qui ont été développées pour estimer l'évaporation celle de PENMAN, DALTON. Elle sont les plus généralement appliquées, toutes les deux sont largement empiriques, ce qui a conduit à des tentatives de raffinement et d'amélioration aussi bien de leurs auteurs que d'autres chercheurs.

#### **A-1 LOI DE DALTON:**

Que l'on cherche à évaluer l'évaporation à l'aide des formules du type Dalton, il est nécessaire de connaître la température de la surface d'évaporation.

DALTON a établi , en 1802 , que le transfert de masse d'eau ou une autre substance dans le phénomène de l'évaporation est conditionné par la différence des pressions partielles de vapeur existant au voisinage de la surface et dans l'atmosphère libre. Cette loi s'exprime par la relation.

$$E = a [e_w (T_e) - e ]$$

Avec:

E: évaporation durant une période donnée (mm)

$e_w [T_e]$  : tension de vapeur saturante de l'eau à la température de la surface évaporante [en millibars ] [la moyenne pour la période].

e: tension de vapeur existant dans l'atmosphère [millibars] (moyenne pour la période).

La loi de Dalton n'est qu'approximative , elle néglige la pression barométrique .

L'influence du vent a été introduite par la suite dans la formule de Dalton de façon empirique, suivant de nombreuses formes analytiques , nous retiendrons la plus simple.

$$E = 0.484 [ 1+0.6v ] [ e_w ( T_e) -e]$$

v : vitesse du vent [m/s].

E: L'évaporation durant une période donnée [mm]

$e_w$  [te] : La tension de la surface évaporante [milli/bars] [la moyenne pour la période].

e : La tension de vapeur existant dans l'atmosphère [milli/bars] [la moyenne pour la période].

### FORMULE DE PENMAN

Pour l'évaporation sur une nappe d'eau libre, PENMAN a cherché à combiner la méthode du bilan énergétique avec la formule de Dalton en vue d'éliminer la température de la surface évaporante généralement inconnue dans les problèmes d'applications.

PENMAN donne à la loi de Dalton la forme suivante:

$$E = f(u) [e_w(T_e) - e]$$

Avec:

E : évaporation [mm/j]

f(u) : est une fonction du vent à déterminer empiriquement

et

$$f(u) = 0.35[1 + 9.8 \cdot 10^{-3} \cdot u_2]$$

avec

$u_2$ : vitesse du vent [mm/j]

PENMAN considère une évaporation fictive dont la forme est comme suit:

$$E_a = f(u) [e_w - e]$$

avec

$e_w$ : tension de vapeur saturante à la température de l'air

$e_w - e = \Delta e$  : le déficit de saturation

La difficulté d'obtenir des mesures précises pour les différents termes de la forme de PENMAN rend son utilisation très difficile dans certaines régions, car elle nécessite beaucoup de données climatiques, rarement, toutes disponibles sur une même station.

### B - APPROCHE EXPERIMENTALE:

La deuxième approche se fonde sur la mesure directe des pertes d'eau à partir de la surface évaporante en utilisant des appareils destinés à mesurer le pouvoir évaporateur de l'air.

## B-1 LES ATMOMETRES

Ces appareils servent à mesurer l'évaporation latente définie comme l'évaporation maximale d'une surface saturée, plane horizontale, noire, exposée aux conditions météorologiques, de l'énergie solaire, du vent, de la température et de la pression de vapeur.

L'intérêt de cette notion est surtout de donner une définition standard à l'évaporation indépendamment de la nature du réservoir évaporant.

Un atmomètre parfait devrait répondre aux conditions suivantes:

- Ne doit présenter aucune inertie thermique
- Permet l'évaporation à travers une surface plate, horizontale, noire.
- Ne doit modifier en rien le champ des vitesses du vent naturel
- Ne doit pas affecter la tension de vapeur dans l'atmosphère avec lequel la surface évaporante est en contact.

Il semble qu'actuellement, l'atmomètre répondant le mieux à ces conditions est celui de BELLANI à surface noire que l'on a coutume d'appeler « black Bellani ».

Cet appareil est composé d'un plateau de porcelaine poreux et noir de 7,5 cm de diamètre, surmontant une cuvette en porcelaine imperméable.

L'humidité du plateau est entretenue par l'eau contenue dans un réservoir qui est gradué et sert en même temps à la mesure de la quantité d'eau évaporée. Une valve empêche l'eau provenant de la rosée et de la pluie d'entrer dans l'appareil à travers la surface poreuse.

[fig II-2].

Avec les atmomètres, on cherche à éliminer les effets d'inertie thermique afin de mesurer une caractéristique purement climatique éliminant l'influence du réservoir

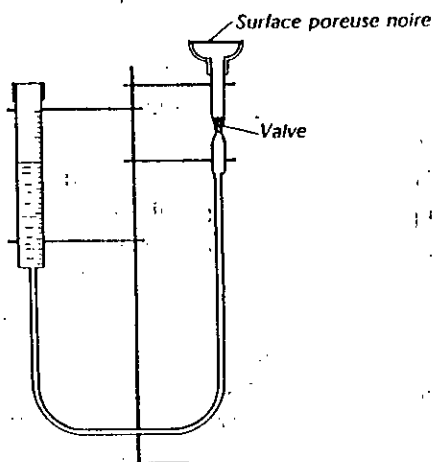


Fig II-2 ATMOMETRE BLACK BELLANI

## B-2 LES BACS D'EVAPORATION

L'utilisation des bacs d'évaporation a été répandue par les hydrologues pour l'estimation de l'évaporation [fig II - 3]. La simplicité de leur principe et leur commodité d'emploi les a fait adopter par de nombreux pays, comme principe de référence climatique pour l'estimation des besoins en eau. Seulement les spécialistes ne sont pas d'accord sur le meilleur type à employer. Car ces bacs sont de formes, de dimensions et de caractéristiques différentes. Leur rôle est de rapprocher le plus possible les conditions présentes à l'évaporation provenant des étendues d'eau naturelles.

En pratique, on est souvent amené à évaluer l'évaporation sur de grandes surfaces d'eau à partir des mesures effectuées au laboratoire sur modèles réduits [faites souvent dans des bacs dont les dimensions, et l'exposition étaient fixés auparavant]. Cette évaluation est définie par un coefficient de bac inférieur à 1. Ce dernier est multiplié par le taux d'évaporation mesuré sur un bac pour obtenir celui afférent à une surface d'eau soumise aux mêmes conditions atmosphériques. Etant donné le caractère approximatif des mesures de l'évaporation sur la surface d'eau libre, ce coefficient varie avec le type de bac et les caractéristiques de l'eau, il a été déterminé par l'expérience afin d'adapter les formules à la prédétermination de l'évaporation dans divers cas particuliers plus complexes.

Ces bacs sont classés en trois catégories:

- Le bac placé au dessus du niveau du sol présente l'avantage d'une installation très simple. Ses résultats ne risquent pas d'être faussés par le rejaillissement des gouttes de pluie, par contre il est sensible aux variations de la température de l'air et aux effets de l'isolation.

- Le bac de classe A utilisé par WEATHER bureau (USA). L'emploi de ce modèle est recommandé en raison du grand nombre d'appareils du même type déjà installé [31].

- Le bac enterré dit «COLORADO» est moins sensible aux influences parasites de la température ambiante et du rayonnement solaire sur les parois, bien que leur bord dépasse le niveau du sol. Il est d'une installation et d'un entretien plus délicat.

- Le bac flottant est utilisé pour étudier l'évaporation de grande surface d'eau (lac, rivière...), son installation peut être difficile. Les mesures sont moins aisées à réaliser. Elles sont trop souvent faussées les jours de grand vent par l'eau introduite dans le bac par les vagues.

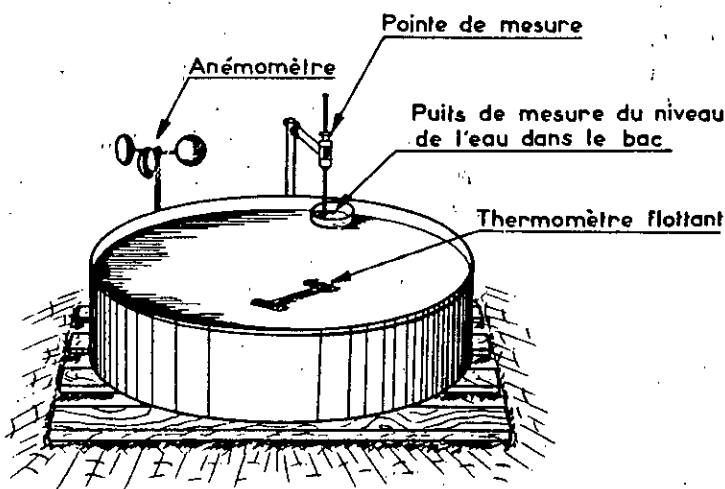


Fig II - 3 BAC D'EVAPORATION (classe A)

## II- 5 CONCLUSION

Pour conclure , nous disons que:

- Le phénomène de l'évaporation présente l'avantage de nécessiter très peu de données climatiques pour son utilisation. Par ailleurs, le seul paramètre indispensable est l'un des plus faciles à mesurer est la température de l'air.

- En raison de l'importance que présente l'évaporation , on s'est basé à mesurer le phénomène à partir des bacs en plein air en pensant que les résultats pourraient être étendus à des grandes surfaces.

# **TROISIEME CHAPITRE**

## **ETUDE EXPERIMENTALE**

## ETUDE EXPERIMENTALE

### III -1- INTRODUCTION:

Les apports solides et l'évaporation sont deux phénomènes fondamentaux qui entraînent une perte considérable de la capacité utile d'un barrage [ fig -1].

L'évaporation n'est pas seulement fonction du pouvoir évaporant de l'atmosphère, mais aussi des paramètres caractérisant les disponibilité en eau.

La mesure de l'évaporation a toujours intéressé les scientifiques de disciplines diverses. Chacun d'eux a apporté et continue d'apporter sa contribution pour une meilleure compréhension sans prendre la moindre considérations des apports solides qui viennent se déposer dans la cuvette du barrage et l'influence de leur composition chimique sur cette évaporation.

La solution au problème viendra sans doute beaucoup plus d'une approche pluridisciplinaire que d'une science particulière, étant donné le nombre de facteurs qui sont impliqués.

### III - 2 - DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Nos expériences ont été effectuées au laboratoire d'hydraulique de l'Ecole Nationale Polytechnique sur une installation qui comprend :

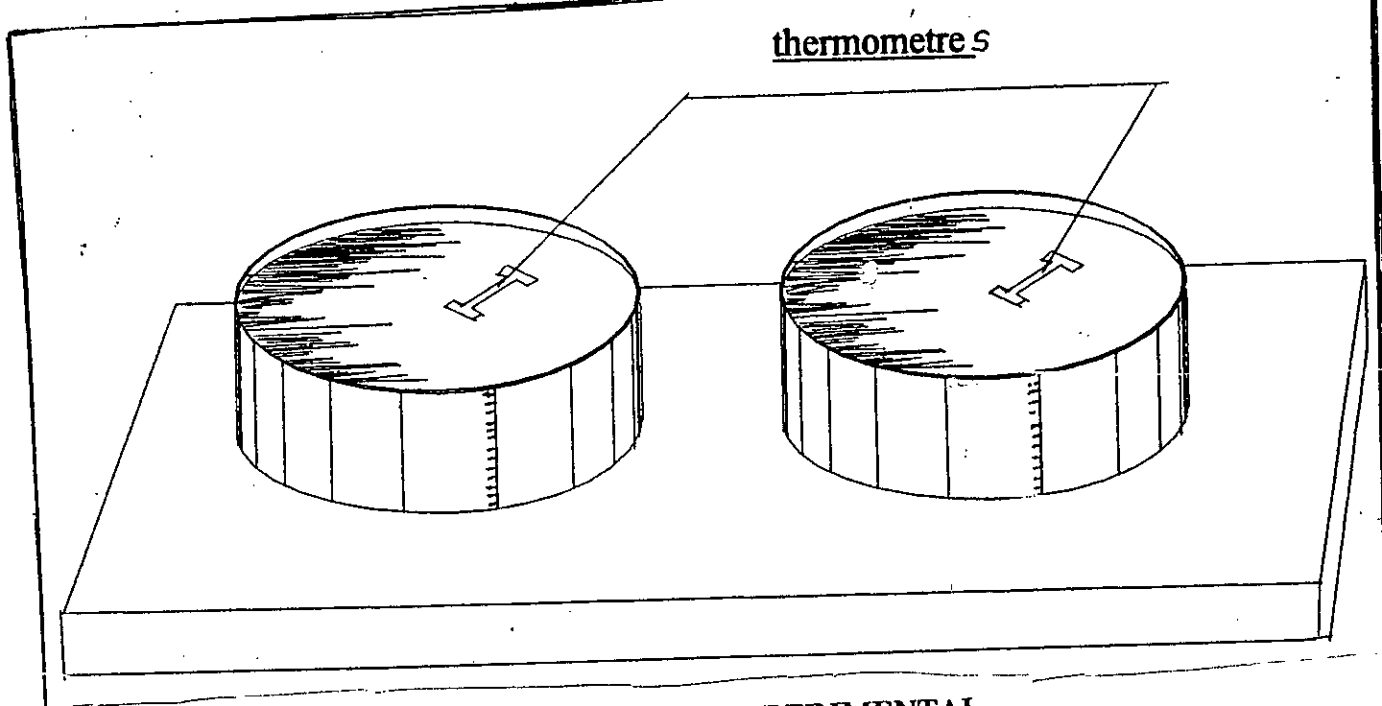
- Deux cuves en plexi-glass circulaires de 63.9 cm de diamètre de 17.2 cm de profondeur. La hauteur d'eau chargée a été maintenue à 10 cm du fond [fig III - 1].

Ce système expérimental est installé sur une assise stable et horizontale à 70 cm au dessus du niveau du sol, afin d'éviter les déformations au fond des cuves. Ces dernières peuvent provoquer des aberrations dans les mesures.

Les deux bacs sont installés côte à côte dans un lieu homogène et dans des conditions climatiques strictement identiques.

Il a été recommandé d'observer les deux cuves simultanément pour comparer les mesures du comportement du différent couple de vase considérée.





**Fig III-1 DISPOSITIF EXPERIMENTAL**

## **2-1 MOYEN DE MESURES:**

### **- Mesure de la température:**

Elle est mesurée à l'aide de deux thermomètres à mercure .

### **- Mesure du niveau d'eau :**

Le niveau d'eau a été mesuré à l'aide d'une règle graduée et fixée sur la paroi des vases.

### **- Mesure des dimensions des vases :**

La granulométrie des vases étudiées a été déterminée en utilisant une série de tamis selon les normes AFNOR.

## **III - 3 EXPERIMENTATION:**

### **3-1 ORIGINE DE LA VASE ETUDIEE:**

Pour notre étude, nous avons choisi de travailler sur les échantillons de vaseci-dessous qui ont été prélevés dans différents barrages en plus de celle prélevée du lit de Oued El Harrach .

- Vase de Oued El-Harrach (Alger) (vase n°1)
- Vase du barrage d'Ighil Emda (Bejaia) (vase n°2)
- Vase du barrage de Foug El Ghorza (Biskra) (vase n°3)
- Vase du barrage de Hamam Ghrouz (Mila) vase n°4)
- Vase de la retenue collinaire de Ain Smara (Constantine) (vase n°5).
- Sable (n°6).

### 3-2 CANEVAS DE MESURE

Les premières mesures ont été effectuées sur une période s'étalant du mois de Mai jusqu'au mois de Juillet de l'année 1995.

les deuxièmes mesures ont été réalisées pendant la période du mois de Mai, Juin et Juillet de l'année 1996.

#### Première expérience:

En première étape, nous avons commencé par comparer le comportement de l'eau claire du point de vue évaporation dans la première cuve et l'eau mélangée à la vase n° 1 dans la deuxième cuve.

La mixture (vase + eau) est laissée à l'air libre sous les conditions climatiques naturelles pendant une durée de 24h.

En suivant la méthode classique qui se réduit à une simple mesure limnimétrique de l'abaissement du niveau d'eau dans la cuve. Les mesures de la hauteur évaporée sont effectuées trois (03) fois par jour, pour obtenir des valeurs moyennes journalières.

Les mesures des quantités d'eau évaporées, mesurées en (mm) ont duré (20) vingt jours.

Pour la mesure de la température, nous avons utilisé le thermomètre à mercure. A l'ombre et à une distance suffisante du sol, nous avons mesuré la température de l'air. Et pour mesurer la température de l'eau, nous avons plongé la sonde du thermomètre dans l'eau. Après la stabilisation, nous prenons la lecture directement sur le thermomètre.

#### Deuxième expérience:

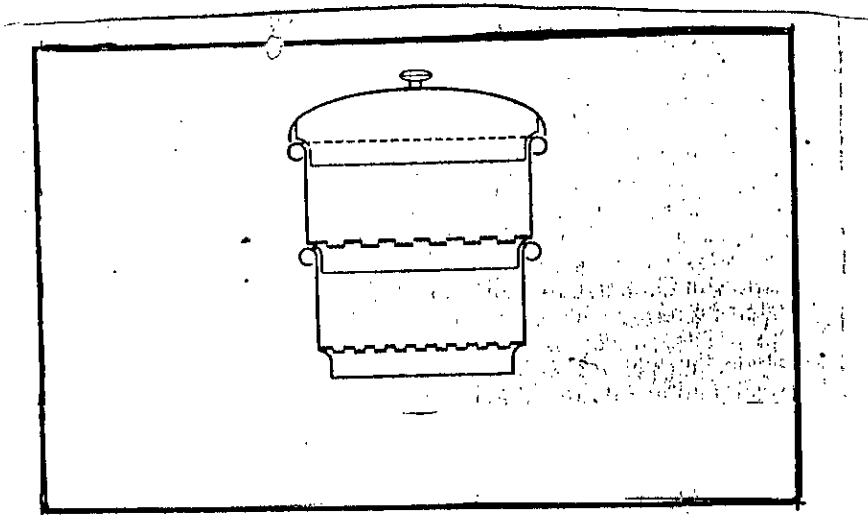
Nous reprenons la même expérience avec les mêmes mesures. Seulement dans ce cas, le premier bac est rempli d'eau mélangée à la vase n°1 et le deuxième bac est rempli d'eau et d'un échantillon composé essentiellement de sable grossier.

Après décantation, les mesures de la hauteur d'eau évaporée se sont étalées sur une durée de 28 jours.

#### Troisième expérience

Nous procédons de la même façon que la première expérience, en prenant simultanément le couple de vase n° 2 et la vase n° 3.

Les observations de la hauteur évaporée d'eau se sont étalées sur une durée de 17 jours.



**Fig III-2 EMPILEMENT DE TAMIS**

### **3-4 -2 - TECHNIQUE DU DOSAGE**

La technique de l'analyse granulométrique consiste tout d'abord à individualiser les différents fractions de sédiments en détruisant la matière organique qui stabilise les argiles et les limons fins. L'opération se fait en traitant par l'eau oxygénée, concentrée. En lavant les échantillons avec l'eau distillée sur filtre avec un entonnoir, jusqu'au début de la dispersion afin d'éliminer l'excès de réactif et les sels solubles présents. L'échantillon est mis en suspension dans l'eau additionnée d'un dispersant puissant [hexameta phosphate à 5%] neutralisant l'action floculante vis à vis des colloïdes des ions minéraux principalement du calcium. La solution dispersée est abandonnée au repos pour permettre la sédimentation [2].

Le prélèvement doit se faire avec un soin extrême dans une suspension stable pour éviter la perturbation du milieu en lente sédimentation. Ce prélèvement doit être conditionné par les étapes suivantes:

- Après les 4 heures d'agitation, les allonges sont débouchés et disposer sur un ratelier.
- La température de la suspension, est prise en se reportant aux tables donnant le temps de chute.
- Agitant par retournement pendant 1 minute en enfonçant le pipette jusqu'à 10 cm de profondeur avant le temps nécessaire pour le prélèvement.
- Commencant l'aspiration du liquide doucement de telle façon que le temps d'aspiration soit également reparti autour du temps relevé.

- Fermant le robinet à trois voies lorsque le volume choisi est aspiré, ensuite remontant la pipette et mettant le robinet en communication avec l'atmosphère en recueillant le liquide dans le bêcher taré.

- Portant l'étuve à 105°-110°, laissant jusqu'au poids constant.

Un étalonnage de la pipette serait fait, en faisant plusieurs prélèvements avec l'eau contenant l'Hexametaphosphate.

Les sables sont déposés très rapidement, après avoir été lavés comme l'argile et les limons . Ce lavage se fait jusqu'au moment où le liquide surnageant est parfaitement clair. Le temps est fixé précédemment après avoir agité, siphonné le mélange, ensuite on le laisse décanter pour enfin être séché à l'étuve à 115° - 110°. Après refroidissement, on pèse et on tamise le mélange obtenu à travers une pile de tamis classés de haut en bas suivant de maille décroissant. Le refus, se sont les sables grossiers, ce qui est passé à travers le tamis ce sont les sables fins. La qualité des résultats est liée à la grande reproductibilité des manipulations.

Les résultats de nos échantillons sont donnés dans le tableau [ tab III-1].

Origine de la vase	Argile %	Limon fin %	Limon grossier %	Sable fin %	sable grossier %
vase N° 1	39	43	08	06	04
vase N° 2	38	52	04	05	01
vase N° 3	26	10	19	44	01
vase N° 4	36	34	08	17	05
vase N° 5	35	38	05	20	02
vase N° 6	-	-	02	07	91

**Tab III - 1 GRANULOMETRIE DE LA VASE ETUDIEE**

### III 3-5 LA CHIMIE

L'analyse chimique permet de déceler séparément les anions et les différents cations. Elle ne peut indiquer exactement ni la nature, ni la dose des sols dissous. Puisque chaque cation peut se combiner avec n'importe quel anion et réciproquement [16].

Dans la pratique du laboratoire, il est souvent nécessaire que pour un dosage déterminé, on ait besoin de choisir entre plusieurs méthodes. Ce choix ne peut se faire, qu'en comparant les résultats obtenus par chaque méthode, ce qui amènera à en déduire la précision. Dans certains cas, on ne peut faire figurer dans les résultats d'analyse des sels résultants de la combinaison des anions avec les cations qu'en faisant au préalable une hypothèse sur la nature des combinaisons. L'analyse présentée de cette façon est souvent très loin de la réalité. Parfois, il nous semble qu'il est intéressant d'accumuler un grand nombre de résultats sur beaucoup d'éléments plutôt que de chercher l'exactitude. Ces résultats successifs pour un même dosage ne sont jamais comparables, ils se distribuent autour d'une valeur moyenne.

#### MODE OPERATOIRE

##### - DOSAGE DU CARBONE:

Dans un tube à essai en verre, on met un échantillon du sol broyé, dont la prise d'essai varie entre 2.25 à 2g. On ajoute 5 ml de solution de bichromate de Potassium pur [ $K_2 Cr_2 O_7$ ] à 8% et 10 ml d'acide sulfurique.

Le mélange ainsi obtenu est bien agité afin de l'homogénéiser. On laisse reposer ce mélange pendant 30 mn et on ajoute 25 ml d'eau distillée. On agite une deuxième fois et on laisse se décanter pendant toute une nuit. Le lendemain, on centrifuge et on effectue la mesure à 590 nm.

##### - DOSAGE DE L'AZOTE :

On ajoute à 2g d'échantillon 10 ml d'acide sulfurique pur. On chauffe le mélange modérément, ensuite on augmente le chauffage jusqu'à ébullition de l'acide sulfurique.

Après coloration de la solution d'attaque, on continue à échauffer pendant une heure. Quand le mélange se refroidit, on ajoute 50 cm<sup>3</sup> d'eau et on filtre. On récupère le filtrat dans une fiole jaugée de 100 ml et on complète, en lavant le résidu sur le filtre, cette solution servira au dosage calorimétrique. La calorimétrie s'effectue à une longueur d'onde égale à 635 nm.

##### - DOSAGE DU CARBONATE DE CALCIUM

On pèse 10 g d'échantillon, qu'on remet dans 250 ml de solution d'oxalate d'ammonium. On agite pendant 4 heures, après centrifugation, on récupère la solution claire dans une fiole jaugée sur laquelle on fera le dosage. Sur 20 ml on porte le filtrat, on ajoute 5 ml d'acide sulfurique qu'on porte à l'ébullition pendant une heure. Le dosage est fait avec le permanganate [ $K Mn O_4$ ] jusqu'au rose persistant [26].

### - MESURE DE LA CONDUCTIVITE :

La conductivité donne la valeur de la résistance de la solution. La conductivité à 25° est calculée d'après la formule :  $C_{25} = \frac{A}{KR}$

A: Coefficient de température pour corriger et ramener à 25°

K: Constante

R : Résistance.

### - DOSAGE DES SULFATES:

On met 5 ml de chlorure de baryum à 10% dans l'acide chlorhydrique à 10% . On agite puis on ajoute 5 ml de solution Teewn et on complète avec l'eau distillée à 50 ml. On agite énergiquement et on laisse reposer au moins une demi heure. On effectue la mesure par calométrie à 495 nm.

### - DOSAGE DES CHLORURES:

Dans une fiole jaugée à 50 ml, on met dans l'ordre 5 cm<sup>3</sup> du prise d'essai avec un peu d'eau. Ensuite , on ajoute 2 ml de glycérine avec 1 ml d'acide nitrique à 10% et 5 ml de nitrate d'argent. On agite bien et on complète avec de l'eau distillée, [agitez une autre fois] on met l'étuve à 40° pendant une demi heure , ensuite on passe à la mesure turbidimétrique à l'aide du spectrophométrie réglé à 250 nm.

### - DOSAGE DU CALCIUM ET MAGNESIUM

Ce type de dosage se fait par titrage en présence de colorant servant d'indicateur de fin de réaction. On pèse 1,25g de carbonate de calcium ( Ca Co<sub>3</sub> ) très pur , on le dissout dans 20 ml d'acide chlorhydrique [Hcl] à 10%. On complète à 500 ml [1 ml de cette solution de versenate renferme 1 mg de ca<sup>++</sup> ]. On dissout 3,271 g , on complète à 100 ml avec de l'eau distillée, on agite pour avoir une solution rose, on titre jusqu'a l'obtention de la coloration bleu [virage net].

Le même procédé pour obtenir le magnésium, seulement le virage est obtenu pour une coloration violette [virage difficile à apprécier][26].

Les autres manipulations sont faites de la même manière seulement, on veille à ce que les dosages soient respectés.

Les résultats d'analyse sont portés dans les tableaux suivants:

Origine de la vase	Azote N.‰	Carbone C.‰	Matière organique M.O.‰	Potassium total K20‰	Carbonate de calcium total CaCo3 %	Pourcentage de saturation %	Conductivité électrique $\mu$ S/cm	P.H
Vase N°1	0.82	8.70 *	1.50	0.00	29.94	86.0	1.40	7.90
Vase N°2	1.05	8.50	1.48	0.00	36.10	78.0	2.40	7.80
Vase N°3	0.67	5.70	1.00	2.20	23.06	56.0	1.80	7.90
Vase N°4	0.71	6.50	1.12	0.00	52.06	70.0	2.10	8.20
Vase N°5	1.20	11.20	1.93	3.00	20.90	68.0	0.70	8.20
Vase N°6	0.12	1.0	0.17	1.20	14.06	62.0	1.00	8.30

**TABLEAU III-2 LA COMPOSITION CHIMIQUE DES VASES ETUDIEES**

anions (m.ég .g. / L)				cations (m.ég.g/L)			
Origine de la vase	CL <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	So <sub>4</sub> <sup>--</sup>	Mg ++	Na +	K+	Ca ++
Vase N° 1	4.01	0.3	9.6	5.0	4.1	0.4	5.7
Vase N° 2	9.2	0.6	15.3	21.2	7.3	0.7	26.4
Vase N° 3	8.8	0.7	36.7	17.6	5.9	0.0	13.4
Vase N°4	5.9	0.5	7.3	7.9	3.8	0.0	2.9
Vase N°5	1.7	0.4	5.0	1.6	1.1	0.0	21.7
Vase N°6	1.8	0.5	26	6.3	2.7	0.0	2.7

**TABLEAU III .3 COMPOSITION CHIMIQUE DES VASES ETUDIEES**



# **CINQUIEME CHAPITRE**

## **INTERPRETATION** **ET DISCUSSION** **DES RESULTATS**

## INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

### 1- ANALYSE DU TAUX D'EVAPORATION

La variation du taux d'évaporation de l'eau en fonction du temps est donnée par la figure IV-1 . Elle montre que pendant nos essais, la période du 3 - 9 juin 1995 a enregistré une température de l'air variant entre 21° - 26° ce qui a entraîné un même taux d'évaporation dans les deux cuves . Ensuite , au cours de la période du 9-17 juin 1995, nous avons constaté une augmentation de température qui s'accompagne d'un taux d'évaporation qui devient de plus en plus important dans le cas d'une eau chargée que celui d'une claire.

Ceci peut être expliqué par le fait qu'au départ et durant les premiers jours d'observation et après décantation de la vase au fond de la cuve, le liquide à la surface est une eau claire [voir FigI-3]. Les deux fluides dans les deux cuves se comportent de la même manière, ce qui est tout à fait normal.

Par contre , au fur et à mesure qu'on commence à se rapprocher du fond de la deuxième cuve, la hauteur de l'eau diminue de plus en plus. Car nous avons une autre mixture qui est un mélange d'eau et de vase [vase-fluide] dont la concentration est plus importante. Celle-ci s'accompagne d'un taux d'évaporation de plus en plus important et cela nous conduit à penser qu'il existe une influence entre la vase et l'évaporation .

Les mêmes constatations peuvent être faites, en examinant simultanément le comportement évaporatoire des deux fluides dans les deux bacs : l'un chargé de la vase 1 et l'autre d'un échantillon composé essentiellement du sable grossier . Déposés par gravité au fond des deux cuves , nous avons remarqué d'une part que le tassement de la vase est plus lent que celui du sable . D'autre part , les valeurs de la hauteur évaporée sont presque identiques , pendant les sept premiers jours d'observation.

Au cours de la période s'étalant du 02-09 Juin, nous avons enregistré une température presque constante . A partir du 15 Juin de la même année la température atteint 29°. Ce qui a provoqué un taux d'évaporation légèrement plus important dans le bac rempli de sable que celui contenant la vase n°1 [Fig-IV- 2] .

Cela est expliqué par le fait que les vases ont une grande faculté de rétention des particules d'eau. Cela, à cause des micropores qui libèrent ces molécules d'eau très difficilement. Vu que ces dernières possèdent une énergie cinétique plus grande qui leur permet de s'échapper vers l'atmosphère.

Alors que dans le cas du sable, nous trouvons le contraire, en effet celui-ci possède une porosité plus grande, qui varie normalement entre 15% et 25% . En conséquence l'évaporation dans ce cas est plus importante à cause de ses macropores qui libèrent ses molécules d'eau plus facilement. D'ailleurs ceci confirme la loi de JURIN-LAPLACE : « L'ascension capillaire en milieu saturé est d'autant plus forte que les pores sont fins [19].

Dans la troisième expérience correspondant à la [Figure IV-3], nous avons réuni deux types de vase de région différente , non seulement du point de vue climatique [région] mais aussi du point de vue granulométrique.

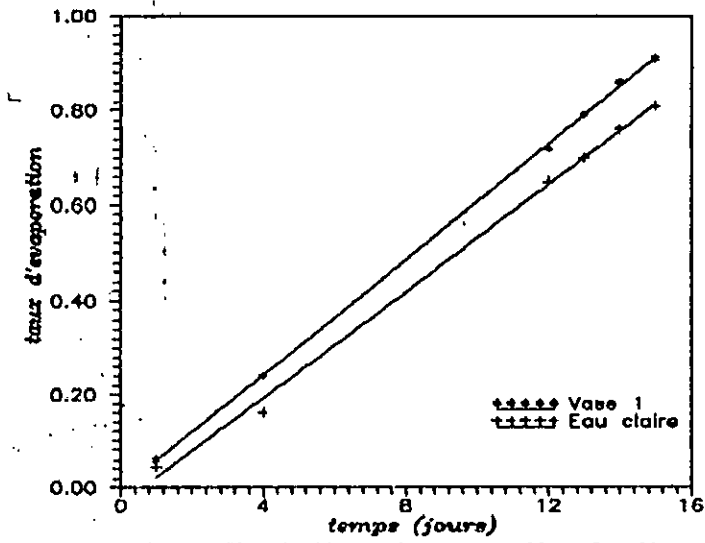


Figure IV.1- Variation temporelle de l'évaporation de l'eau en présence de la vase 1

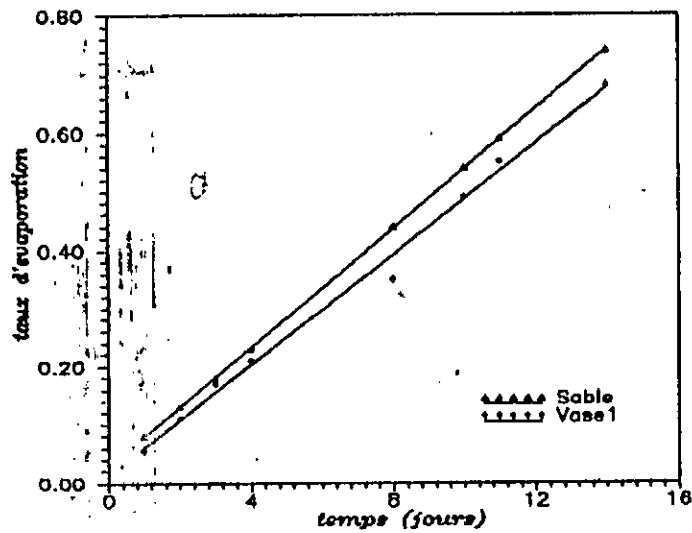


Figure IV.2- Variation temporelle de l'évaporation de l'eau en présence de la vase 1 et du sable

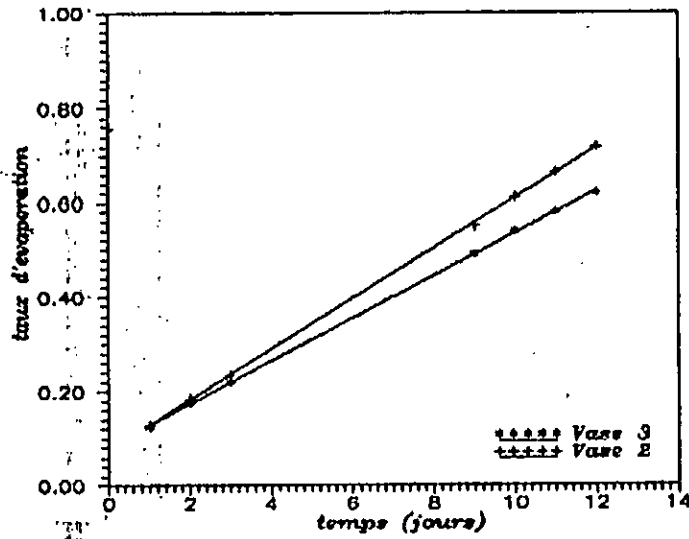


Figure IV.3—Variation temporelle de l'évaporation de l'eau en PRÉSENCE de la vase 3 et 2

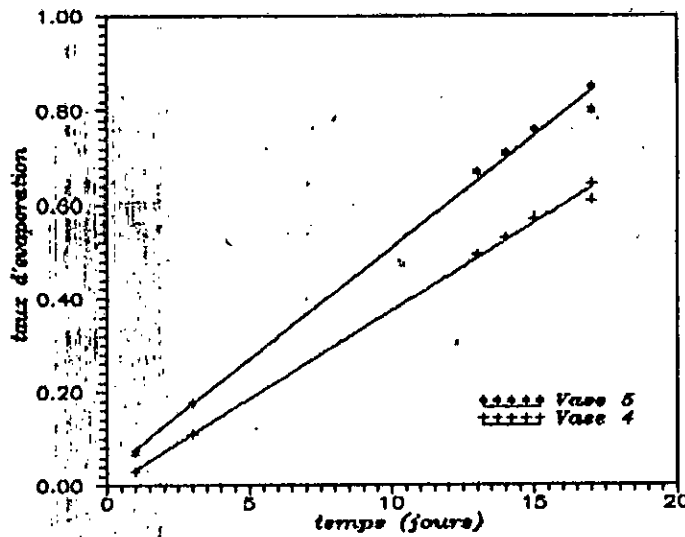


Figure IV.4—Variation temporelle de l'évaporation de l'eau en PRÉSENCE de la vase 5 et 4

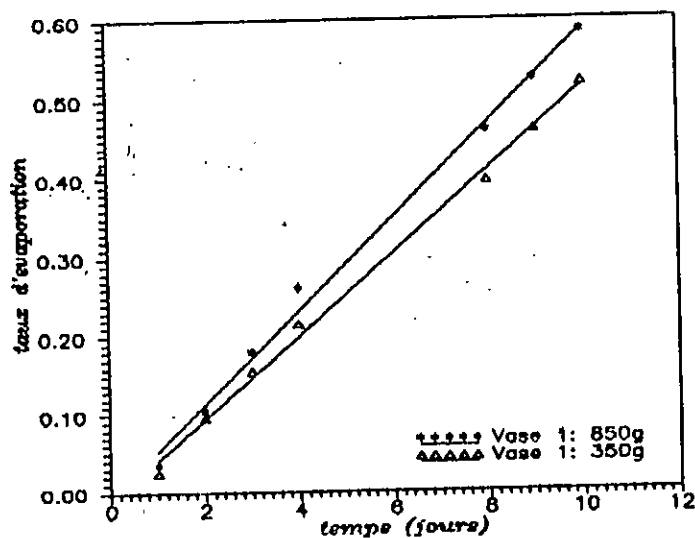


Figure 14.5 - Variation temporelle de l'évaporation de l'eau en présence de la vase 1 en quantités différentes

L'examen de la représentation graphique de ces deux dernières révèle les mêmes constatations qu'auparavant, alors que nous ne parlerons plus ni d'eau claire ni de sable grossier mais plutôt d'un couple de vase différent, formé de composants diversifiés du point de vue granulométrique.

Au début, pendant la première semaine d'observation, la température de l'air est de 24° à 27° avec le même taux d'évaporation dans les deux cuves, contenant la vase n°2 et 3. Puis les deux droites ont commencé à s'écarter et les pentes des graphes paraissent toujours parallèles mais avec un taux d'évaporation plus important dans le bac rempli de la vase 2 que celui de la vase 3, à partir du 30 Juin 1995. A cette date, la température atteint son maximum pour un grand taux d'évaporation. Ce qui confirme le résultat de la deuxième expérience[vase 1-sable].

Effectivement, nous remarquons que l'échantillon qui contient beaucoup de sable s'évapore plus vite que la vase contenant un pourcentage élevé en argile. Celle-ci libère progressivement une partie de son eau de structure avec élimination de son eau interstitielle et ces molécules d'eau imprégnant les vases se trouvent fixer en fonction de sa structure. Cette structure à fin capillaire retient l'eau énergiquement, qui par la suite se libère difficilement. Sachant que les argiles possédant une porosité qui peut atteindre 90% [19].

Les mêmes constatations peuvent être faites pour l'expérience n°4 [Fig IV-4] où nous pouvons dire que le taux d'évaporation est influencé par le type de la vase considérée. Puisque les vases à l'état liquide, aux concentrations inférieures peuvent être considérées comme des mixtures homogènes ou pseudo-homogène.

Finalement, pour vérifier ce qui a été dit précédemment dans les quatre étapes, nous avons considéré simultanément la même vase n°1, dans les deux cuves mais en quantité différente. Nous avons constaté que la hauteur évaporée est presque identique pendant la période du 24 Juin 1995 jusqu'au début Juillet 1995.

L'eau se comporte de la même manière dans les deux cuves car la température de l'air est à son état stationnaire [Fig IV -5]. Ensuite, la température de l'air a commencé à augmenter pour atteindre son maximum le huitième jour de l'expérience. Ce qui a entraîné un accroissement du taux d'évaporation qui est de plus en plus important lorsqu'on se rapproche du fond du bac contenant plus de vase. Au fur et à mesure que la vase se tasse, sa perméabilité diminue et les molécules d'eau susceptibles d'être libérées deviennent de plus en plus faible [28].

A la fin, nous pouvons conclure, qu'en plus des paramètres climatiques naturels qui favorisent le phénomène de l'évaporation notamment la température de l'air qui est un paramètre déterminant. La composition granulométrique de la vase influe aussi directement sur la variation du taux d'évaporation.

## 2 - ANALYSE DES RESULTATS GRANULOMETRIQUES

La granulométrie définit la structure du sol, mais ne donne aucune information sur la texture, et sur l'arrangement des grains les uns par rapport aux autres .

On schématise souvent les sols, en les assimilant à des matrices poreuses simples caractérisées en particulier, par leur granulométrie et leur porosité [19].

Les vases déposées au fond des retenues sont constituées d'une grande diversité de matériaux suivant leurs natures et leurs propriétés . Elles se présentent comme un matériau très fin en suspension dans les eaux fluviales et forment des flocons très riche en eau. Elles se rapprochent du limon d'une façon générale [28].

Nous adopterons les définitions admises dans les différents domaines scientifiques: géologique et mécanique des sols en considérant que:

- Les argiles sont constituées d'éléments très fins , inférieurs à quelques microns. On les rencontre en abondance sur le fond des retenues dont elles forment un pourcentage élevé de certaines vases . Elle rentrent dans la catégorie minéralogique plus au moins complexe, ce qui leur confère des propriétés physiques très particulières [27].
- Les limons répondent à un domaine granulométrique relativement restreint. Ils se rencontrent particulièrement dans les éléments fins fluviaux. Leur tassement sous l'eau s'effectue en quelques jours.
- Les sables regroupent les sables fins et les sables grossiers.
- Pour les besoins de classement et d'interprétations, une répartition de dimension a été établi par E.ATTERBERG et adaptée par l'association Internationale pour l'étude de sol [ voir le tableau ci-dessous].

NOM	diamètre de la particule (mm)
Argile	$<0.002$
Limon	$0.002 < x < 0.02$
Sable fin	$0.02 < x < 0.2$
Sable grossier	$0.2 < x < 2$

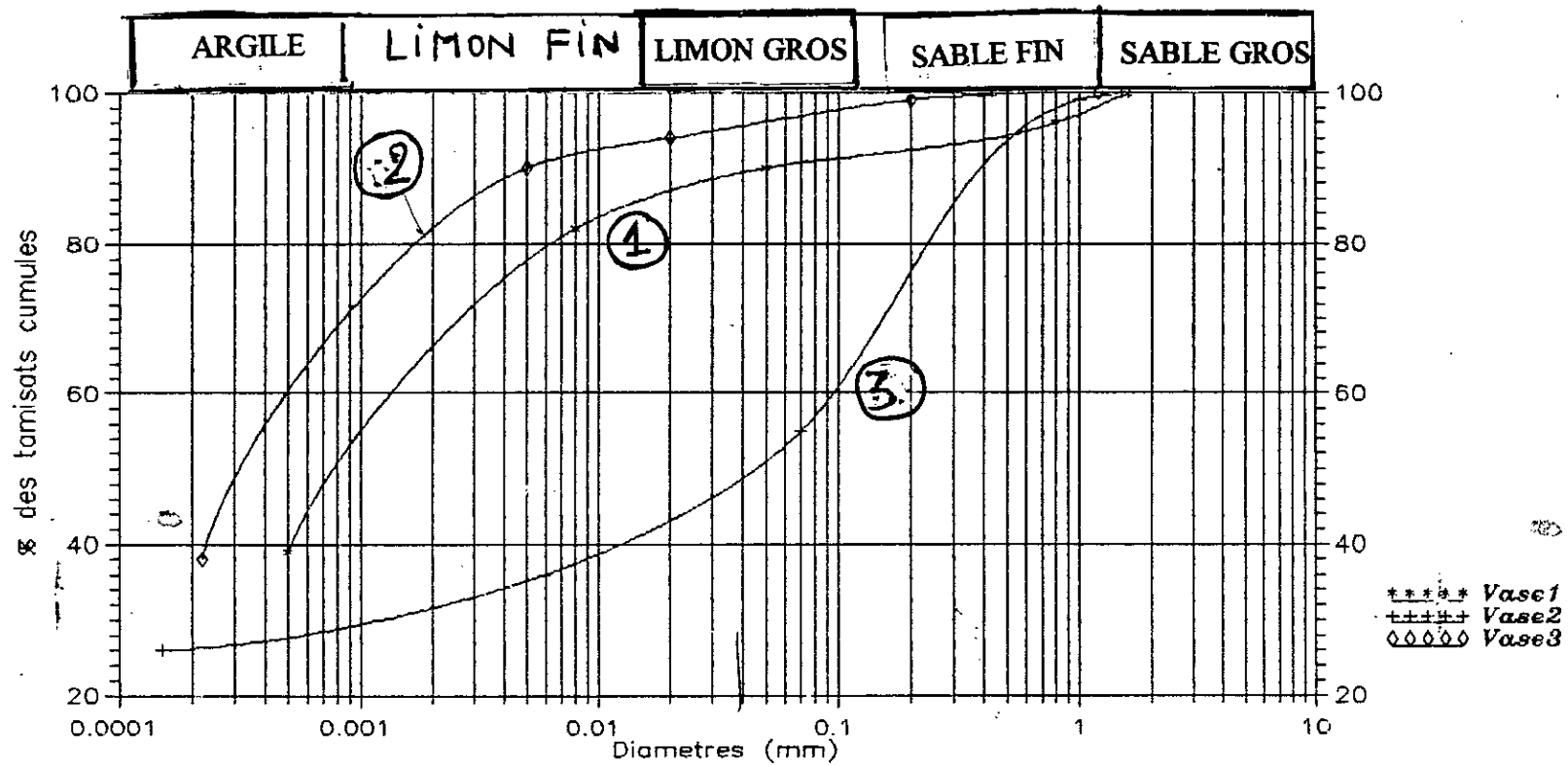


Figure IV.7- Courbes granulométriques



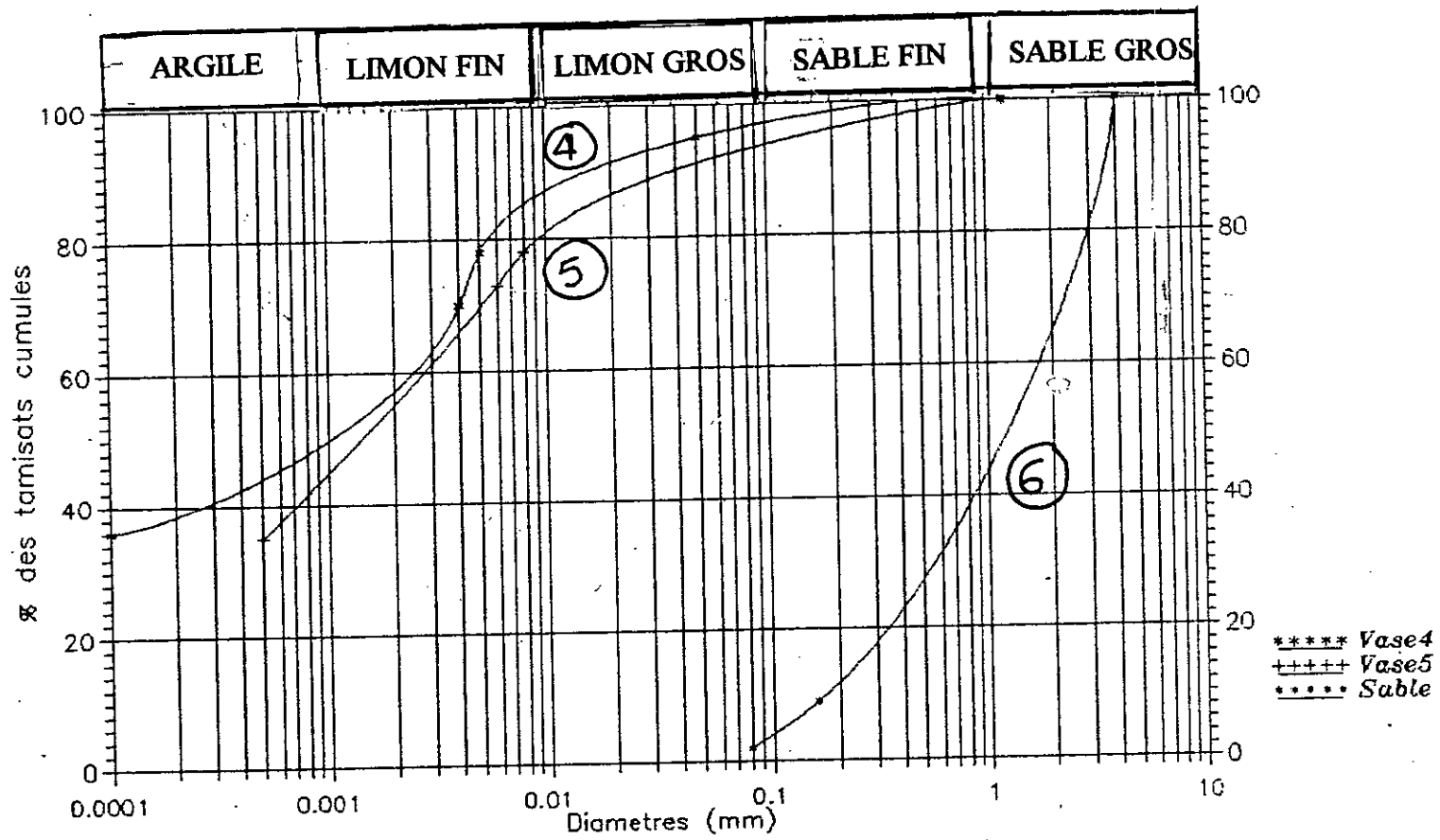


Figure IV.6- Courbes granulométriques

La présentation des résultats graphiquement sur papier semi-logarithmique est particulièrement importante pour la définition de la texture d'un choix de vases étudiées. Cette granulométrie est représentée par la courbe classée de dimensions de grains. Dans certains cas, on se contente de la dimension moyenne des particules.

Après analyse et classification, on constate que ces profils granulométriques tendent vers une forme parabolique et l'allure de deux graphes est similaire [ Fig IV-6] et [Fig IV -7]. Sur ces courbes on constate que les vases de Oued El-Harrach [vase 1], du barrage d'Ighil Emda [ vase 2] , du barrage de Hamam Ghrouz [vase 4] ainsi que de la retenue collinaire de Ain Smara [vase5] présentent des pourcentages en argile et en limon fin assez proche . Leur moyenne est de 37% et 42 % respectivement . A l'exception de la vase du barrage de Foug El Ghorza[vase 3] qui se distingue par une valeur plus faible en argile égale à 26% et de limon fin à 10% . De même concernant le sable fin et le limon grossier , la vase 3 présente le pourcentage le plus élevé de 44% et 19% respectivement et ne contient qu'un faible pourcentage en argile et en limon fin [Fig IV-6 ]. Enfin , le pourcentage de sable grossier est très important dans l'échantillon 6 et donne 91% [Fig IV-7].

Afin de déterminer le comportement du constituant granulométrique le plus influent nous avons confronté chaque composant de nos échantillons à la variation du taux d'évaporation pendant une semaine.

Commençons par la courbe [Fig IV-8] qui donne le taux d'évaporation en fonction du pourcentage d'argile. Ce graphe montre la diminution de ce taux de 0.31 à 0.26 qui correspond à une augmentation des pourcentages d'argiles égale à 26% et 39% . Par contre le figure [IV - 9] présente , en général , une stabilité du taux d'évaporation pour un pourcentage allant du 10% à 43% de limon fin . Au delà, de cette valeur , on constate une légère augmentation qui est due certainement aux conditions extérieures.

La courbe suivante prend en considération le pourcentage du limon grossier et montre que le taux maximal d'évaporation a été observé à la valeur de 0.31 pour un pourcentage de 19% . Alors que le minimal est égal à 0.22 pour un pourcentage de 2% [Fig IV-10].

Examinons la courbe du sable fin qui est en augmentation à partir de 5% jusqu'à arriver à 44%. On constate un maximum de pourcentage en sable fin [Fig IV- 11].

Finalement la figure IV-12 présente un très faible pourcentage en sable grossier pour les 05 échantillons précédents, à l'exception de l'échantillon 6 qui présente 91% pour un taux d'évaporation maximal , aucun pourcentage n'apparaît ni en argile ni en limon fin dans cet échantillon.

Nous pouvons conclure que plus le pourcentage d'argiles est important , plus le taux d'évaporation est faible . Ceci est expliqué par la courbe [Fig IV-7] qui montre que les vases 1,3,4,5 sont presque identiques et présentent dans leurs majorités les valeurs suivantes :

- La vase n° 1 possède 82% d'élément fin dont 18% élément grossier.
- La vase n° 3 possède 90% d'élément fin dont 10% élément grossier.
- La vase n° 4 possède 70% d'élément fin dont 30% élément grossier.
- La vase n° 5 possède 73% d'élément fin dont 27% élément grossier.

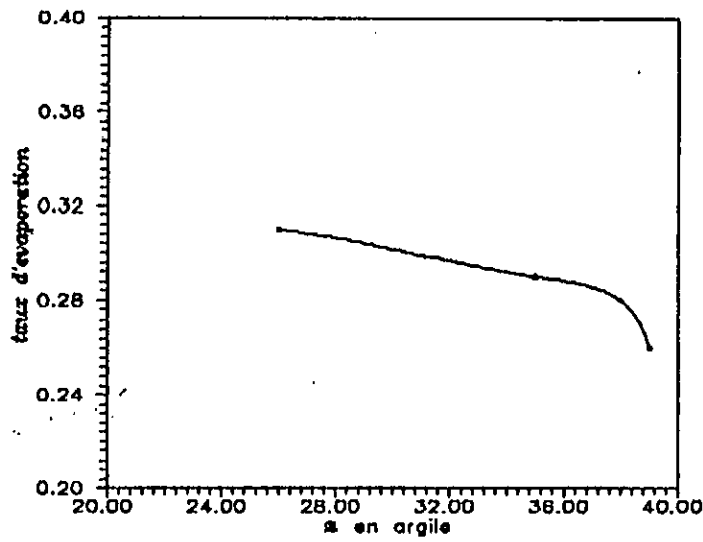


Figure IV.8 - Taux d'évaporation en fonction du pourcentage d'argile

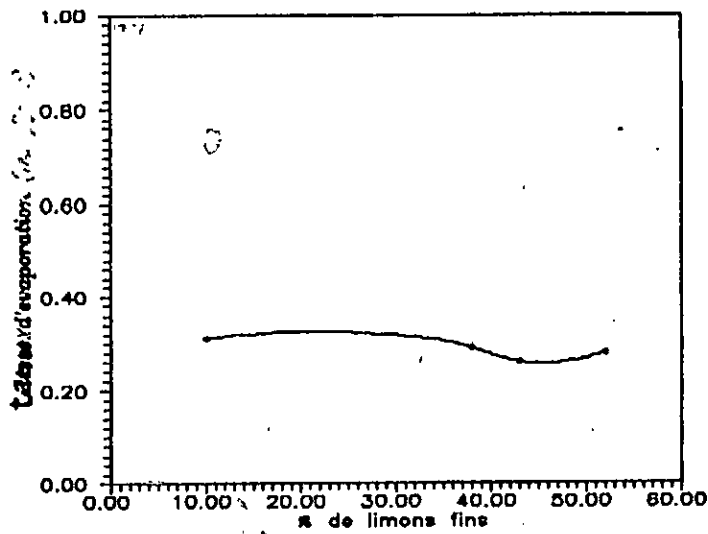
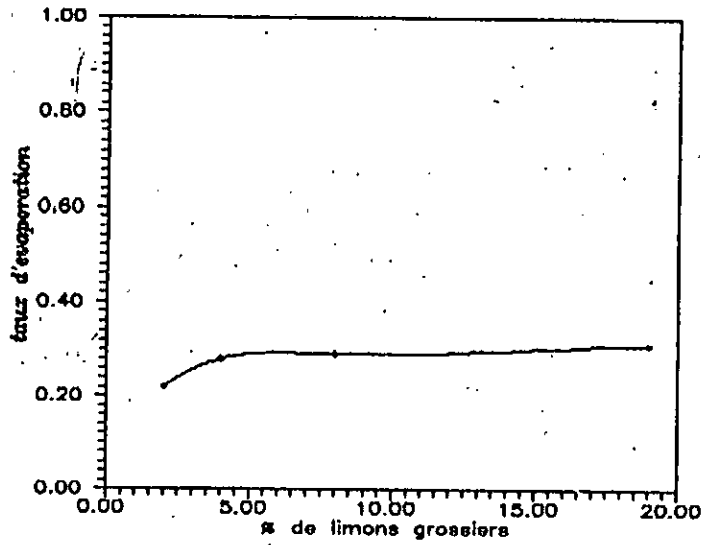
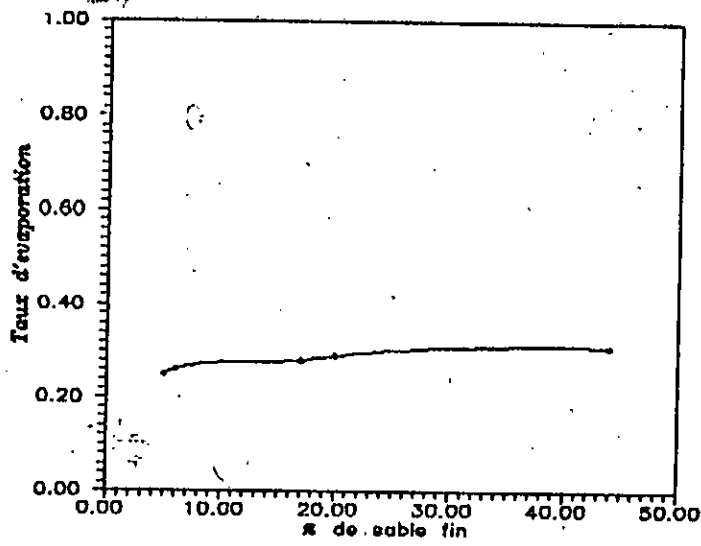


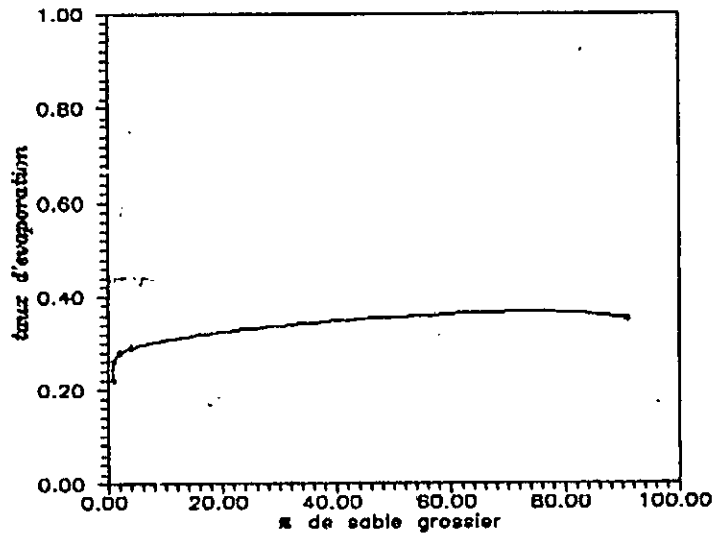
Figure IV.9 - Taux d'évaporation en fonction du pourcentage de limons fins



*Figure IV.10- Taux d'évaporation en fonction du pourcentage de limons grossiers*



*Figure IV.11- Taux d'évaporation en fonction de pourcentage de sable fin*



*Figure IV.12—Taux d'évaporation en fonction du pourcentage de sable grossier*

On remarque le contraire dans la courbe de la vase n°2 qui présente dans sa majorité du sable, elle est composée essentiellement de 36% élément fin, dont 10% d'élément grossier.

A la fin et d'après les résultats obtenus, nous concluons que les vases étudiées sont fines et du type vase argileuse dont sa composition granulométrique joue un rôle prépondérant sur la variation du taux d'évaporation ce qui conduit à constater que le phénomène de l'évaporation est influencée par le type de vase considérée.

### 3 - ANALYSE DES RESULTATS CHIMIQUES

#### 3.1 EFFET DE LA MATIERE ORGANIQUE:

La matière organique se trouvant dans le sol subit une évolution dans le temps. Elle est formée essentiellement des débris végétaux présentant des degrés de décompositions depuis l'état de feuilles, tiges, racines jusqu'à celui d'une substance d'une extrême finesse. Nous groupons dans cette expression toutes les substances oxydables.

Les résultats de dosage de l'azote comparés au dosage du carbone d'un même sol, donneront une idée du mode de l'évolution de la matière organique : Evolution caractéristique d'un climat et souvent d'un type de sol. Le dosage choisi ne donne pas le carbone total, mais le carbone d'une matière déjà évoluée agronomiquement. L'azote se trouvant dans le sol existe principalement lié au carbone des matières organiques d'origine végétale. Il peut exister sous plusieurs formes minérales [  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  .... ] mais leur quantité est faible. Les courbes de variation de la vitesse d'évaporation en fonction de la matière organique, de l'azote et du carbone présentent trois phases dont l'allure est la même.

La première phase est une diminution rapide pour chaque paramètre, or la deuxième phase est une augmentation brusque. Par la suite, à la troisième phase les courbes présentent une diminution et nous constatons que pour la même vitesse d'évaporation minimale  $\alpha = 0.27\text{mm/j}$ , la concentration varie comme suit :

- Pour les vases dont la vitesse d'évaporation varie entre  $0.27\text{mm/j}$  et  $0.54\text{mm/j}$ , la concentration augmente très rapidement de  $1,00\%$  -  $1,50\%$  pour la matière organique, de  $0,67\%$  -  $0,82\%$  pour l'azote et  $6,50\%$  -  $11,20\%$  pour le carbone. Mais lorsque cette vitesse est supérieure, la courbe commence à diminuer [ Fig IV - 13 ], [ Fig IV - 14 ] et

[ Fig IV-15 ]. Par ailleurs, nous constatons pour une même vitesse d'évaporation, nous obtenons deux concentrations différentes.

Par exemple, pour une vitesse de  $0,4\text{mm/j}$  nous avons respectivement  $0,2\%$ - $1,2\%$  pour la matière organique et  $0,18\%$ - $0,75\%$  pour l'azote et  $1\%$ - $7\%$  pour le carbone.

Prenons à titre d'exemple: La vase de l'Isère qui a été exposé à l'air libre pendant quelques jours. Elle devenait noire et nauséabonde par suite de la décomposition des matières organiques. La mesure de cette vase oxydée fait apparaître systématiquement l'influence de ces matières par rapport à des vases fraîchement prélevées [26].

#### 3-2 EFFET DES RESERVES MINERALES

##### PRESENCE DE CARBONATE DE CALCIUM

Le calcaire actif est le calcaire très fin se trouvant dans le sol et pouvant avoir une action chlorosante sur les plantes. Il est défini comme étant le calcaire solubilisé par une solution d'exalate d'ammoniac à un  $\text{pH} = 9$  La représentation graphique donnant à la courbe une allure parabolique [Fig IV -16] montre que:

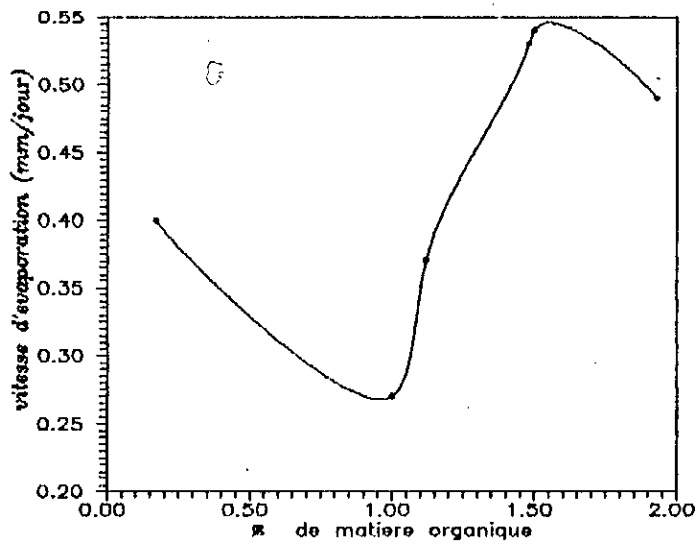


Figure IV.13—Vitesse d'évaporation en fonction de la matière organique

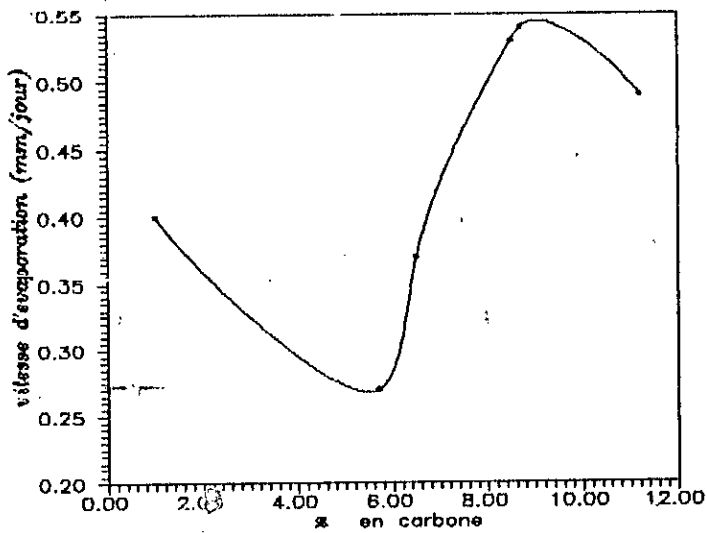


Figure IV.14—Vitesse d'évaporation en fonction du carbone

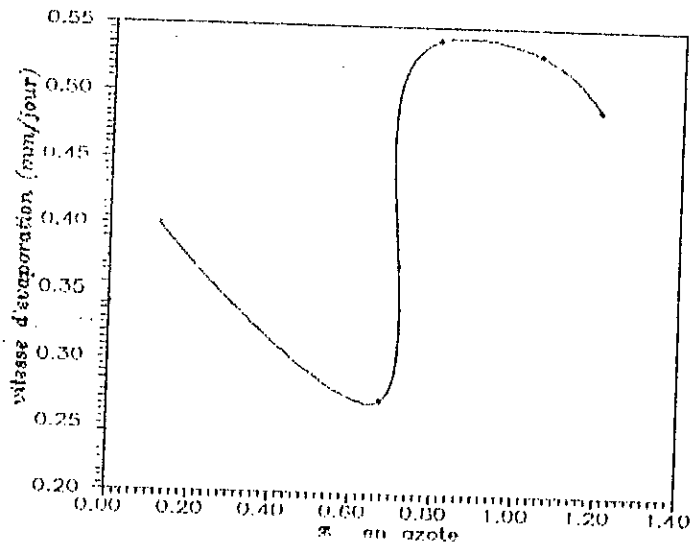


Figure IV.15—Vitesse d'évaporation en fonction de l'azote.

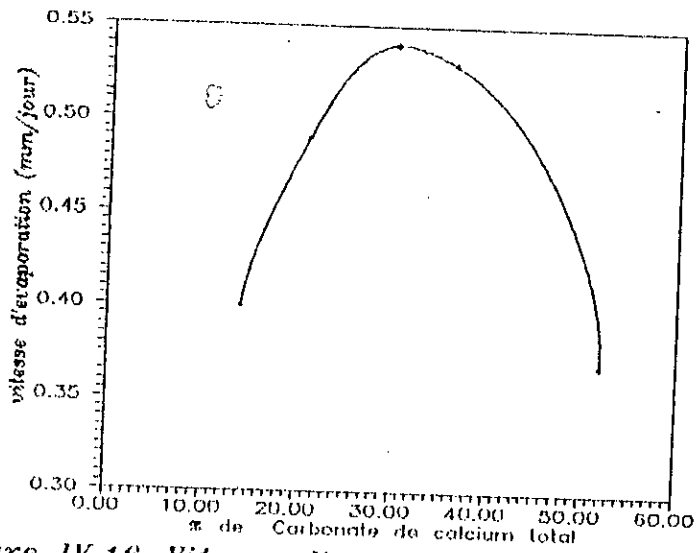


Figure IV.16—Vitesse d'évaporation en fonction du Carbonate de calcium total



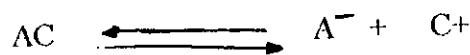
Les vases ayant une concentration en  $\text{CaCO}_3$  inférieur à 29.94%, leurs vitesses d'évaporation augmentent jusqu'à atteindre 0,54 mm/j. Au delà de cette concentration la vitesse commence à diminuer.

Prenons comme exemple la vase n° 1 qui a une concentration d'environ 30% présente la plus grande vitesse d'évaporation  $\alpha = 0.54\text{mm/j}$ .

### PRESENCE DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE

Le sol est plus au moins conducteur de courant électrique, cette conductivité est liée à la présence des ions. Elle augmente avec la température et la concentration des sels dissous. Elle permet d'évaluer rapidement mais approximativement la minéralisation globale et d'en suivre l'évolution.

Les minéraux du sol mis en solution, après extraction par l'eau distillée sont des électrolytes. Ils se dissocient partiellement pour donner des ions. Ces ions sont susceptibles de se déplacer sous l'action d'un gradient de champ électrique



La figure IV-18 montre que la courbe du Potassium total, a la même allure que la courbe de la conductivité [ Fig IV-17]. Elle présente un minimum de la vitesse d'évaporation de la vase n°3,  $\alpha = 0.27\text{mm/j}$  pour une conductivité de 1,70  $\mu\text{s/cm}$  et 2,20% de potassium total. A partir de 1.80  $\mu\text{s/cm}$ , la vitesse d'évaporation augmente avec l'augmentation de la concentration. Les vases dont la concentration en potassium total est supérieur à 2.20%, leurs vitesses augmentent de 0.27mm/j jusqu'à 0.47mm/j. Finalement nous remarquons pour la même vitesse d'évaporation 0.47mm/j, nous avons deux valeurs différentes de la conductivité électrique et le Potassium 0,80 - 2,20 et 4% - 3,20% respectivement

### 3-3 EFFET DE LA SOLUTION DU SOL

#### PRESENCE DU pH

La mesure du pH est nécessaire, elle présente une notion importante pour la détermination de l'agressivité du sol. Le pH varie entre 1-14, sa neutralité est obtenue pour une valeur de 7.

Les sols calcaires ont un pH supérieur à 7 et offre une réaction basique, ils contiennent des sels solubles basiques [ $\text{CO}_3\text{H}^-$ ...]. Les sols très acides ont un pH inférieur à 7 et contiennent plus au moins des quantités importantes des sels solubles acides [ $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ] ou des teneurs sensibles en acide sulfurique. Les sols moyennement acides [ faible acidité ] offrent un pH qui varie entre 5 - 7, leur acidité répond généralement à des faibles quantités de sels solubles.

La représentation graphique du pH montre que la vitesse d'évaporation présente une diminution brusque aux faibles variations de concentration en pH.

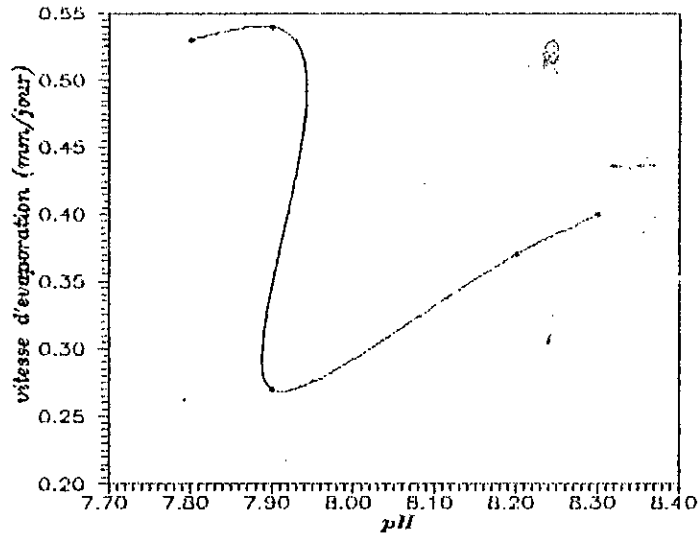


Figure IV.19—Vitesse d'évaporation en fonction du pH

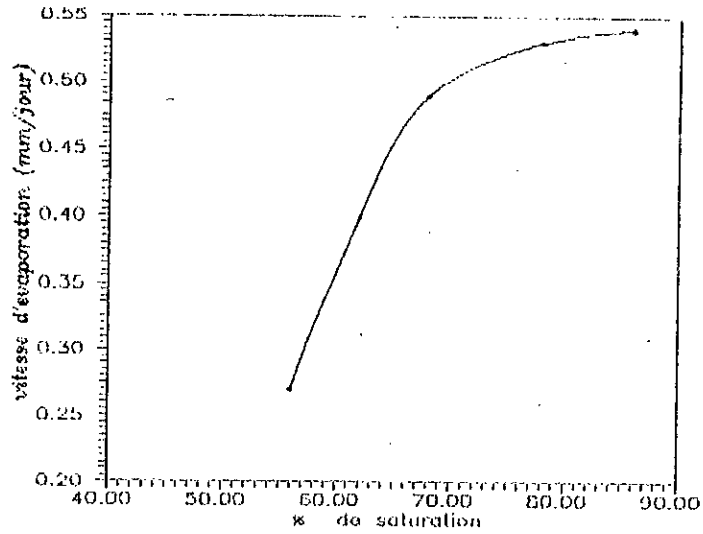


Figure IV.20—Vitesse d'évaporation en fonction du pourcentage de saturation

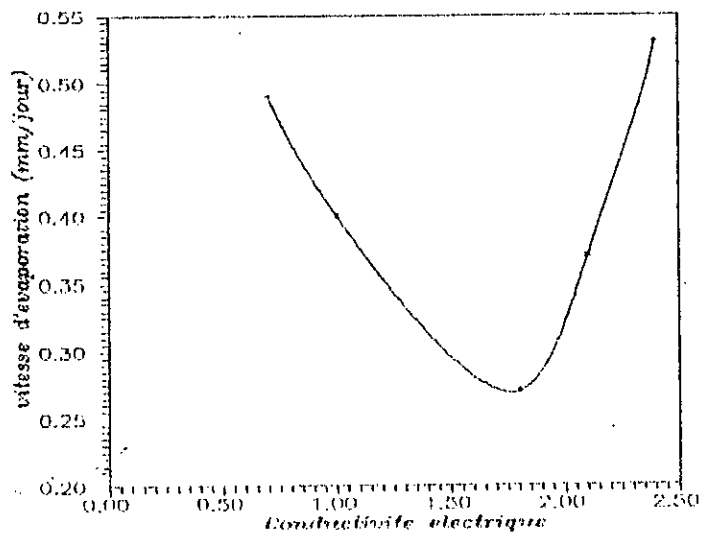


Figure IV.17—Vitesse d'évaporation en fonction de la conductivité électrique

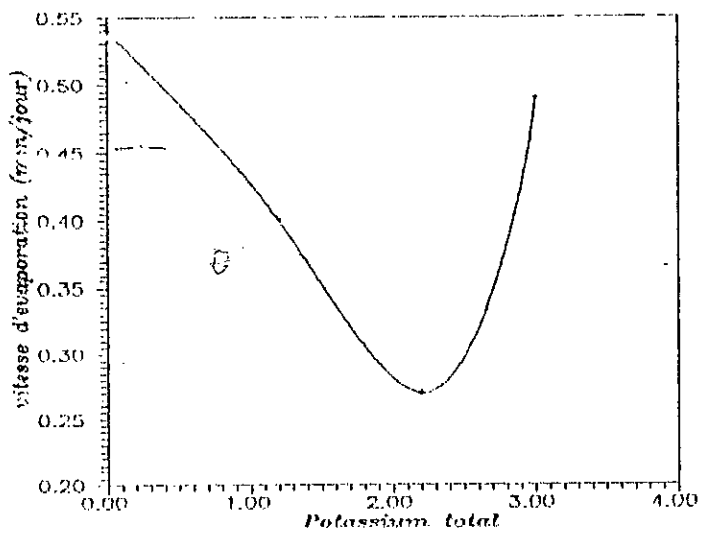


Figure IV.18—Vitesse d'évaporation en fonction du Potassium total

On remarque que le minimum du pH = 7.90 est obtenu pour une vitesse minimale d'évaporation  $\alpha = 0.27 \text{ mm/j}$ .

Ensuite, nous constatons une augmentation pour des valeurs supérieures du pH [Fig IV-19]. Notons que le pH d'une suspension mesurée à la surface est différent de celui mesuré en son sein. Pour une vitesse de 0.4 mm/j nous avons deux PH différent variant entre 7.90 et 8.30

### TAUX DE SATURATION:

La courbe du taux de saturation de certaines argiles en fonction du pH sont très différentes. Une argile en fonction du pH pourra fixer des sels basiques si son pH est en augmentation. En effet, de nouveaux ions échangeables prennent naissance en milieu alcalin.

Plusieurs auteurs ont tenté d'établir une relation entre le pH et l'état de saturation des sols, mais l'expérience a montré qu'il n'y a pas de proportionnalité rigoureuse entre les deux valeurs. Les indications du pH n'étant suffisamment précises que dans les cas extrêmes. D'après l'allure de la courbe, nous remarquons que la vitesse d'évaporation n'est pas linéaire et augmente avec l'augmentation du pourcentage de saturation. Au delà de 70% la vitesse devient moins rapide.

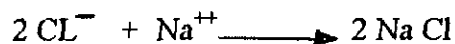
Pour une vitesse minimale de 0.27 mm/j, le taux de saturation est égal à 56%, par contre pour une vitesse maximale de  $\alpha = 0.54 \text{ mm/j}$  le taux atteint 86% [Fig IV - 20]. Et on voit que la vase commence à se saturer.

Rappelons que les courbes du taux de saturation en fonction du pH de certaines vases sont très différentes.

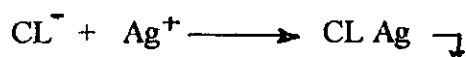
### 3-4 EFFET DU BILAN IONIQUE

Afin de faciliter les calculs, on a pris l'habitude, en chimie, d'évaluer les résultats d'analyse en [ m.éq/l ]. On a divisé le bilan ionique en deux types:

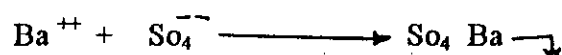
Les anions : qui regroupent les chlorures, les sulfates et les bicarbonates. Les chlorures constituent dans le sol un des éléments que l'on groupe sous le terme des sols solubles, ils sont le plus souvent liés au sodium



Par contre en présence de nitrate d'argent, les ions des chlorures précipitent en composé peu soluble



Alors que les ions des sulfates [So<sub>4</sub><sup>-</sup>] sont précipités par le chlorure de baryum sous forme de sulfates de baryum, très peu soluble



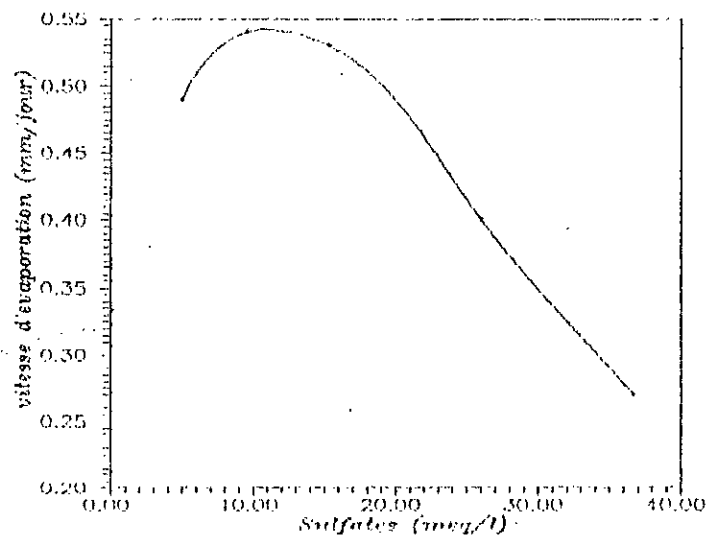


Figure IV.21—Vitesse d'évaporation en fonction des Sulfates

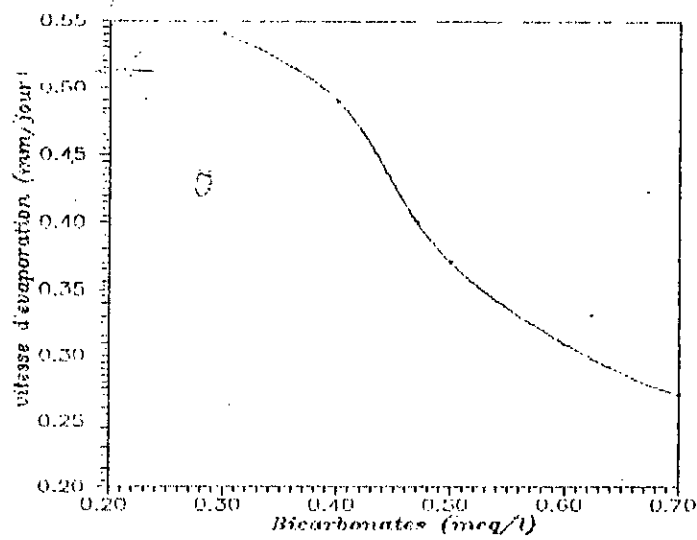


Figure IV.22—Vitesse d'évaporation en fonction du Bicarbonates

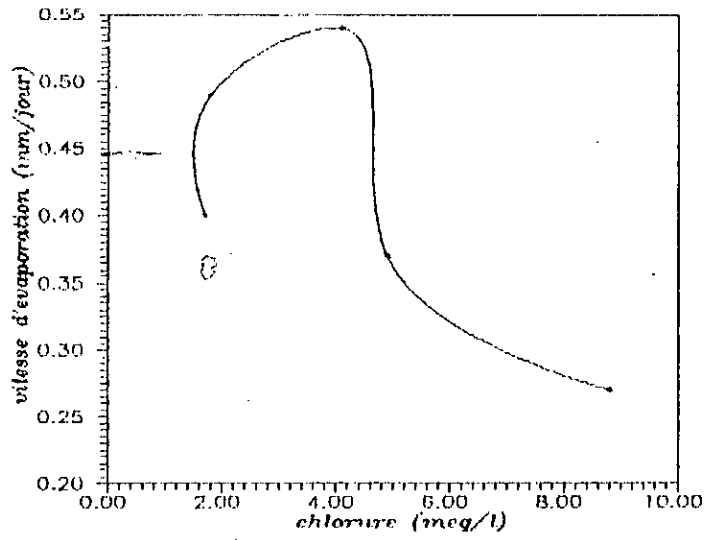


Figure IV.23—Vitesse d'évaporation en fonction du Chlorure

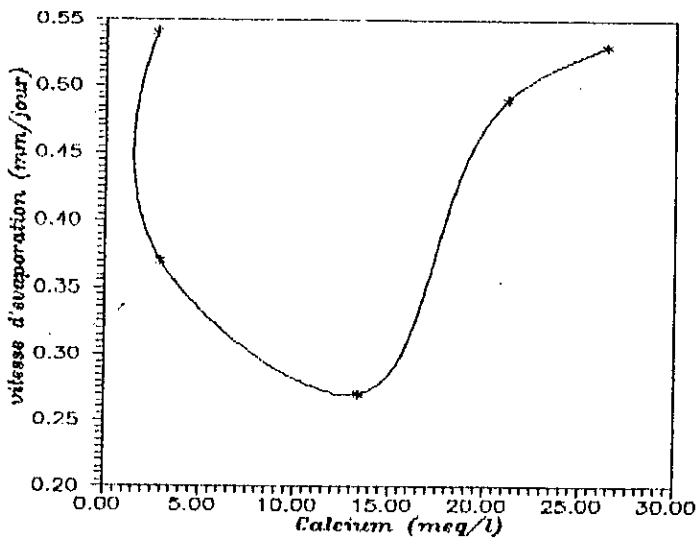
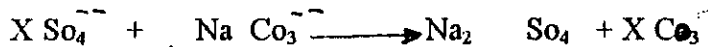


Figure IV.24—Vitesse d'évaporation en fonction du Calcium

Au pH inférieur, l'ion des sulfates peut être considéré comme un sol acide. Au pH élevé, ces ions réduisent l'action défloculante du carbonate de sodium



Les bicarbonates ( $\text{CO}_3 \text{H}^-$ ) et les sulfates ( $\text{SO}_4^{--}$ ) sont des ions qui se trouvent habituellement dans les solutions du sol, et leurs présences ne gênent pas.



D'après les figures IV-21 et IV - 23, nous remarquons deux phases différentes. Dans la première phase, une augmentation de vitesse qui atteint une valeur de 0.54 mm/j pour une concentration en chlorures et en sulfates de 4.1 m.éq.g/l et 9.6 m.éq.g/l respectivement. Par contre la deuxième phase correspond à une diminution de vitesse qui s'accompagne d'une augmentation de concentration.

Or la courbe [ Fig IV-22] est en décroissance, elle montre que pour une vitesse d'évaporation  $\alpha = 0.54 \text{ mm/j}$ , la concentration en  $\text{CO}_3 \text{H}^-$  donne une valeur de 0.3 m.éq.g/l par contre pour une vitesse minimale, sa concentration atteint une valeur de 0.7 m.éq.g/l.

Les cations: Les fractions argileuses ainsi que les matières organiques possèdent la propriété d'absorber, de fixer des substances diverses dans le sol, principalement les cations. Ces cations peuvent être déplacés par d'autres substances que l'on fait agir en solution. Il s'agit d'un échange entre les cations fixés et ceux de la solution. Ce phénomène a été étudié pour la première fois par WAY en 1950.



Les divers cations ne sont pas aussi facilement déplaçables par un autre cation donné. Ce déplacement se fait souvent suivant la série d'affinité.



Cet ordre peut varier avec la nature de l'absorbant et avec les valeurs de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ , on peut déduire le degré de saturation en cations.

La représentation graphique montre que la vitesse d'évaporation diminue avec l'augmentation de concentration en sodium et en calcium jusqu'à atteindre une valeur minimale de 0.27 mm/j pour 5.9 m.éq.g/l et 13.4 m.éq.g/l pour  $\text{Na}^+$  et  $\text{Ca}^{++}$  respectivement. Au delà, cette vitesse augmente avec l'augmentation de concentration de ces derniers [Fig IV-24] et [Fig IV-26].

L'allure de la courbe de la vitesse d'évaporation en fonction du magnésium est semblable à celle des chlorures [Fig IV-25]. Elle montre deux phases différentes, dont la première est en légère augmentation jusqu'à arriver au maximum de la vitesse  $\alpha = 0.54 \text{ mm/j}$ .

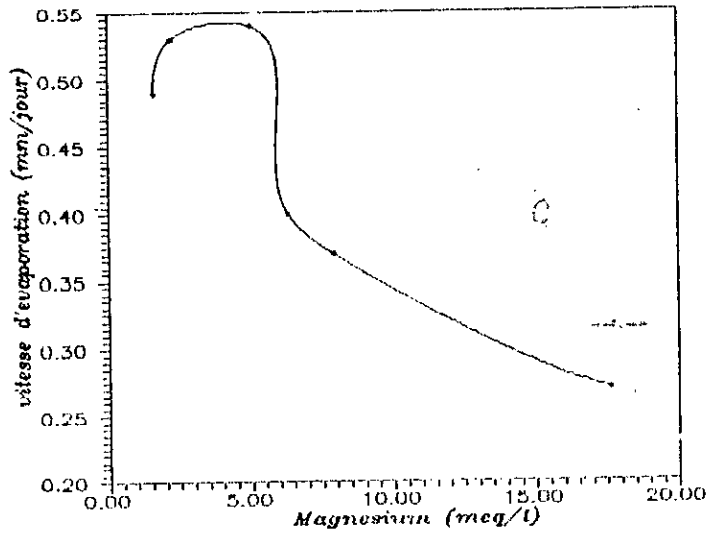


Figure IV.25—Vitesse d'évaporation en fonction du Magnésium

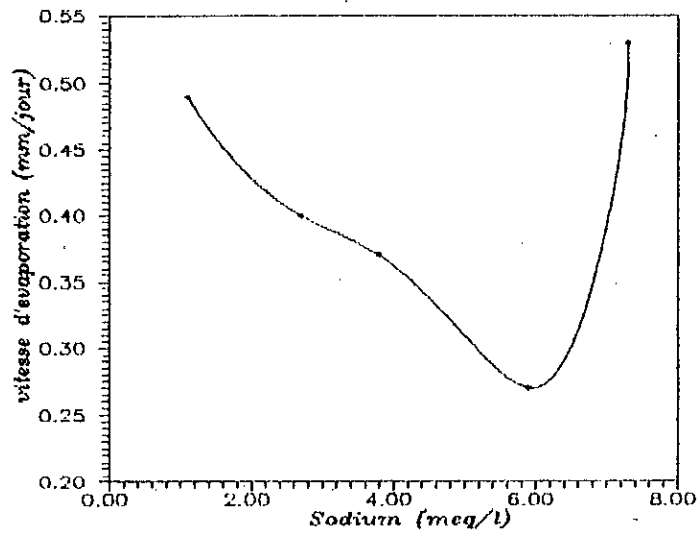


Figure IV.26—Vitesse d'évaporation en fonction du sodium



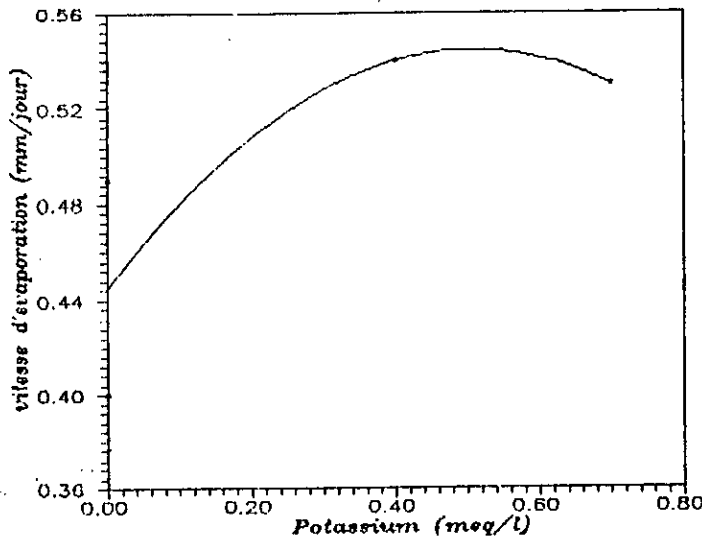


Figure IV.27—Vitesse d'évaporation en fonction du Potassium

Puis cette vitesse commence à diminuer et peut atteindre  $\alpha = 0.27$  mm/j pour une augmentation en concentration égale à 17.6 m.ég.g/l. Pour la même vitesse d'évaporation, nous obtenons deux concentrations différentes.

Finalement le graphe du Potassium montre qu'une augmentation inférieure à 0.7 m.ég.g/l se singularise par une stabilité [ Fig IV -27].

**Conclusion:**

En conclusion nous constatons que la composition chimique paraît avoir un effet indirecte sur la variation de la vitesse d'évaporation.

# CONCLUSION

## CONCLUSION

A la lumière des résultats obtenus lors de cette étude, les conclusions qu'on peut tirer se résument comme suit:

-Un travail n'est jamais véritablement achevé. Au cours de nos essais, de nombreuses questions ont surgi que nous n'avons pu examiner en détail. A fin d'éviter une dispersion préjudiciable à cette recherche motivée par un souci d'Hydraulicien.

En analysant l'effet granulométrique de la vase étudiée, nous avons remarqué que l'évaporation naturelle induite par l'eau chargée est plus importante que celle de l'eau claire. En plus des paramètres climatiques qu'il ne faut pas écarter, surtout la température de l'air qui est un paramètre déterminant. Ces deux facteurs, granulométrie et température peuvent entraîner une perte considérable dans la capacité utile de la retenue contenant beaucoup de sédiments, dont la proportion en sable est très importante.

Nous recommandons de faire des essais à des endroits différents, car sur un même site, il peut exister une diversité appréciable entre les différents échantillons, notamment la concentration, la texture et la composition chimique. Nous constatons d'après les résultats que l'activité biologique intense en milieu saturé favorise peut être indirectement la variation du taux d'évaporation. Puisque l'oxygène dissous est absorbé par les micro-organismes ce qui explique l'accélération du taux d'évaporation au fur et à mesure qu'on se rapproche des sédiments se trouvant au fond des deux cuves.

Nos résultats étaient analysés avec la problématique dont la difficulté résidait au niveau de l'analyse chimique. Cette dernière a particulièrement attiré notre attention, puisque l'étude de l'évolution de l'évaporation et de l'envasement diffère d'une région à une autre : tropicale, aride, semi-aride. En effet, ces sols sont soumis à des phénomènes incessants, se traduisant par un enrichissement en matière organique. Celle-ci fait intervenir le rôle de la composante chimique des sédiments.

Ces résultats étaient obtenus pour les conditions expérimentales fixées dans notre étude. Des études analogues, mais avec des conditions expérimentales différentes pourraient sans doute éclaircir d'autres propriétés de vase et permettent de mieux relier les constatations et la structure de la vase au phénomène de l'évaporation, pour arriver à des solutions de plus longue haleine. Sachant que les études faites sur l'envasement nous ont montré que malgré les travaux déjà réalisés, nous connaissons encore très peu la dynamique des vases tant en terme de modélisation que des résultats de mesure.

Vu le manque de recherche sur ce genre d'étude, une première mise au point a été faite en espérant que ce résultats permettent de mieux définir le phénomène qui constitue un pas vers l'établissement d'une bonne approche et pouvoir définir une véritable gestion des retenues. Cette approche reste encore au stade embryonnaire, et peut être entamé avec d'autres conditions de laboratoire. Sans doute, de nombreuses modifications seront apportées par différents chercheurs afin de ramener d'autres techniques de travail et de mesure, pour améliorer sensiblement la précision des résultats.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] M.L - ALBERTSON, 1955 : « Physique du phénomène de l'évaporation » la revue de la houille blanche n° 5 , PP 707-717.
- [2] T.ALLEN,1988 : « Granulométrie » Revue de la technique de l'ingénieur P.1040 [P2]
- [3] R.ARRUS, 1985 : « L'eau en Algérie » ed. O.P.U. Alger.
- [4] J.CH. Bernard , 1994 : a) « La sédimentologie de l'entrave de la rance.  
b) « les transports solides et l'alluvionnement » C. N.R.S, I.S.I.G.E PP 17-57 et PP 36-52.
- [5] C.BONNOT.COURTOIS , 1993 : « Analyse comparée des effets de dragage et de chasse Hydraulique sur l'envasement à l'amont du bassin maritime de la rance. » revue de la houille blanche. N° 8, PP, 541-550.
- [6] M.Bouvard, 1988 : « Entrainement des matériaux ». cours de l'I.NP de Grenoble.
- [7] O.A BUSAROVA, E.M Gusey, 1994 : « a method of calculating the root zone characteristics of some crops using evaporation models ». Water Ressource, volume 2, PP 192-195.
- [8] P.Pecheco Ceballos, 1989 : « Solution analytique au transport solide. » A.I.R.H N° 4, PP 501-518.
- [9] C. DABIN,1965: « Application des dosages automatiques à l'analyse des sols « 1ere partie - cahier de pédagogie, ORSTOM volume III Facicule 4 .
- [10] A.DEMMAK 1982: « Contribution à l'étude de l'érosion et du transport solide en Algerie. » thèse de docteur ingenieur, de l'Université Paris.
- [11] A.DAUBERT, J.C.LEBRETON ,1967: « Etude expérimentale et sur modèle mathématique de quelques aspects du processus de l'érosion des lits alluvionnaires en regime permanent et non permanent. » 12 ème congrés A.I.R.H , USA, PP 26- 37.
- [12] P.G.S DHILLON,1988: « Water power and Dam construction. » A.I.R.H N°5, PP 40-44.
- [13] R.W DUCK, J.MCMANUS 1994: « a long term estimate of bed load and suspended sediment yield derived from reservoir deposits. » Journal of Hydrology N° 159, PP 365-373.
- [14] A.DUPONT,1978: « Hydraulique urbaine » - Tome 1 , ed.Eyrolles, PP 17-18.

[15] A. FORTIER 1975 : « Aspects théoriques du fonctionnement d'un cyclone. » revue de la houille blanche N° 5-6 , PP 313-316.

[16] R. BOISCHOT; HEBERT 1947 : « dosage du calcaire actif des sols par la méthode à l'axalate d'amoinac, Annales agronomiques n°4 PP.522-529.

[17] R.I. GETA, 1979: « Application of scaling theory to calculation of evaporation from the water surface. » soviet Meterology and hydrology N°2, PP 88-95.

[18] R. GESSNER, 1936 , « Analyse mécanique du sol » Ed. Dunob.

[19] M. HUG, 1975 : « Mécanique des fluides appliquées. » ed. Eyrolles, PP 456 -548.

[20] F. KANOUN, 1981: « Propriétés dynamiques de la vase de Tunis . » thèse de 3ème cycle Université Paul Sabatier de Toulouse.

[21] A. KETTAB, B. REMINI, 1994: « L'évolution de l'envasement et l'évacuation des sédiments par les vannes de fond au barrage d'Ighil EMDA. » Premier séminaire National sur l'Hydraulique.(Université de Biskra).

[22] H. LAHLOU, 1988: « Etude actualisée de l'envasement des barrages au Maroc. » revue Science de l'eau N°3.

[23] J.C LEBRETON, 1974: « La dynamique Fluviale » ed. Eyrolles.

[24] B. LEGUENNEC, 1992, « Ecoulement solide -liquide et morphologie fluviale » : Polycopie de l'Ecole Polytechnique de Toulouse.

[25] A. LUNDBERG, 1993: « Evaporation of intercepted snow » Journal of Hydrology N° 151, PP 267-290.

[26] P. MAZOYER, 1954 « Possibilité d'emploi du verseante pour le dosage du calcium et magnesium échangeable dans les extraits des sols ». Les annales agronomiques volume VI .PP 1009 1016.

[27] C. MIGNIOT, 1979 : « Utilisation des modèles réduits sédimentologiques pour prévoir l'influence d'un ouvrage maritime sur l'évolution d'un littoral. » Revue la houille blanche N°4, 5, PP 291-300.

[28] C. MIGNIOT, 1989: « Tassement et rhéologie de la vase. » Revue la houille blanche N°1, PP 12-29 , N°2, PP 95-110.

[29] B. REMINI, 1990 : « Etude Hydrodynamique du mécanisme de l'envasement » Thèse de Magister E.N.P Alger.

[30] B. REMINI, M. BERKANI, 1990 : « Le mécanisme Hydrodynamique de l'envasement » Colloque sur l'érosion et l'envasement des barrages I.S.G.P Bordj El Kiffan.

- [31] G.REMINIERAS, 1980: « Hydrologie de l'ingenieur » ed.Eyrolles, PP 191-250.
- [32] S.RAIS, F.NAIFAR, 1989: « Comportement de la vase près des ouvrages de prise. « les annales de l'ENIT de Tunis, volume 3, N°2.
- [33] S.RAIS, 1980: « La thermodynamique de l'eau dans les milieux poreux en système ouvert: » D.E.A Université Paul Sabatier de Toulouse.
- [34] V.RAMETTE, 1981: « Hydraulique fluviale. » ed. Eyrolles.
- [35] M.SANCHEZ, A.CROVEL, 1993: « Modélisation du tassement sous poids propre de couche de vase molle et saturé sur un fond imperméable. » la houille blanche N°1 PP 29-33.
- [36] Ph.THORE, 1976: « Elaboration et critique de modèle mathématique et numérique de tarissement par évaporation application aux sols des zones arides » Thèse de docteur Ingenieur Université Paul Sabatier Toulouse.
- [37] G.U.WEIHAI, 1987: « preliminary study of the effect of typhoons on the siltation in the dredged channel in the yangtze estuary. » International Journal on public works and water ways development , PP 10-14.
- [38] I.R.WRIGHT, R.J.HARDING, 1993 : « Evaporation from naturel mountain glassland. » Journal of Hydrology N°145, PP 267-283.
- [39] C.S TRIGTER, CR Post, DJ.KEYSER, RI STAND, 1987: « Maitrise de l'alluvionnement des retenues. » Comité Internationale des Grands Barrages (C.I.G.B) PARIS.
- [40] UNITED NATIONS, 1974: « Latest developments in the technic of reducing evaporation from lakes and reservoirs. » Economic and social commission of asia and the pacific, water ressources journal, PP 8-10.