



Année Universitaire : 2013-2014



Master Sciences et Techniques : Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et  
Techniques

**Etude de la faisabilité de la recharge artificielle de  
nappe alluviale de la zone semi aride cas de la nappe  
alluviale de l'oued TATA (Sud-Est, Maroc)**

Présenté par:

**Mlle. ECHOGDALI Fatima Zahra**

Encadré par:

- Pr. BOUTALEB Said, GEOSMA, Agadir
- Pr. CHAOUNI Abdel-Ali, FST, Fès

**Soutenu Le 23 Juin 2014 devant le jury composé de:**

- Pr. CHAOUNI A.
- Pr. BOUTALEB S.
- Pr. BENABDELHADI M.
- Pr. TABYAOUI H.
- Pr. EL HAMMACHI F.
- Pr. JABRANE M.

**Stage effectué à : Bureau d'étude sol et sous sol géophysique  
et environnemental GEOSMA, Agadir**



## Remerciements

Ce mémoire de Master est le résultat d'un stage réalisé au sein du bureau d'étude GEOSMA. En premier temps j'adresse tous mes remerciements aux professeurs du département de Géologie de la Faculté des Sciences et Techniques pour leurs enseignements intéressants dans le cadre de ce master et leurs encouragements continus.

J'adresse également mes remerciements à Monsieur CHAOUNI Ali, mon encadrant et BOUTALEB Said (Co-encadrant) de m'avoir proposé ce sujet de recherche et pour leur présence et disponibilité au cours de la préparation de ce mémoire.

Je tiens également à remercier tous les employés de la société GEOSMA qui m'ont aidé et m'ont disposé toute leur expérience dans les différents domaines (Hydraulique, modélisation, géophysique etc) qu'ils trouvent ici l'expression de ma plus haute gratitude.

Je tiens aussi à remercier mes parents pour leur soutien financier, moral, psychologique et matériel. Si je suis ici aujourd'hui, c'est grâce à eux.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à mon frère, mes sœurs, ma famille et tous mes proches et amis, qui m'ont aidé et toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

## Résumé

L'objectif de ce travail est d'élaborer une méthodologie qui permet de réalimenter la nappe phréatique de Tata, cette étude permet d'étudier et modéliser le fonctionnement d'un barrage d'écrêtement qui vise à ralentir la vitesse de propagation des crues ce qui conduit à augmenter le temps de contact entre les alluvions et l'eau.

Cette recharge artificielle vise essentiellement à augmenter la circulation naturelle de l'eau de surface dans le sol selon des conditions hydrogéologique et géologiques de bassin versant de Tata.

La modélisation des écoulements en présence et en absence du barrage d'écrêtement montre une possibilité d'accroître la recharge artificielle de la nappe alluvionnaire. En effet on passe lors d'un événement de crue relativement modéré ( $277 \text{ m}^3/\text{s}$ ) de  $0.22 \text{ Mm}^3$  à  $2 \text{ Mm}^3$  soit un taux d'accroissement de la recharge multiplié par 10.

Cette étude montre l'importance des barrages d'écrêtements dans l'alimentation des nappes alluviales surtout dans les conditions climatiques sévères tel le bassin de l'oued Tata.

**Mots clés :** Recharge artificielle, barrage d'écrêtement, nappe alluviale.

# Sommaire

Résumé.....	3
Liste des figures.....	6
Liste des tableaux.....	7
Introduction générale.....	8

## Chapitre I : Cadre géologique général de la zone d'étude

I. Introduction.....	10
II. Description du bassin versant de l'oued Tata.....	11
2.1. Réseau hydrographique superficiel.....	11
2.2. Cadre climatologique du bassin versant.....	13
➤ Les précipitations.....	13
➤ Pluies annuelles.....	14
2.3. La crue dans l'année hydrologique.....	15
2.4. Durées, temps de montée et types d'hydrogrammes de crues.....	16

## Chapitre II : Cadre géologique et hydrogéologique de la zone d'étude

I. Introduction.....	19
II. Cadre Hydrogéologique.....	23
III. Caractéristiques du potentiel réservoir souterrain.....	24
3.1. Lithologie des formations perméables superficielles.....	24
3.2. Estimation des volumes des alluvions.....	25
3.3. Paramètres hydrogéologiques.....	26
3.4. Etude des écoulements souterrains.....	26
3.4.1. Estimation de la vitesse d'écoulement souterrain.....	26
3.4.2. Estimation des écoulements dans la nappe.....	27
3.4.3. Estimation de la vitesse d'infiltration.....	29

## Chapitre III : Etude hydrologique et Estimation des probabilités de crues de l'oued Tata

I. Introduction.....	30
II. Choix de l'ouvrage de recharge artificielle de la nappe.....	34
III. Modélisation des écoulements des débits et paramètres de dimensionnement des ouvrages hydrauliques.....	34

## **Chapitre IV : Modélisation de la recharge artificielle de la nappe alluviale en présence et en absence du barrage**

I. Introduction.....	40
II. Simulation de la recharge artificielle (infiltration) de la nappe et bilan hydrogéologique.....	40
2.1. Loi de la recharge.....	41
2.2. Volume d'eau infiltré en absence du barrage.....	41
2.3. Volume d'eau infiltré après le barrage.....	42
2.3.1. Infiltration dans la cuvette.....	43
2.3.2. Infiltration dans les alluvions en aval du barrage.....	46
2.3.3. Infiltration totale par effet du barrage.....	47
CONCLUSION GENERALE.....	48
Bibliographie.....	49

## Liste des figures

Figure 1 : Bassin versant de l'oued Tata au site du barrage proposé par l'ABHSMO.....	10
Figure 2 : Carte des pentes au niveau du bassin versant de l'oued Tata.....	11
Figure 3 : Carte du bassin versant.....	12
Figure 4 : Profil en long de l'oued.....	12
Figure 5 : Carte des isohyètes du domaine sud-atlasique.....	13
Figure 6 : Diagramme ombrothermique de Gausson à la station de Tata.....	14
Figure 7 : Carte de bassin versant de Tata avec le polygone de Thiessen.....	15
Figure 8 : Hydrogramme des crues type I classique.....	17
Figure 9 : Hydrogramme de la crue de 08.03.1994.....	17
Figure 10 : Hydrogramme des crues (III type).....	18
Figure 11 : Carte géologique du domaine sud-atlasique.....	19
Figure 12 : Carte géologique de bassin versant de Tata.....	23
Figure 13 : Coupes géologiques des sondages.....	24
Figure 14 : Plan de situation des sondages.....	28
Figure 15 : Modélisation des crues à différentes fréquences selon crue du 03.11.1987.....	33
Figure 16 : Situation du barrage de Tata.....	36
Figure 17 : Ecrêtement de la crue de projet sur Tata.....	39
Figure 18 : Crue 10.11.1988.....	40
Figure 19 : Comparaison des pourcentages de volumes d'eau infiltrés en absence et en présence du barrage.....	47

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition mensuelle des crues.....	16
Tableau 2 : Epaisseur des alluvions selon les sondages électriques verticaux.....	25
Tableau 3 : Surface des coupes géologiques.....	27
Tableau 4 : Vitesse d'infiltration des eaux.....	29
Tableau 5 : Valeurs maximales des débits des crues à la station Kasbat Zolite.....	31
Tableau 6 : Ajustement des pluies maximales annuelles à la loi de Gumbel.....	32
Tableau 7 : Ajustement des débits maximums annuels à la loi de Gumbel.....	32
Tableau 8 : Hydrogramme de crue de fréquence donnée au site du barrage.....	33
Tableau 9 : Volumes d'eau.....	37
Tableau 10 : Ecrêtement de la crue de projet ( $T_r = 200$ ans) sur Tata.....	38
Tableau 11 : Résultats du calcul des volumes infiltrés de la crue étudiée.....	42
Tableau 12 : Calcul du débit total (buse + déversoir +infiltration).....	43
Tableau 13 : Hauteur et surface mouillée.....	44
Tableau 14 : Laminage de la crue du 10.11.1988.....	44
Tableau 15 : Infiltration dans la cuvette de la crue du 10.11.1988 par le barrage de Tata.....	45
Tableau 16 : Eau infiltrée par la crue du 10.11.1988 en aval du barrage.....	46

## Introduction générale

Les ressources en eau, plus que toute autre forme de ressources, constituent un élément fondamental et nécessaire au maintien et au développement de toute activité humaine, économique et sociale.

L'évolution rapide des besoins en eau, et de ses différents usages constatés au Maroc, prouve que notre pays se trouve actuellement dans une phase de transition entre la période, où les ressources en eau étaient considérées comme inépuisables et la situation actuelle où la demande fait face à une pénurie qui ne cesse de s'aggraver dans diverses régions du pays, du fait de la croissance des besoins, de la surexploitation des ressources et des déficits d'alimentation naturelle en raison des sécheresses qui caractérisent son climat aride à semi-aride.

De ce fait, et pour pouvoir répondre aux besoins exprimés, les ressources hydrauliques naturelles du pays doivent être mises en valeur, suivant un plan d'ensemble cohérent, tenant compte de nécessités de conservation, de prévention, et de protection, tant en quantité qu'en qualité.

Pour ce faire, différents moyens souvent complémentaires et parfois contradictoires sont utilisés pour assurer une adéquation des ressources aux besoins exprimés :

- Construction de grands aménagements de stockage pour régulariser les eaux de surface.
- Rationalisation et optimisation des prélèvements d'eau souterraine.
- Gestion intégrée des eaux de surface et souterraines à l'échelle des bassins.
- Transfert des eaux inter-bassins des régions excédentaires vers les régions déficitaires.

Parmi toutes ces actions, l'amélioration des eaux souterraines par recharge artificielle constitue également un outil de gestion, parfois précieux et aussi un remède pour assurer une restauration de la ressource.

Elle consiste en plus de l'alimentation naturelle, à introduire dans le réservoir souterrain des quantités importantes d'eau, essentiellement de surface pour leur

éviter d'une part d'être perdues et pour pouvoir d'autre part les réutiliser dans des conditions de régime et de qualité différentes.

Elle offre de même la possibilité, lorsque les conditions hydrogéologiques le permettent, de restaurer l'équilibre naturel des nappes côtières, et de repousser le biseau salé ou du moins le retenir.

Dans plusieurs cas, les aménagements de surface, en plus du coût élevé et des conditions climatiques défavorables peuvent avoir un impact négatif sur les eaux souterraines en aval, en réduisant leur alimentation naturelle. La recharge artificielle peut intervenir alors lorsque la disponibilité de la ressource le permet, pour remédier à la situation et permettre une meilleure valorisation des eaux de surface et des possibilités de stockage souterrain.

Le développement de la recharge artificielle au Maroc, comme dans tous les pays à climat aride et semi-aride suppose que plusieurs conditions essentielles soient réunies :

La disponibilité de la ressource d'alimentation n'est pas toujours évidente, étant donné que le fléau de sécheresse frappe de temps à autre, et que les crues rares et ponctuelles sont souvent reprises immédiatement par des barrages de dérivation pour être répandues et permettre aussi, le développement de l'agriculture et l'alimentation des nappes souterraines. La qualité des eaux de crue souvent chargées en transport solide pose des problèmes de colmatage.

C'est dans ce cadre que nous avons entrepris cette étude de faisabilité de recharge artificielle au niveau du bassin de l'oued Tata qui présente un site propice et favorable à ce type de technique de gestion d'eau. Le choix du site a été proposé par l'Agence du bassin Hydraulique du Souss Massa et Drâa. Il est à noter enfin que l'essentiel de ce travail a été réalisé avec l'équipe de spécialistes du bureau d'étude GEOSMA qui s'intéresse au développement des techniques de recharge artificielle des nappes surtout des milieux arides à semi-arides. Le dispositif choisi dans notre cas est un barrage d'écrêtement permettant de stopper la crue au droit du barrage et un écrêtement de celle-ci pour augmenter le temps de la crue et par conséquent le temps de contact entre les eaux et les alluvions ce qui induira finalement à une infiltration plus importante des eaux en aval du barrage.

## Chapitre I : Cadre géographique général de la zone d'étude

### I. Introduction

Situé au sud-est de la chaîne de l'Anti-Atlas, entre les coordonnées X (200 000 et 260 000) et Y (280 000 et 360 000), le relief du bassin de l'oued Tata est composé en général des formations anciennes allant du précambrien à l'acadien et de formations plus récentes alluvionnaires du quaternaire. La région présente une homogénéité physique avec un paysage oasien dans les endroits où le potentiel hydrique est facilement exploitable, et un autre désertique dans les zones sahariennes et rocailleuses (fig.1).

Malgré l'aridité du climat dans la région, le secteur agricole joue un rôle déterminant dans le tissu économique local, étant donné qu'il occupe environ 80 % de la population active. Le secteur est aussi dominé par une activité pastorale issue d'une vocation traditionnelle enracinée dans le mode de vie nomade.

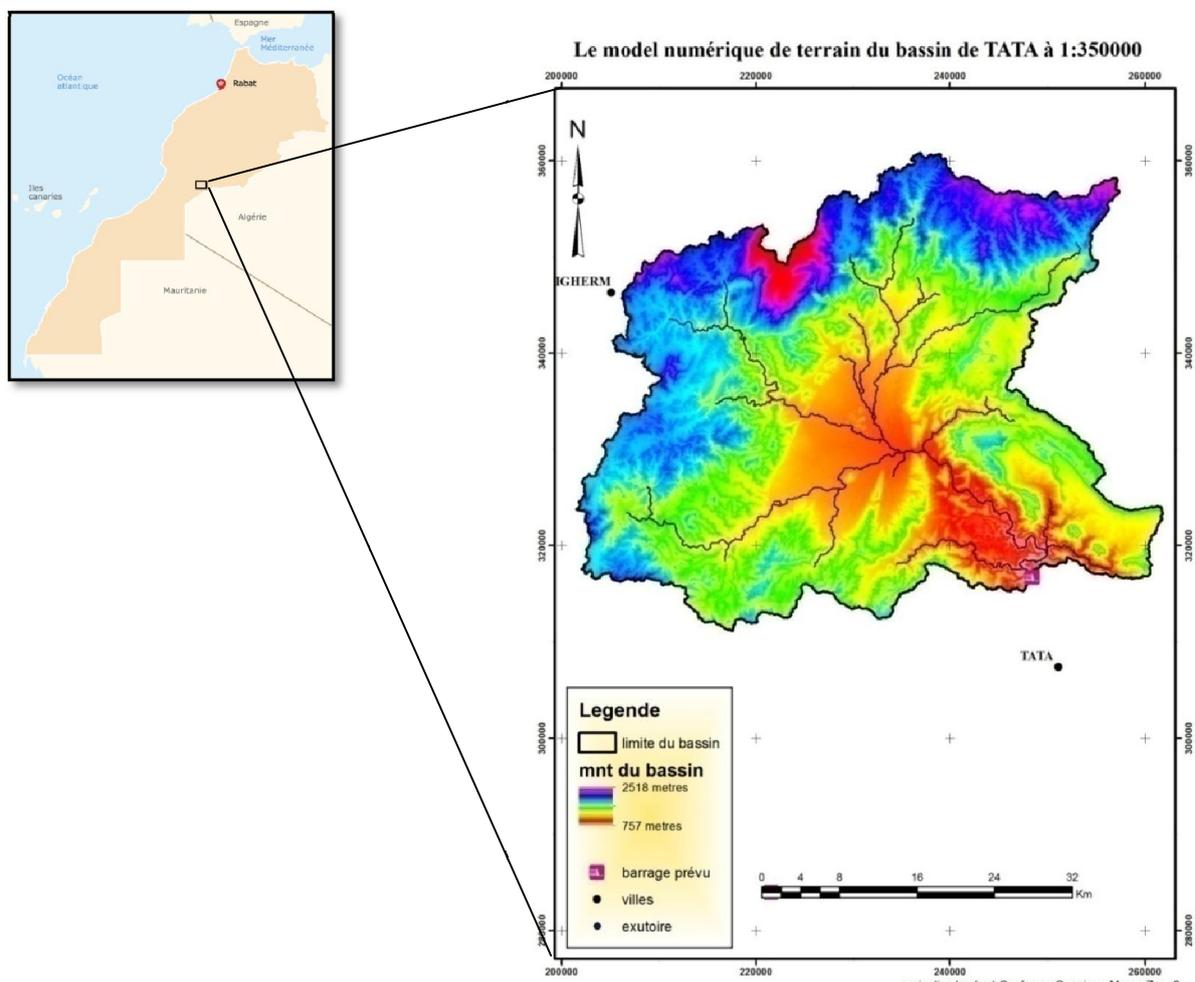


Figure 1 : Bassin versant de l'oued Tata au site du barrage proposé par l'ABHSMD

## II. Description du bassin versant de l'oued Tata

### 2.1. Réseau hydrographique superficiel

L'oued Tata au site du barrage, dispose d'un bassin versant de 1890Km<sup>2</sup>. Il présente une variation d'altitude qui oscille entre 1089 et 860 m; la longueur du cours principale de l'oued, au site du barrage est de 37,3 km, avec une pente moyenne de l'oued de l'ordre 0,6% (fig.2). Les deux figures 3 et 4 visualisent respectivement le réseau hydrographique et le profile en long au niveau du bassin versant.

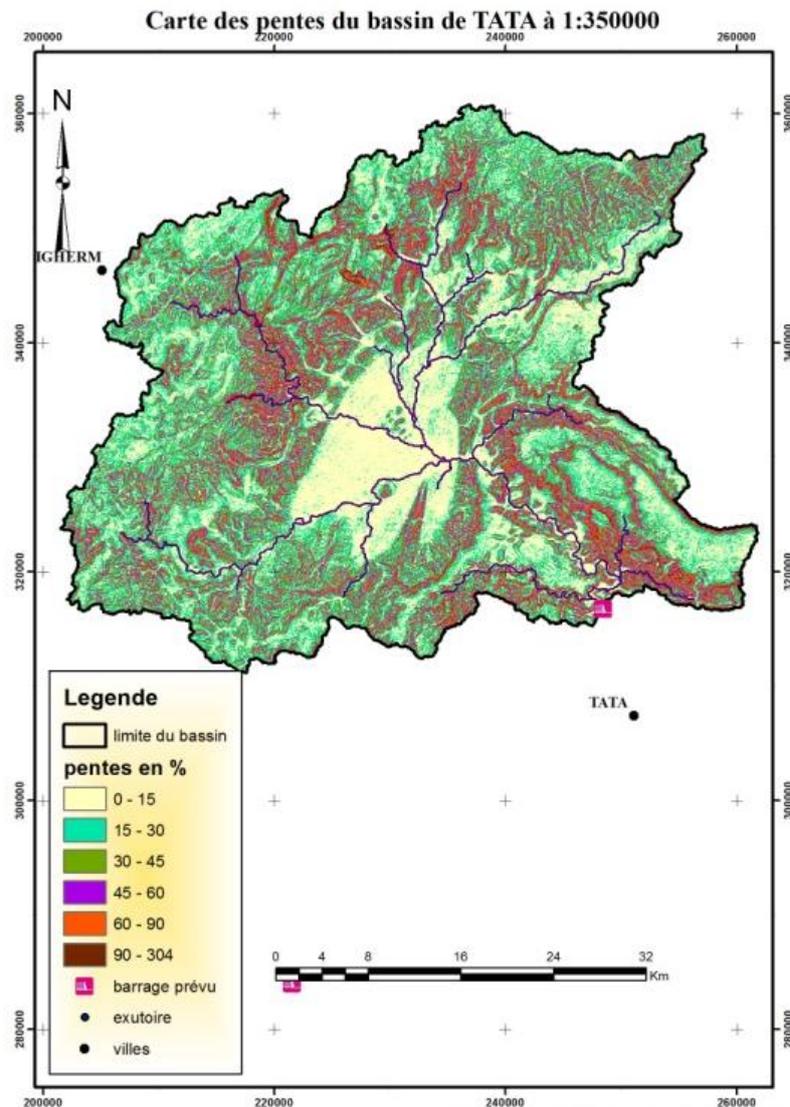


Figure 2 : Carte des pentes au niveau du bassin versant de l'oued Tata

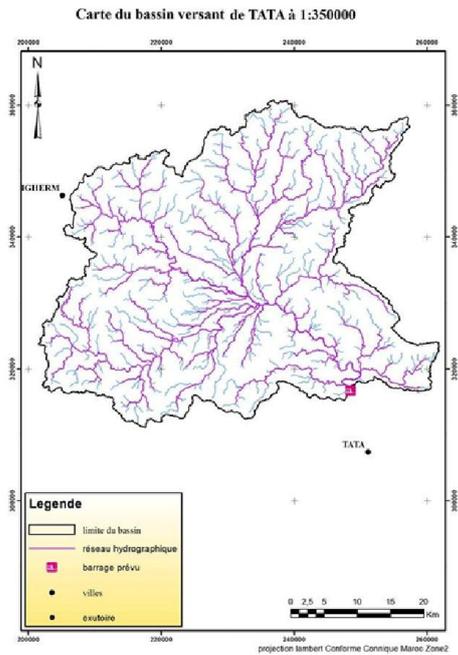


Figure 3 : Carte du bassin versant

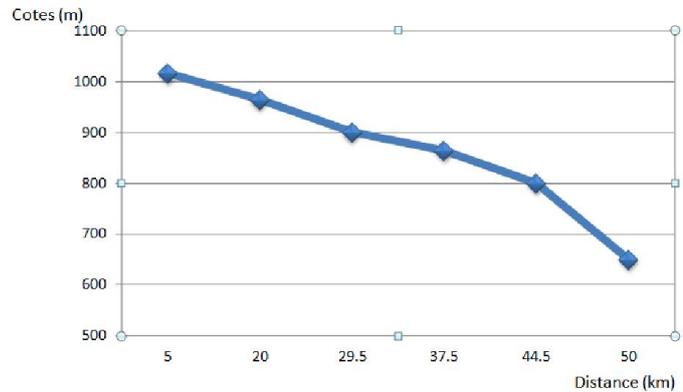


Figure 4 : Profil en long de l'oued

Ce bassin est équipé d'une station de jaugeage (Kasba Zolite) située juste en amont de l'agglomération urbaine de Tata qui enregistre les débits ainsi que les crues de l'oued. Les observations des tableaux des débits (20 ans de suivis) depuis l'année 1985/86 montrent que cet oued observe entre :

- 4 crues par an comme maximum de crues enregistrées pendant les années (86/87 et 87/88).
- 2 crues par an dans deux années (85/86 et 96/97).
- 1 crue par an enregistrée pendant une dizaine d'années.
- Aucune crue n'a été enregistrée dans quatre années consécutives (89/90, 90/91, 91/92, et 92/93).

Le débit moyen des crues enregistré est de l'ordre de  $258,10 \text{ m}^3/\text{s}$  (max 833 et min  $6,62 \text{ m}^3/\text{s}$ ), le volume moyen calculé de ces crues est de  $6,58 \text{ Mm}^3$  (max 32,11 et min  $0,134 \text{ Mm}^3$ ).

## 2.2. Cadre climatologique du bassin versant

### ➤ Les précipitations :

La carte de la figure 5 porte les isohyètes moyennes de 100 et 300 mm/an de la zone Sud-Atlasique à laquelle appartient notre bassin. On remarque que la zone d'étude montre une moyenne annuelle de l'ordre de 100 mm/an.

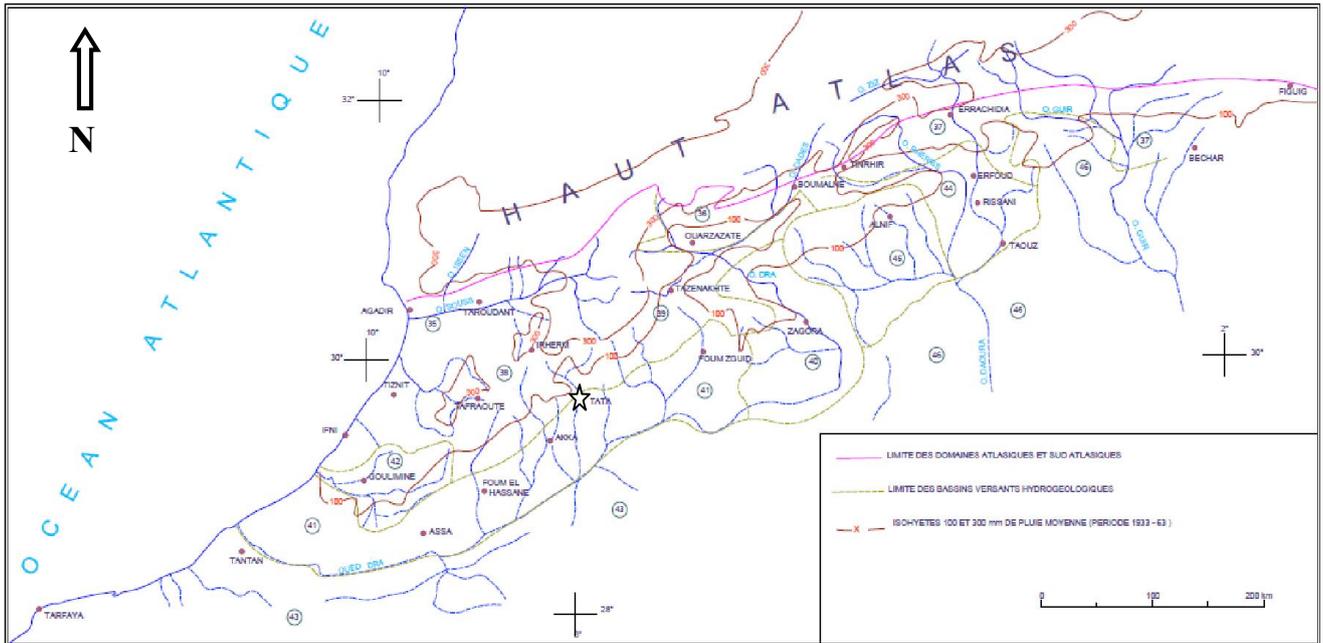


Figure 5 : Carte des isohyètes du domaine sud-atlasique

Le report des valeurs de précipitations et de température sur le diagramme ombrothermique de Gausson montre que les précipitations sont moins abondantes et présentent un seul maximum limité à l'automne (septembre à novembre-décembre), mettant bien en évidence le fait que les précipitations sont essentiellement causées par des perturbations orageuses fort aléatoires en général (fig.6).

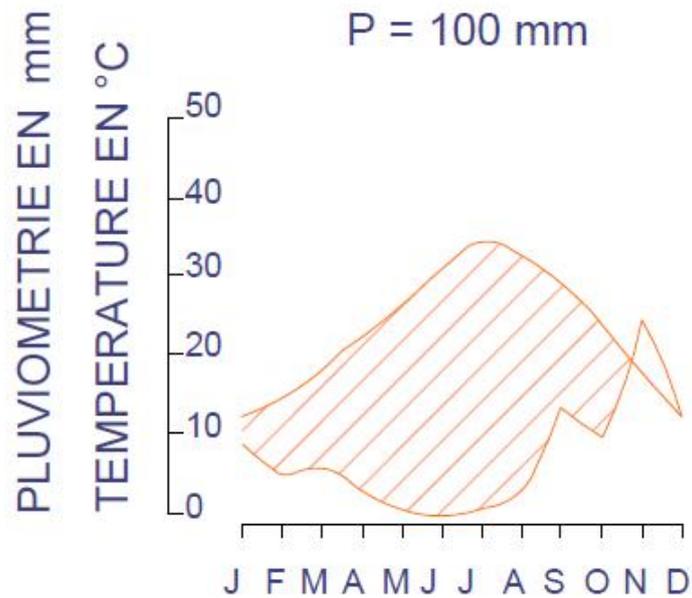


Figure 6 : Diagramme ombrothermique de Gaussen à la station de Tata

➤ Pluies annuelles :

En se basant sur l'utilisation des polygones de Thiessen produits à partir des stations pluviométriques disponibles (Tata, Igherm et Akka), le bassin de l'oued Tata au site du barrage (1960 Km<sup>2</sup>) dépend pour 1053 Km<sup>2</sup> de superficie de la station pluviométrique d'Igrem et pour 907 Km<sup>2</sup> de superficie de la station de Tata (fig.7).

Le volume moyen des précipitations enregistré (20 ans 1982-2001) a été de 337 Mm<sup>3</sup>/an; la valeur maximale a été 728 Mm<sup>3</sup>/an pendant l'année 1987/88 et la valeur minimale 70 Mm<sup>3</sup>/an pour l'année 1985/86.

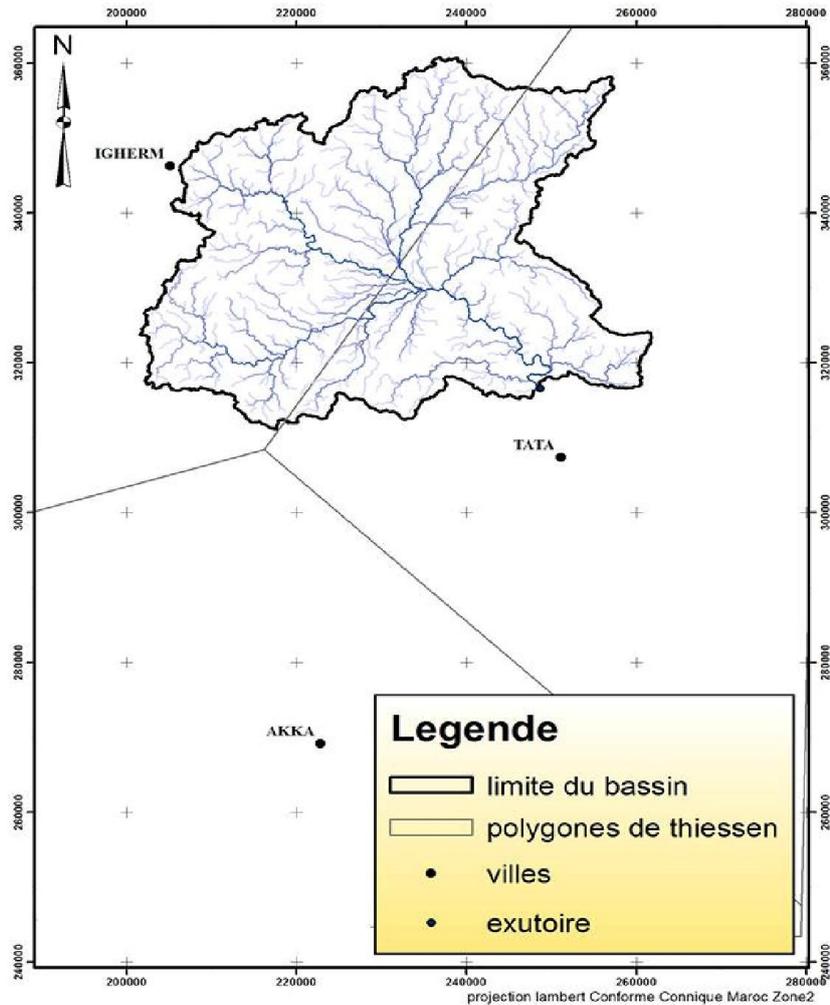


Figure 7 : Carte de bassin versant de Tata avec le polygone de Thiessen (1/350.000)

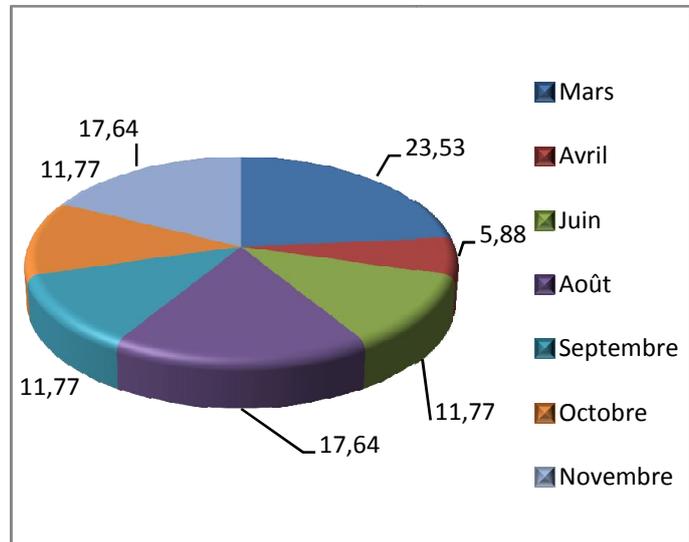
Vu que les paramètres essentiels dans ce type d'ouvrage sont en relation avec les crues, il est important d'étudier ces crues pour comprendre leurs mécanismes et sur la base de ceux-ci calculer les paramètres des ouvrages hydrauliques du barrage projeté.

### 2.3. La crue dans l'année hydrologique

A première vue, on constate que les crues du l'oued Tata se concentrent exclusivement dans une période qui va du mois de Mars au mois de Novembre, avec une prédilection marquée pour les mois de Mars et Novembre; la répartition mensuelle est assez variable bien que la saison humide (Décembre, Janvier et Février) est dépourvue d'évènements de crue (tab.1).

Tableau 1 : Répartition mensuelle des crues.

Mois	Nombre de crue	Pourcentage
Mars	4	23,53
Avril	1	5,88
Juin	2	11,77
Août	3	17,64
Septembre	2	11,77
Octobre	2	11,77
Novembre	3	17,64



#### 2.4. Durées, temps de montée et types d'hydrogrammes de crues

La durée des crues observées à la station hydrologique Kasbat Zoulite, sur une période de 20 ans, varie de 10h à 50 h (la durée la plus fréquente est de 24 h). Ces durées sont sans rapport direct visible avec le débit de pointe, la période de décrue est généralement plus lente et dure souvent plusieurs heures à l'opposé du temps de concentration et de montée des eaux qui est assez rapide et dure dans la plupart des crues de 3 à 5 heures.

Trois grands types d'hydrogrammes s'observent sur le bassin de Tata :

- le premier, assez classique, très individualisé et monogénique, est celui représenté par la figure 8, par exemple, qui montre toutes les caractéristiques d'un hydrogramme type unitaire, en cloche et dissymétrique, avec un temps de montée plus court que la durée de décrue qui est suivie par un tarissement prolongé.

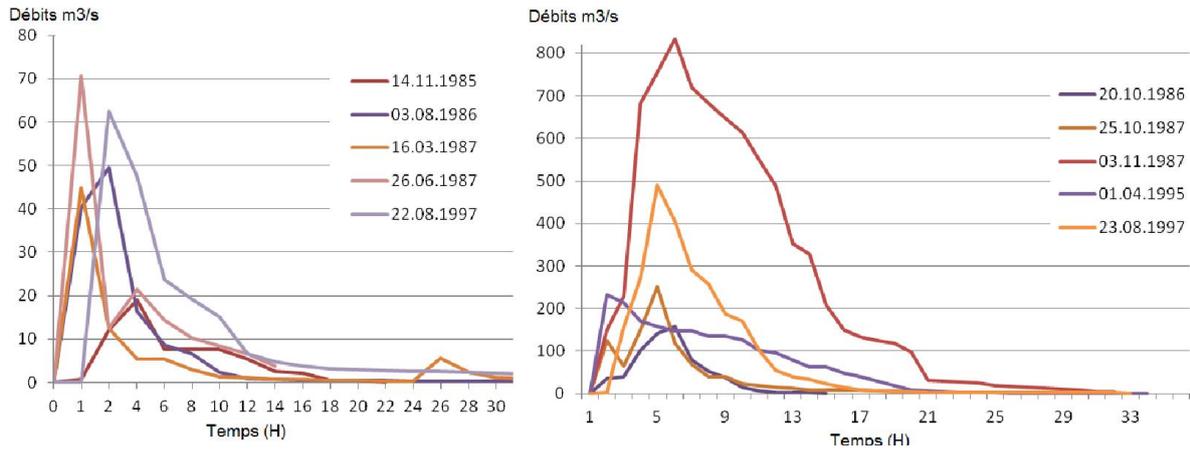


Figure 8 : Hydrogramme des crues type I classique

- Le deuxième exemple d'hydrogramme de crues de l'oued Tata est complexe à plusieurs pointes comme celles observées les 8 et 9 mars 1994. Au cours de ces épisodes de crues, les averses se sont parvenues en séries espacées, avec des arrivées décalées des flots de crues des affluents. Le plus proche affluent situé juste en amont de la station contribuerait certainement et en grande proportion, à dessiner le premier pic de l'hydrogramme. Puis après, une arrivée massive des eaux du bassin moyen et amont peut facilement déclencher des secondes pointes sur l'hydrogramme final à Kasbat Zolite, sur lequel, il deviendra très difficile de lire les caractéristiques de la crue et de les interpréter (fig.9).

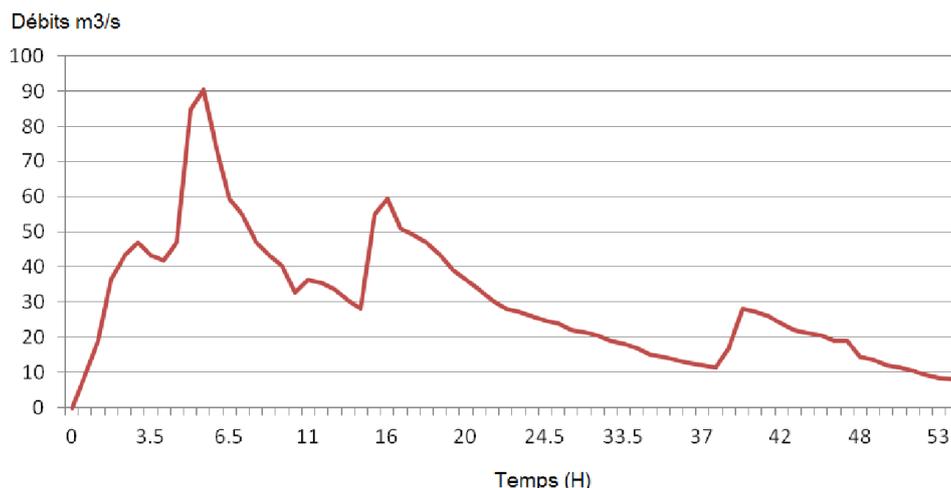


Figure 9 : Hydrogramme de la crue de 08.03.1994

- Le troisième type d'hydrogramme est atypique et montre contrairement au deux premiers ; une forme symétrique entre le temps de crue et de décrue et un temps de tarissement relativement plus faible que pour les premiers types (fig.10).

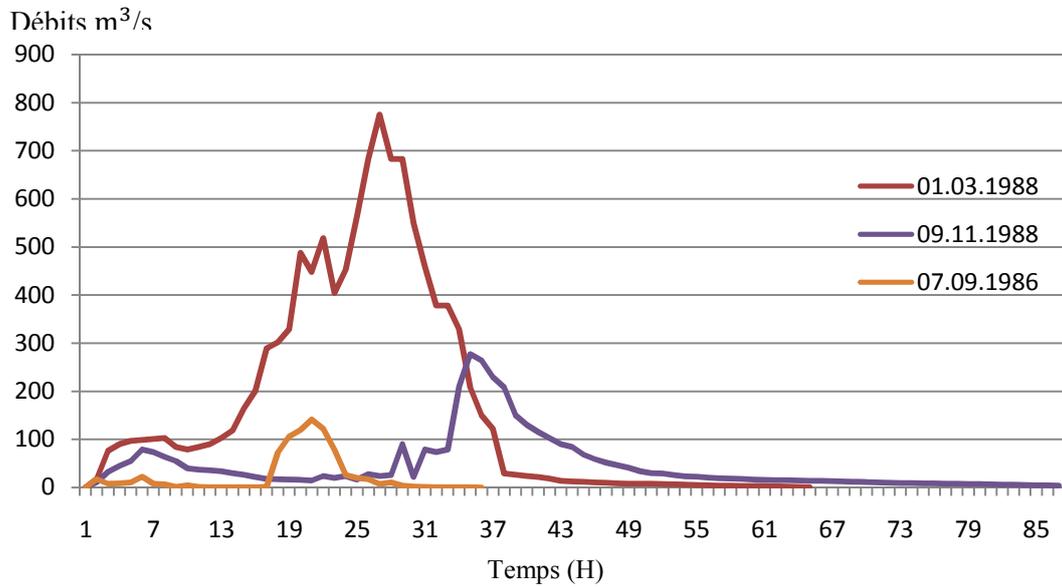


Figure 10 : Hydrogramme des crues (troisième type)

## Chapitre II : Cadre géologique et hydrogéologique de la zone d'étude

### I. Introduction

Vu que notre site d'étude fait partie de la chaîne de l'Anti-Atlas, il convient de donner une idée générale sur La géologique du domaine de cette chaîne qui était au début essentiellement l'oeuvre de G. Choubert (1963). L'infracambrien et le Cambrien ont été plus particulièrement étudiés par P. Hupé (Thèse, 1959). Doivent également être cités les travaux de Neltner (1927-1941), J. Bondon (1931 - 1936). L. Clariond (1929 - 1944), Pique (1999), Hefferan (2000), Algouti (2001), Burkhard (2006) etc (fig.11).

#### Aperçu stratigraphique

- Précambrien : Les terrains précambriens affleurent en une série de boutonnières alignées selon un axe ENE-WSW, à l'exception de celle du jbel Guir située en limite SW du domaine. Les plus importantes sont, d'ouest en est : les boutonnières d'Ifni, du Kerdous, d'Irherm, de Tazenakht, du Sarhro et de l'Ougrate, mais il existe également de nombreux pointements de moindre développement.

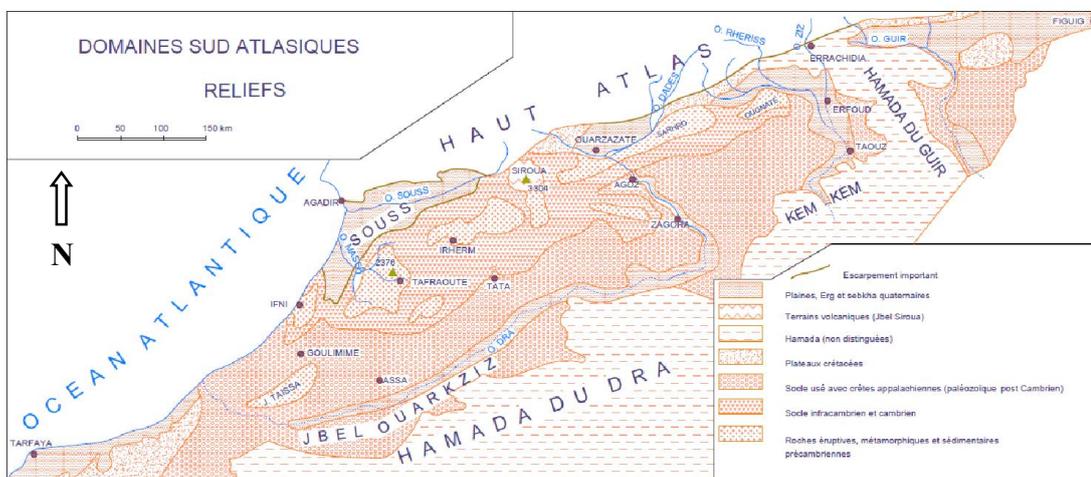


Figure 11 : Carte géologique du domaine sud-atlasique

La succession des cycles orogéniques précambriens a été donnée par G. Choubert comme suit :

- Précambrien 0 : il comprend une série schisteuse faiblement métamorphisée : schistes verts, séricitoschistes, micaschistes, des éléments volcaniques basiques (gabbros et dolérites) et des granites

ayant recoupé l'ensemble en produisant un métamorphisme de contact. Les directions tectoniques de cette ancienne chaîne sont E-W et ESE-WNW ; on dénomme également cet ensemble : système du Kerdous.

- Précambrien II : on y rencontre des quartzites épais (plus de 1 000 m) constituant la plupart des grandes crêtes de l'Anti-Atlas (jbel Lkst dans le Kerdous par exemple), des roches volcaniques basiques (gabbros et dolérites) et des schistes. Les grands massifs quartzitiques sont plissés selon une tectonique cahotique (système anti-atlasique occidental en général).
- Précambrien II - III : appartiennent à ce système des conglomérats et vulcanites de base (rhyolites et andésites), des granites (Taфраoute par exemple) et des schistes (série d'Anzi de plus de 500 m d'épaisseur). Localement, un conglomérat plus ou moins développé peut appartenir à ce système et on le nomme « ultime conglomérat » (est du Kerdous et massif d'Irherm notamment). Ces formations sont bien développées dans le centre et l'est de l'Anti-Atlas et appartiennent au système dénommé Siroua - Sarhro.
- Infracambrien et Géorgien : G. Choubert y distingue les termes suivants :
  - Adoudounien inférieur : la série de base comprend Précambrien, suivi par une assise schisteuse ; des brèches ou conglomérats existent localement à la base ; bien représentée à l'W, notamment dans la fosse d'Anzi (400 m de puissance), cette série diminue rapidement d'épaisseur vers l'E et disparaît dans l'Anti-Atlas central. Puis viennent les dolomies et calcaires dolomitiques « inférieurs » à Collenia, puissante série pouvant atteindre 1 000 m (vallée de l'oued Adoudou, à l'E du massif des Akhsass dans l'W du massif), s'amincissant vers l'E pour disparaître dans l'Anti-Atlas central en bordure du bassin de Ouarzazate et de celui du Drâ moyen ; ces calcaires sont cristallins, massifs, en bancs épais de 2 m et réguliers, mais on note à l'W du Tazeroualt quelques intercalations marneuses ou marno-calcaires blanches dès la base.
  - Adoudounien moyen : « série lie de vin ». Ces dépôts sont caractéristiques d'une régression marine dans presque toute la chaîne, la mer ne demeurant que dans la fosse d'Anzi où la

sédimentation calcaire se poursuit. Dans l'W de la chaîne, on note de bas en haut : des marnes violacées suivies de schistes violets francs (de 0 à 150 m d'épaisseur), puis des schistes intercalés de bancs calcaires suivis de dolomies ou calcaires dolomitiques à niveaux marneux puis schisteux (de 0 à 600 m). La puissance de l'Adoudounien moyen dans son ensemble est très variable, mais diminue vers l'E (400 à 500 m au N de Tata - 300 m dans le chaînon de Bou-Azzer — El-Graara, au coude du Drâ) pour disparaître dans le Sarhro et l'Ougnate.

- Adoudounien supérieur, « série des calcaires supérieurs ». Il s'agit de calcaires massifs, (rapportés maintenant au Cambrien) (Choubert et Faure - Muret, 1973), en bancs plus petits que dans la série inférieure, comportant au NE des intercalations marno-calcaires blanches. L'épaisseur de la série est importante : 400 à 500 m à l'W, mais diminue vers l'E : 200 m à 300 m dans l'Anti-Atlas central, pour disparaître en biseau sur les flancs du jbel Sarhro, dans la partie orientale de la chaîne.
- Géorgien. La stratigraphie du Géorgien est assez complexe du fait des variations de faciès d'E en W. A l'étage d'Amouslek, correspondent sur la bordure méridionale de la chaîne : à l'W, des calcaires noirs, souvent olithiques à archaeocyathidés (20 à 30 m), puis des schistes (schistes de Timoulay) et de nouveau des calcaires à archaeocyathidés ; à l'E, on trouve des calcaires et dolomies en alternances. L'ensemble constitue la série « schisto-calcaire » dont l'épaisseur est voisine de 400 m dans l'W (bordure de la plaine du Souss - N de Tata) mais décroît vers l'E dans le massif du Bas—Drâ et le jbel Sarhro.

Vient ensuite l'étage d'Issafène ou « complexe schisteux supérieur » qui comprend des schistes vers l'W avec des calcaires qui prennent de l'importance vers l'E, secteur où des grès apparaissent également dans la série. L'épaisseur passe de 400 m en bordure du Souss à 100 m au N de Tata et 50 m dans l'W du Sarhro où ces niveaux disparaissent, envahis par des grès.

L'étage d'Asrhir ou « grès terminaux » achève le cycle géorgien, marquant la régression de la mer.

L'épaisseur de ces niveaux est variable, mais augmente d'W en E et du N au S, pour être maximale au centre sud de la chaîne, vers Zagora (175 m) ; vers l'E, ces grès prennent une coloration rose marquant la proximité des terres émergées. Ces grès peuvent localement surmonter directement la série « schistocalcaire » (région d'Amagour, en bordure du Souss).

- Acadien : il correspond à des alternances de schistes et de grès affleurent sur les formations précédentes. Plus tendres, elles constituent des zones déprimées où les oueds élargissent leurs vallées et répandent leurs atterrissements. La limite montagne-plaine est ainsi extrêmement nette.
  - Pliovillafranchien ou étage Hamadien il correspond à une surface d'aplanissement généralisée, sensiblement aquitanienne, est très caractéristique dans tout l'Anti-Atlas (surface pré-hamadienne de G. Choubert, 1952). Au Néogène, les oueds ont serpenté sur cette surface avant de s'enfoncer à partir du Pliovillafranchien ; au cours de cet enfoncement, toutes sortes de dépôts lacustres se sont constitués dans les dépressions de la chaîne et sur ses bordures. On notera par exemple de telles formations, peu épaisses, au NW du Kerdous, sur des calcaires adoudouniens et le long dulittoral atlantique une plate-forme étroite constituée par une couverture continue de conglomérats et dépôts calcaireux hamadiens.
- Quaternaire : Ces dépôts sont abondants, bien que peu épais en général, dans l'ensemble de la chaîne. D'anciens sols sont très développés dans les dépressions des plateaux calcaires, dans les grands thalwegs, mais aussi sur les pentes de reliefs précambriens surtout rhyolitiques et andésitiques avec fréquemment des restes d'une ancienne carapace calcaire ; ils témoignent d'un climat humide au Quaternaire ancien. Les cônes d'éboulis et pierres sont nombreux dans les hauts bassins des massifs quartzitiques et aux débouchés des vallées calcaires.

## II. Cadre Hydrogéologique

La carte géologique du bassin de l'oued Tata, extraite à partir de la carte géologique Marrakech au 1/500 000ème (fig.12), montre un affleurement des calcaires perméables de l'Adoudounien dans la partie haute du bassin et dans sa partie terminale tandis que la partie centrale est constituée par les formations imperméables du Cambrien et de l'Ordovicien.

Les terrains Quaternaires et récents (alluvions fluviales, conglomérats et calcaires lacustres) sont présents le long des oueds et recouvrent une vaste plaine en aval de la ville de Tagmoute. Les alluvions au niveau de la plaine constituent un important réservoir souterrain qui contient l'essentiel de l'écoulement de la nappe phréatique de l'oued Tata en aval. En aval de la plaine, l'oued Tata a creusé son lit et a déposé ses alluvions sur les calcaires et schistes de l'Adoudounien. Dans cette zone, des échanges entre la nappe phréatique et les nappes profondes sont possibles.

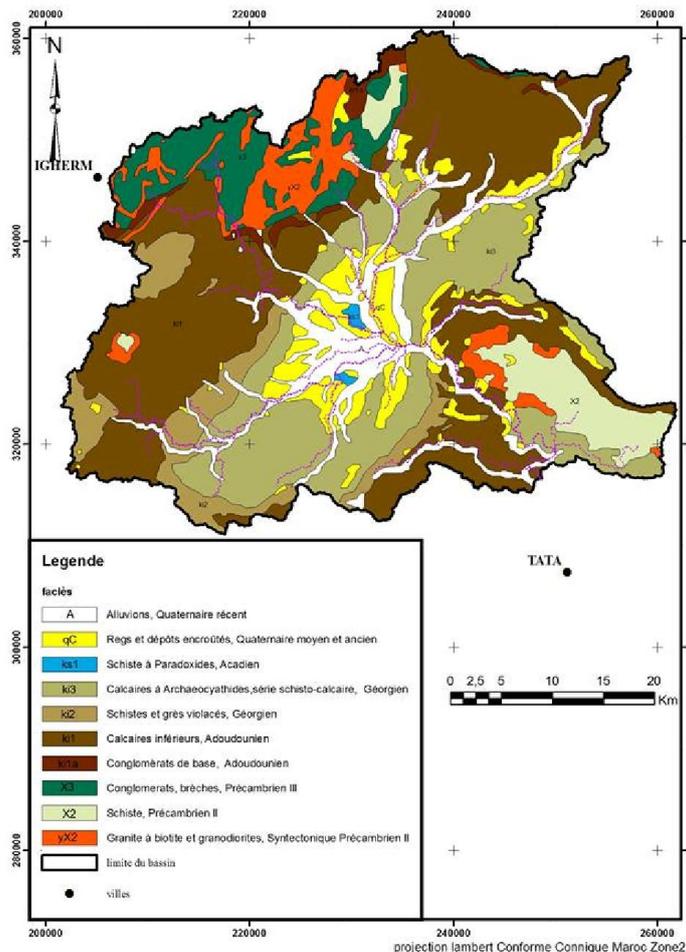


Figure 12 : Carte géologique de bassin versant de Tata

### III. Caractéristiques du potentiel réservoir souterrain

#### 3.1. Lithologie des formations perméables superficielles

La zone qui apparaît la plus intéressante pour la recharge de la nappe est celle située le long de l'oued en amont de la ville de Tata et des principales oasis. C'est dans cette zone en effet, que le lit de l'oued est recouvert par le maximum d'alluvions par rapport à la zone aval où elles semblent de faible épaisseur ou quasi-absentes.

Pour évaluer le volume de ces alluvions et leurs paramètres hydrogéologiques, trois sondages et trois forages ont été exécutés au niveau du lit de l'oued juste en aval du site du barrage projeté. Ceux-ci ont permis le calage de la campagne géophysique réalisée, et des essais de pompage ont été réalisés pour calculer les paramètres hydrodynamiques de ces alluvions.

Les colonnes stratigraphiques des sondages et les valeurs des paramètres hydrogéologiques (K : perméabilité et S : coefficient d'emmagasinement) sont schématisées dans la figure 13.

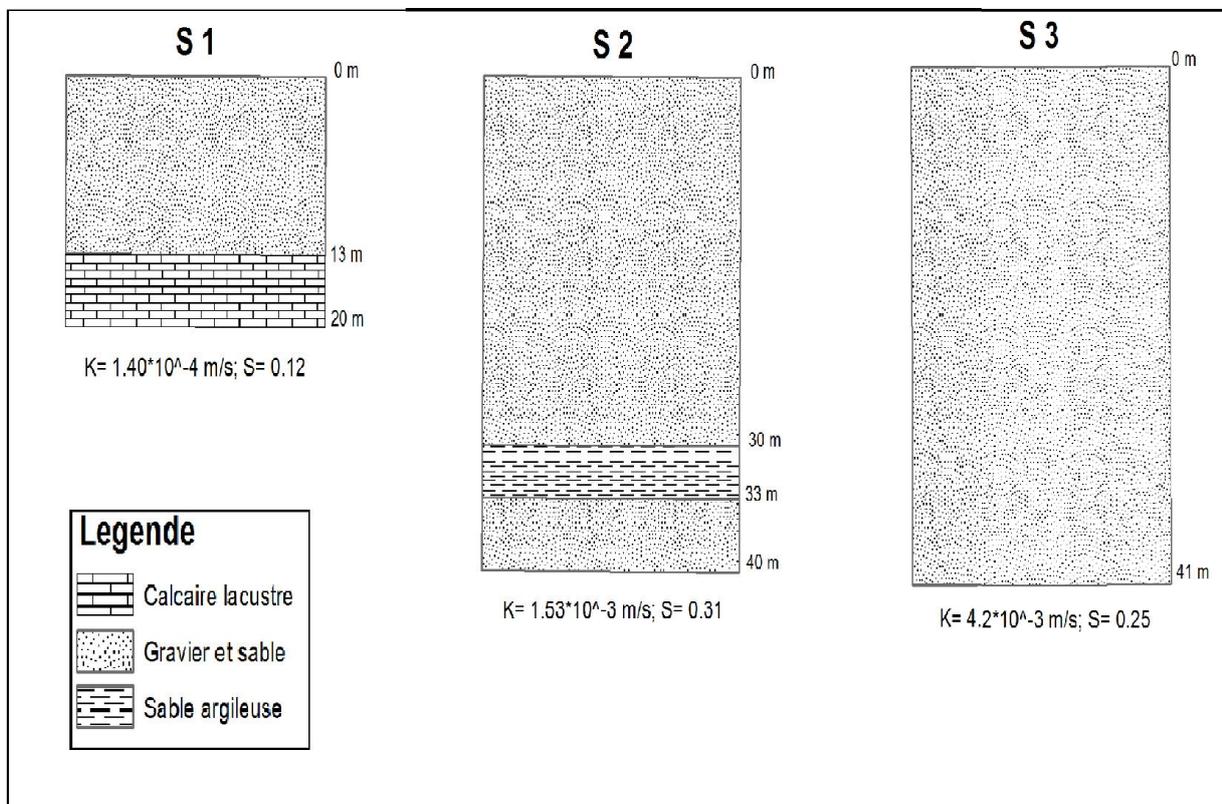


Figure 13 : Coupes géologiques des sondages

Les formations perméables superficielles, potentiel réservoir souterrain, sont constituées essentiellement de graviers et sables. Par endroit, ces alluvions sont cimentées par un ciment calcaire et deviennent des calcaires conglomératiques. Le substratum est constitué par la formation calcaireo-schisteuse de l'Adoudounien.

### **3.2. Estimation des volumes des alluvions**

La superficie occupée par les alluvions de l'oued dans la zone qui sera intéressée par le barrage (cuvette en amont et tronçon de l'oued en aval du barrage) a été calculée sur la base du traitement des photos aériennes et des cartes topographiques.

La surface mesurée est de 812 000m<sup>2</sup> dont 600 000 m<sup>2</sup> correspondant à la cuvette du barrage tandis que la surface en aval du barrage est de 212 000m<sup>2</sup>.

Les épaisseurs mesurées à partir de 15 sondages électriques sont résumées dans le tableau 2. La puissance moyenne des alluvions est estimée à 43 m pour un volume total de 35 Mm<sup>3</sup>.

Tableau 2 : Epaisseur des alluvions selon les sondages électriques verticaux.

<b>Coupe</b>	<b>SEV N°</b>	<b>H alluvion (m)</b>	<b>H moyennes (m)</b>
1	1	41	46
	2	44	
	3	50	
	4	51	
	5	42	
2	6	48	42
	7	48	
	8	44	
	9	38	
	10	32	
3	11	26	42
	12	41	
	13	35	
	14	57	
	15	50	

### 3.3. Paramètres hydrogéologiques

Dans la présente étude, trois essais de pompage ont été réalisés. Les résultats obtenus sont résumés comme suit :

Sondage S1:  $K = 1,40 \cdot 10^{-4}$  m/s,  $S = 0,12$

Sondage S2:  $K = 1,53 \cdot 10^{-3}$  m/s,  $S = 0,31$

Sondage S3:  $K = 4,20 \cdot 10^{-3}$  m/s,  $S = 0,25$

Les valeurs moyennes  $K = 2 \cdot 10^{-3}$  m/s et  $S = 0,22$  seront adoptés pour l'ensemble des alluvions au niveau des calculs des vitesses et des volumes infiltrés d'eau.

Le volume total d'eau qui peut être emmagasiné dans ces alluvions est :

$$35 \text{Mm}^3 \cdot 0,22 = 7,7 \text{Mm}^3$$

### 3.4. Etude des écoulements souterrains

#### 3.4.1. Estimation de la vitesse d'écoulement souterrain

La vitesse de l'écoulement souterrain au niveau de ces alluvions peut être calculée par la formule de Darcy :

$$V_e = Ki/S$$

Pour évaluer la vitesse de l'écoulement souterrain dans les alluvions de l'oued Tata on a utilisé les niveaux statiques mesurés de la nappe.

A celle le gradient hydraulique entre S3, en amont, et S1, en aval, était :

$$i = 0,0025$$

La vitesse de l'écoulement souterrain était :

$$V_e = Ki/S = 0,002 \cdot 0,0025 / 0,22 = 2,27 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} = 1,96 \text{ m/j.}$$

### 3.4.2. Estimation des écoulements dans la nappe

Trois coupes géologiques (fig.14) ont été réalisées en utilisant les cartes topographiques et les données des sondages mécaniques et électriques. Ces coupes traversent les sondages mécaniques S1-S2-S3 ; la coupe 3 est la coupe située en amont du barrage.

Pour chaque coupe les surfaces totales et les surfaces des zones saturées ont été mesurées dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Surface des coupes géologiques.

Coupe	Surface totale (m <sup>2</sup> )	Surface saturée (m <sup>2</sup> )
S3	14 000	11 400
S2	12 800	9 800
S1	23 200	16 800

La surface moyenne saturée est :

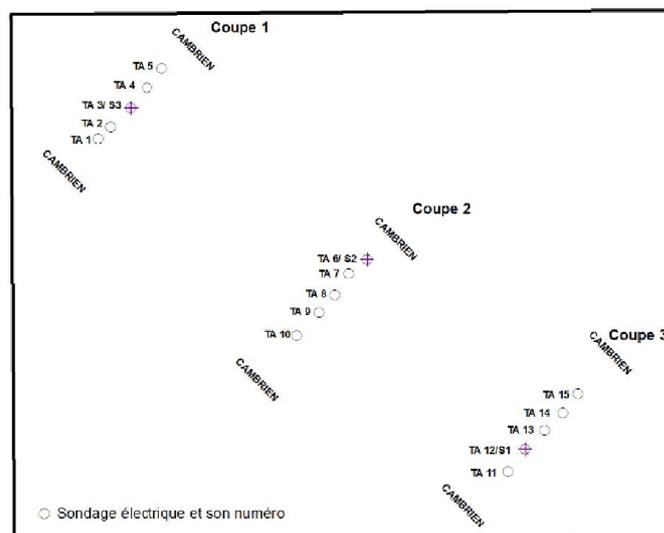
$$S_{\text{moy}} = 12\,700 \text{ m}^2$$

Par la formule de Darcy :

$$Q = K \cdot a \cdot i = 0,002 \cdot 12\,700 \cdot 0,0025 = 0,063 \text{ m}^3/\text{s} = 63 \text{ l/s}$$

Plan de situation des sondages électriques

Echelle : 1/8000



## Chapitre II : Cadre géologique et hydrogéologique de la zone d'étude

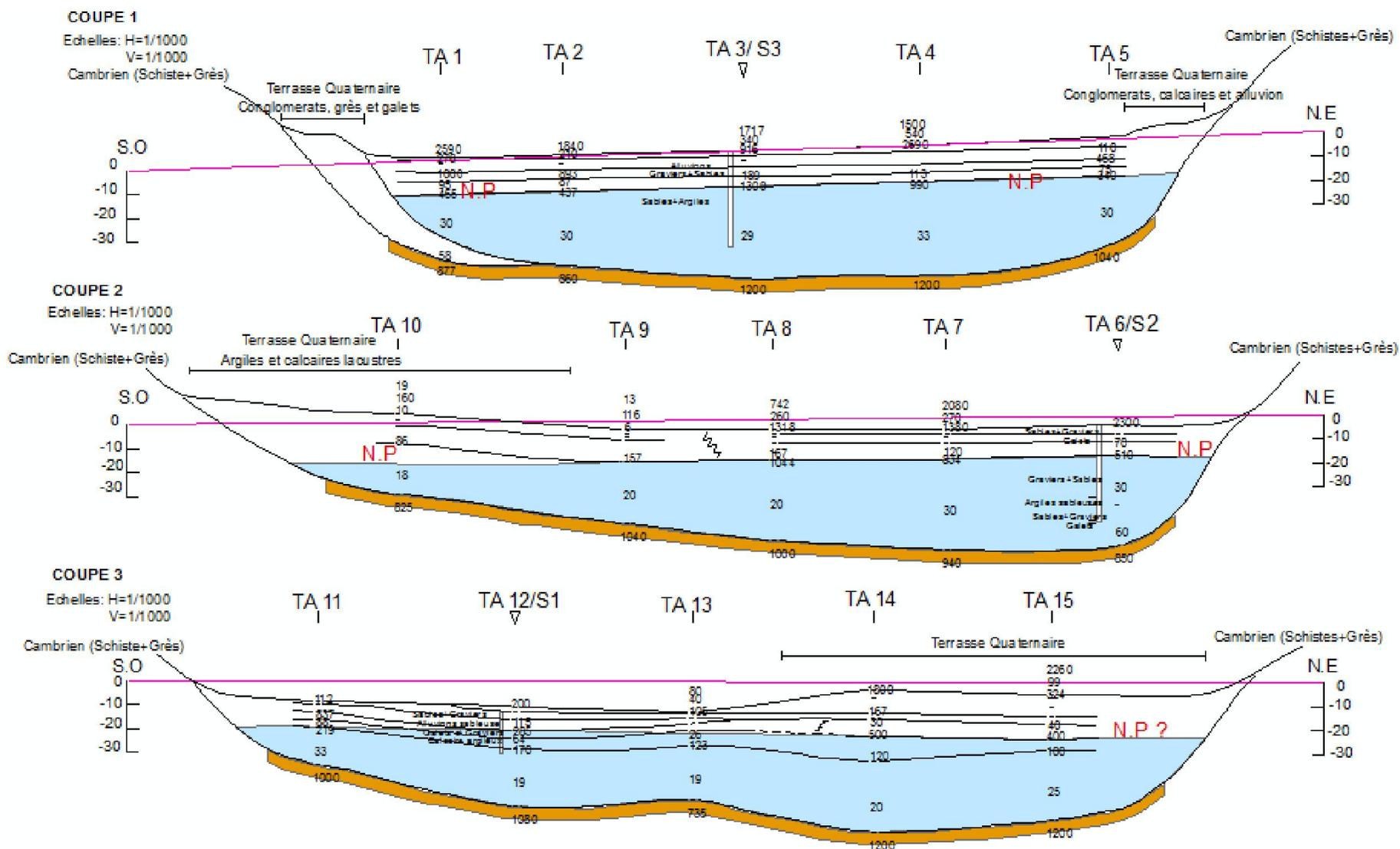


Figure 14 : Plan de situation des sondages

### 3.4.3. Estimation de la vitesse d'infiltration

La vitesse d'infiltration des eaux dans les terrains est liée à la perméabilité horizontale mesurée au cours des essais de pompage par la relation suivante (AIHS, 1970 et Bourget, 1970) tableau 4.

Tableau 4 : Vitesse d'infiltration des eaux.

Perméabilité	Vitesse d'infiltration moyenne
$K = 10^{-4}$ m/s	0,25 m/j
$K = 10^{-3}$ m/s	1,50 m/j
$K = 10^{-2}$ m/s	8,35 m/j

La perméabilité horizontale mesurée dans les alluvions de l'oued Tata est de  $10^{-3}$  m/s correspondant à une vitesse d'infiltration de 1,5 m/j.

L'analyse par ailleurs, des résultats obtenus par l'ABHSMD sur les lâchés du barrage d'Aoulouz pour la recharge de la nappe de l'oued Souss, fournit une vitesse d'infiltration d'environ 1 m/j.

Vu la ressemblance entre les alluvions de l'oued Tata et ceux de l'oued Souss et la correspondance des valeurs de perméabilité calculées dans les deux zones, la vitesse d'infiltration adoptée est de 1 m/j = 0,04 m/h.

## Chapitre III : Etude hydrologique et Estimation des probabilités des crues de l'oued Tata

### I. Introduction

Nous avons jugé intéressante la prédétermination du débit maximum probable des crues, car son intérêt économique est évident en raison des effets destructifs bien connus de ces cataclysmes hydrologiques, et surtout, pour notre cas, la nécessité de calculer les paramètres des ouvrages du barrage projeté dont les dimensions sont essentiellement déterminées par le maximum probable de la crue, auquel le barrage devra faire face.

Nous disposons au départ d'une série de crues observées à la station de mesure. Et après avoir été assuré que les crues sont bien indépendantes, Nous avons estimé aisément, soit graphiquement soit par le calcul, les débits correspondant aux fréquences données. Pour cela, l'échantillon sera soumis à un traitement statistique qui peut se scinder en trois étapes:

a- Analyse de l'échantillon et choix du type de loi.

b- Estimation des paramètres de la loi et vérification de son adéquation.

c- Estimation de la valeur de la variable débit pour une probabilité  $P$ , et calcul de l'intervalle de confiance au seuil du risque choisi.

Généralement, le débit d'un cours d'eau suit une loi normale quand le régime des précipitations est abondant (régions tempérées, régions tropicales et équatoriales); par contre ce module suit une loi dissymétrique pour des régions désertiques ou subdésertiques.

S'agissant pour le bassin de Tata d'une région semi-aride et présaharienne (pluies moyennes annuelles = 100 mm) avec un régime hydrologique très irrégulier, et s'agissant aussi d'un échantillon de valeurs extrêmes (Débits maxima annuels) avec un coefficient de variation très élevé (0,91), on choisira naturellement d'ajuster ici des lois dissymétriques à savoir: la loi de Gumbel.

Pour cela, on a calculé les hydrogrammes de la crue entrante au barrage pour les temps de retour  $T_r = 2, 5, 10, 25, 50$  et 200 ans par adaptation statistique de cette loi,

soit par les valeurs maximales des pluies (transformées en écoulements au moyen d'un modèle cinétique : le Curve Number), soit par les débits maximums mesurés à la station de jaugeage H.E. IRE 415/80 de Kasbat Zolite (Tab.5).

La transformation des pluies en débits a été réalisée grâce à une modélisation effectuée à l'aide du Logiciel HEC-HMS (USACE 2000). L'option utilisée dans ce programme est la méthode du Curve Number (Soil Conservation Service 1972). Avec cette méthode, le calcul du débit de l'oued dépend de la couverture végétale du sol et des précipitations. Pour plus de détails sur cette méthode on peut se référer au rapport USACE (2000).

Tableau 5 : Valeurs maximales des débits des crues à la station Kasbat Zolite.

Date	Heure du comble	Q max ( m <sup>3</sup> /s)
03.08.86	23h59	49.5
20.10.86	23h59	158.0
03.11.87	16h00	833.0
10.11.88	11h30	277.0
08.03.94	6h30	90.4
01.04.95	1h30	232.0
13.06.96	23h59	6.6
23.08.97	21h00	490.0
28.03.98	23h45	230.0
		4.5
14.11.85	17h00	19.2
16.03.97	2 3h59	44.8
22.08.97	18h30	62.6

Les tableaux 6 et 7 résument les résultats des deux méthodes (pluies et débits) qui aboutissent à des valeurs similaires.

Tableau 6 : Ajustement des pluies maximales annuelles à la loi de Gumbel.

Temps de retour (ans)	2	5	10	25	50	200
Valeur centrale $\mu$ (mm)	24.2	37.9	47.0	58.5	67.1	84.0
Ecart type $\sigma$ (mm)	3.96	6.67	9.01	12.1	14.5	19.3
Pluie journalière (mm)	24.2	37.9	47.0	58.5	95.5	121.8
Calcul du débit par la méthode unitaire à l'aide du Cuve Nombre						
Q max ( $m^3/s$ )	155	240	550	680	1250	1650

Tableau 7 : Ajustement des débits maximums annuels à la loi de Gumbel.

Temps de retour (ans)	2	5	10	25	50	200
Valeur centrale $\mu$ ( $m^3/s$ )	153.0	363.3	502.6	678.5	809.0	1067.6
Ecart type $\sigma$ ( $m^3/s$ )	60.6	102.8	137.8	185.8	222.3	295.8
Q' max ( $m^3/s$ )	153	363	503	679	1245	1647
Estimation au barrage	160	360	500	680	1250	1650
Q max ( $m^3/s$ )	160	360	500	680	1250	1650

Les valeurs de la pluie journalière maximale enregistrée à la station de Tata et du débit Maximum de crue à la station Kasbat Zolite ont été régularisés selon la loi de probabilité de Gumbel. L'estimation aux temps de retour 50 et 200 ans ont été faites à l'extrémité supérieure de l'intervalle de confiance à 95% de probabilité ( $X = \mu + 1,96\sigma$ ) et aux valeurs centrales ( $X = \mu$ ) pour les autres fréquences.

Pour la construction des hydrogrammes de crue en entrée au réservoir on s'est référé, comme modèle de modulation, à la crue du 03.11.1987, reportée dans la figure 15, dont la valeur maximale est 833 m<sup>3</sup>/s.

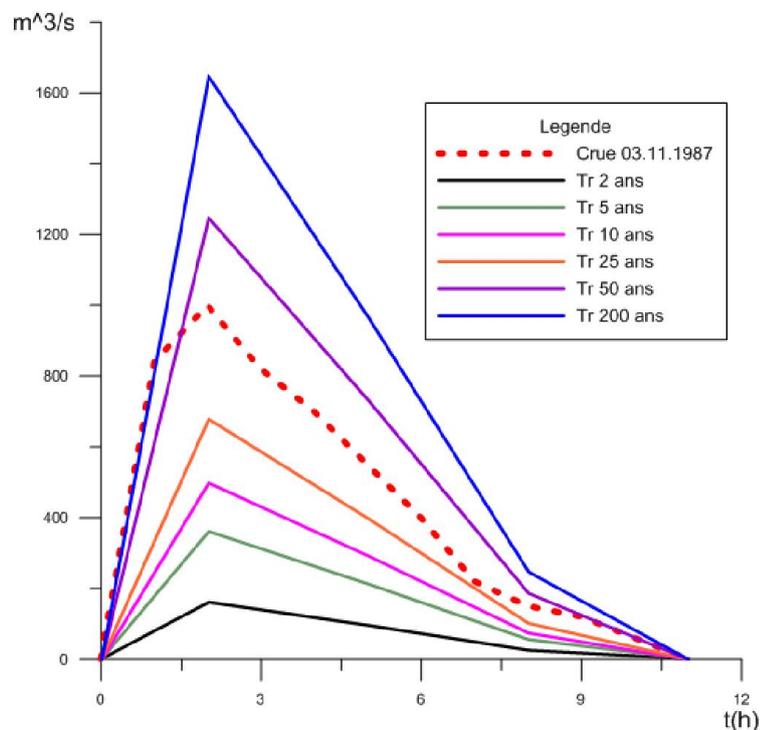


Figure 15 : Modélisation des crues à différentes fréquences selon crue du 03.11.1987

Tableau 8 : Hydrogramme de crue de fréquence donnée au site du barrage.

$\rho$	t (h)	Tr 200 ans	Tr 50 ans	Tr 25 ans	Tr 10 ans	Tr 5 ans	Tr 2 ans
0.000	0.0	0	0	0	0	0	0
1.000	2.0	1650	1250	680	500	360	160
0.586	5.0	967	733	398	293	211	94
0.150	8.0	248	188	102	75	54	24
0.000	11.0	0	0	0	0	0	0

Avec :  $\rho$  = rapport de modulation conformément à la crue du 03.11.1987. t (h) = temps base de l'hydrogramme. Tr 200 ans (m<sup>3</sup>/s) = courbe des débits à la dite fréquence.

Afin de proportionner la hauteur de la retenue et les dimensions des ouvrages d'évacuation on s'est référé comme crue de projet à une période de retour  $T_r = 200$  ans.

## II. Choix de l'ouvrage de recharge artificielle de la nappe

Nous rappelons que l'objectif de cette étude et la vérification de la faisabilité d'un barrage d'écrêtement permettant un ralentissement des crues de l'oued et une infiltration des eaux de ces crues au niveau de la nappe alluviale.

## III. Modélisation des écoulements des débits et paramètres de dimensionnement des ouvrages hydrauliques

Le dimensionnement du futur barrage et des ouvrages d'évacuation des crues a été réalisé par les hydrauliciens du bureau d'étude GEOSMA en utilisant différents Logiciels dont le plus important est le LOGICIEL ECRET. Celui-ci permet de modéliser grâce à l'équation de continuité hydraulique le bilan des volumes en entrée et en sortie de la cuvette du barrage durant un intervalle de temps élémentaire. Il permet ainsi de déterminer le volume et le niveau atteints par l'eau dans le barrage ainsi que les temps nécessaires et les volumes correspondants à la sortie de la buse du barrage.

Pour chaque crue et pour toute configuration du système Barrage/Buse/Déversoir, le logiciel demande : 1) les valeurs de la courbe des débits, 2) les courbes des volumes de la retenue

A partir des conditions initiales ( $T=0$ ) et ( $Q=0$ ), pendant un intervalle élémentaire (choisi  $\Delta t = 0,25$  h ;  $\Delta t = 15'$ ) la crue fournit un volume élémentaire  $\Delta V = Q_e(t) * dt$  qui s'ajoute au volume préexistant (sil existe) dans le barrage.

Le volume correspondant est :  $V(t) = V(t-1) + Q_e(t) * dt$

La courbe des volumes fournit le plan d'eau  $z$  et par conséquent le débit en sortie du barrage  $Q_s(z)$ . L'équation précédente devient :

$$V(t) = V(t-1) + (Q_e(t) - Q_s(z)) * \Delta t$$

On continue à appliquer l'équation de continuité hydraulique précédente jusqu'à la vidange. On obtient ainsi la courbe des débits en sortie et des volumes et des côtes rejoins dans le barrage à chaque instant.

C'est ainsi qu'on vérifie que le volume maximal de la crue  $T_r=200$  ans est contenu dans le barrage et que la côte maximale du plan d'eau ne dépasse pas la crête de barrage, fixé à 778,50 m NGM.

En se basant sur la crue de projet  $T_r = 200$  ans, les paramètres hydrauliques adoptés dans notre cas sont résumé au niveau de la figure 16.

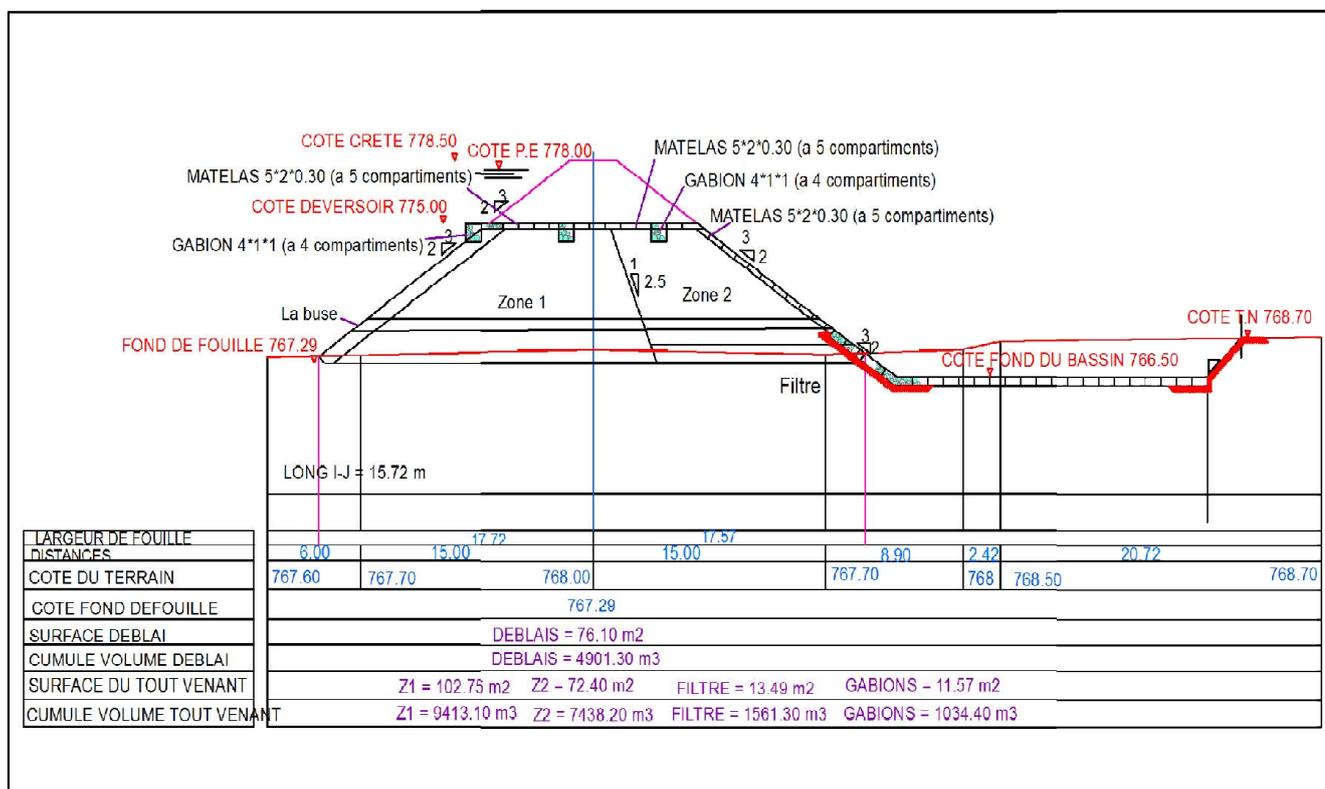
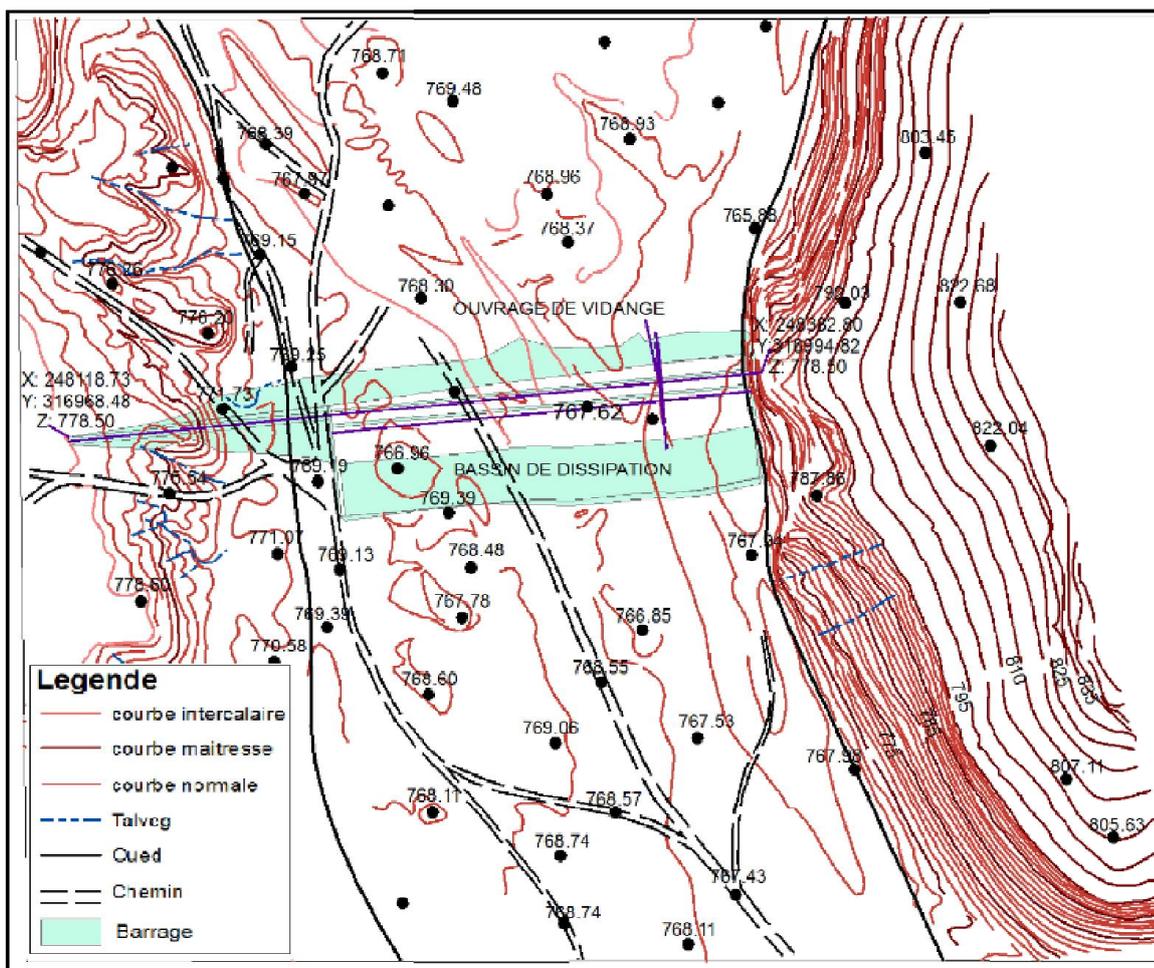


Figure 16 : Situation du barrage de Tata

Un exemple type des résultats de calcul du logiciel ECRET est résumé dans les deux tableaux suivants 9 et 10.

Tableau 9 : Volumes d'eau.

Z m NGM	V 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Qb m <sup>3</sup> /s	Vb m/s	Qd m <sup>3</sup> /s	Σ Q m <sup>3</sup> /s
767	0				
771	0.2709	0	0		0
772	0.4400	1.71	3.41		1.71
773	0.8326	2.33	4.63		2.33
774	1.2253	2.81	5.60		2.81
775.00	1.6179	3.22	6.42	0	3.22
775.25	1.7648	3.32	6.60	34.10	37.4
775.50	1.9117	3.41	6.79	96.45	99.9
775.75	2.0586	3.50	6.97	177.19	180.7
776.00	2.2056	3.59	7.14	272.80	276.4
776.25	2.3669	3.68	7.31	381.25	384.9
776.50	2.5341	3.76	7.48	501.17	504.9
776.75	2.7071	3.84	7.64	631.54	635.4
777.00	2.8859	3.92	7.80	771.59	775.5
777.25	3.0716	4.00	7.96	920.70	924.7
777.50	3.2653	4.08	8.11	1078.34	1082.4
777.75	3.4671	4.15	8.26	1244.07	1248.2
778.00	3.6769	4.23	8.41	1417.51	1421.7
778.25	3.7294	4.30	8.55	1598.34	1602.6
778.50	3.7870	4.37	8.70	1786.27	1790.6

Z = cote de l'eau dans le réservoir (m). Qb = débit de la buse (m<sup>3</sup>/s). Vb = volume de la buse (m/s). Qd = débit de déversoir(m<sup>3</sup>/s).

Tableau 10 : Ecrêtement de la crue de projet ( $T_r = 200$  ans) sur Tata.

t (h)	$Q_e$ ( $m^3/s$ )	$Q_s$ ( $m^3/s$ )	V ( $10^6 m^3/s$ )	H(m)
0.0	0.0	0.000	0.000	767.000
1.0	825.0	3.077	1.481	774.651
1.5	1237.5	702.7	2.793	776.870
2.0	1650.0	1310.1	3.542	777.839
2.5	1536.2	1471.7	3.691	778.069
3.0	1422.3	1409.0	3.662	777.982
4.5	1080.8	1156.6	3.356	777.612
6	727.3	809.7	2.928	777.057
9	165.3	206.0	2.097	775.816
11	0.0	49.68	1.794	775.299
12		18.89	1.685	775.115
15		3.209	1.608	774.974
18		3.173	1.573	774.886
24		3.103	1.505	774.713
36		2.966	1.374	774.380
48		2.835	1.249	774.061
60		2.693	1.130	773.756
72		2.555	1.016	773.468
96		2.289	0.807	772.935
120		1.997	0.622	772.464
144		1.743	0.461	772.053
168		0.806	0.351	771.471
192		0.336	0.304	771.197
216		0.140	0.285	771.082
240		0.059	0.277	771.034
264		0.024	0.273	771.014
288		0.010	0.272	771.006
312		0.004	0.271	771.003
336		0.002	0.271	771.001
360		0.001	0.271	771.000

Avec : t (h) = temps du début de la crue.  $Q_e$  ( $m^3/s$ ) = débit de la crue au temps t.  $Q_s$  ( $m^3/s$ ) = débit en sortie du barrage au temps t. V ( $10^6 m^3/s$ ) = volume d'eau

Les calculs réalisés montrent effectivement une remarquable augmentation du temps de la crue qui passe d'une durée de 10H à 288H (Fig.17). Cette augmentation de temps de contact entre les eaux de la crue et les alluvions permettra une importante infiltration des eaux et une recharge graduelle de la nappe alluviale.

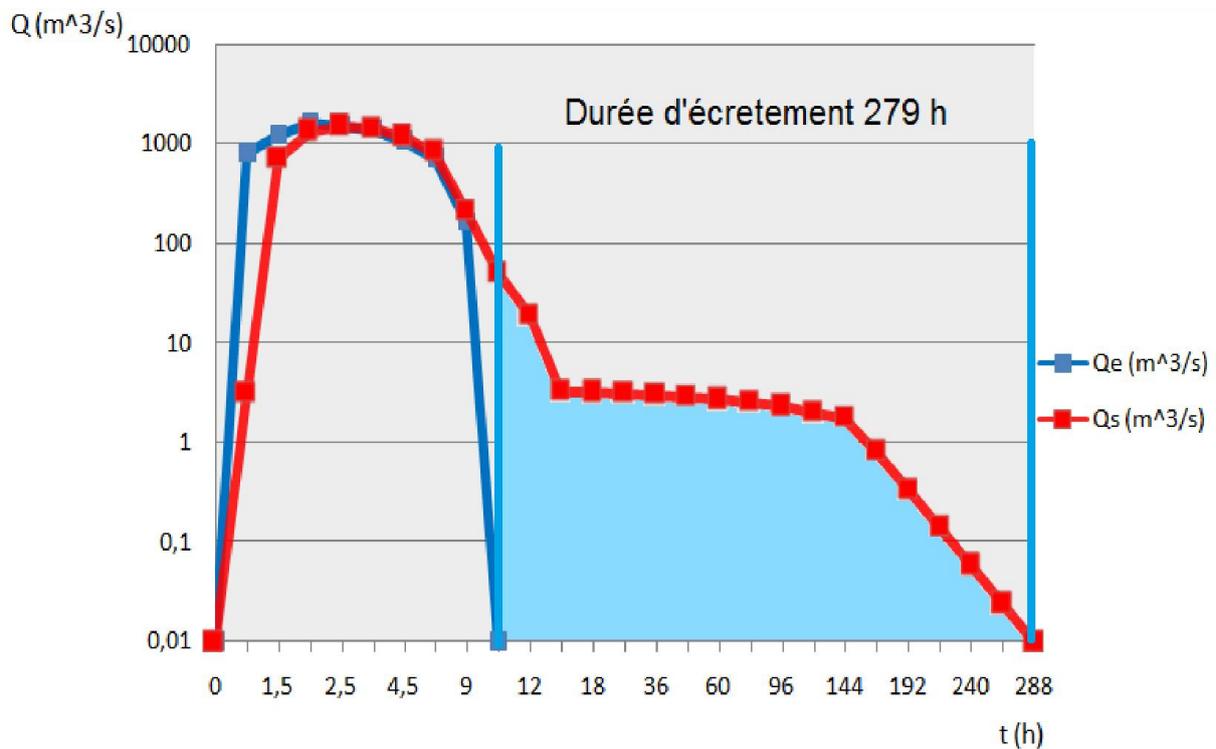


Figure 17 : Ecrêtement de la crue de projet sur Tata

## Chapitre IV : Modélisation de la recharge artificielle de la nappe alluviale en présence et en absence du barrage

### I. Introduction

Ce chapitre traitera principalement la méthodologie de calcul des volumes infiltrés au niveau de la nappe en présence et en absence du barrage d'écrêtement.

### II. Simulation de la recharge artificielle (infiltration) de la nappe et bilan hydrogéologique

Pour évaluer l'effet du barrage projeté sur l'infiltration dans la nappe, on a choisi la crue enregistrée à Kasba Zolite le 10 novembre 1988.

Cette crue est caractérisée par un hydrogramme très aigu et pointu qui montre un temps de montée de 3 heures avec un débit de pointe de 277 m<sup>3</sup>/s et la décrue est généralement plus lente qui a durée plusieurs heures (fig.18).

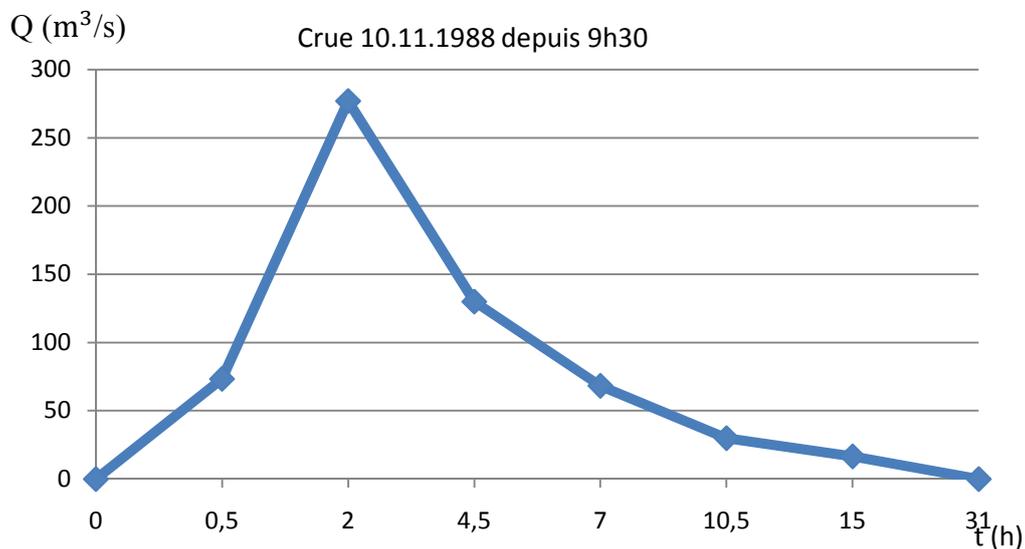


Figure 18 : Crue 10.11.1988

## 2.1. Loi de la recharge

La quantité d'eau qui s'infiltré dans les alluvions lors d'une crue est régie par l'équation suivante :

$$Q = S * t * V_i$$

Où :

Q = volume d'eau infiltré ;

S = superficie du contact eau-terrain ;

t = durée ;

$V_i$  = vitesse d'infiltration de l'eau dans le terrain.

La durée du contact eau-terrain en absence du barrage est égale à la durée de la crue, qui normalement ne dépasse pas les 30 heures. Le laminage produit par le barrage augmente considérablement le temps de l'écoulement et il augmente aussi la superficie des alluvions qui, en amont du barrage, viennent au contact avec l'eau.

## 2.2. Volume d'eau infiltré en absence du barrage

Le calcul de l'infiltration a été fait pour le tronçon concerné par le barrage (cuvette en amont, et en aval du barrage correspondant à la partie contenant la nappe alluviale). La longueur totale de tronçon est de 3575m, avec une superficie est de 812000 m<sup>2</sup> pour une largeur moyenne d'environ 230 m. Cependant, l'eau qui s'écoule durant une crue n'utilise pas toute la surface des alluvions mais seulement les lits actifs de l'oued qui, d'après la reconnaissance sur le terrain et l'étude des photos aériennes ont une largeur moyenne d'environ 50 m.

Pour le calcul de l'infiltration, on a pris la superficie du contact eau-alluvion :

$$3\ 575\ m * 50\ m = 178\ 500\ m^2$$

La crue ayant une durée de 31 heures, un débit maximal de 277 m<sup>3</sup>/s, un débit moyen de 46,6 m<sup>3</sup>/s et un volume totale d'eau de 5,2 Millions de m<sup>3</sup>. Le tableau 11 résume les résultats de l'application du logiciel ECRET sur les débits de cette crue. La vitesse d'infiltration de l'eau dans les alluvions est égale à 0,04 m/h (Chapitre hydrogéologie).

Tableau 11 : Résultats du calcul des volumes infiltrés de la crue étudiée.

t (h)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Vol 1 (Mm <sup>3</sup> )	Vol 2 (Mm <sup>3</sup> )	Vol 3 (Mm <sup>3</sup> )	Vol 4 (Mm <sup>3</sup> )	Vol 5 (Mm <sup>3</sup> )	Vol 6 (Mm <sup>3</sup> )
0	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.5	73.4	0.0661	0.0036	0.0036	0.0036	0.0661	0.0625
2	277.0	0.9461	0.0108	0.0108	0.0144	1.0121	0.9977
4.5	130.0	1.8315	0.0180	0.0180	0.0324	2.8436	2.8112
7	68.4	0.8928	0.0180	0.0180	0.0504	3.7364	3.6860
10.5	30.0	0.6199	0.0252	0.0252	0.0756	4.3564	4.2808
15	16.7	0.3783	0.0324	0.0324	0.1080	4.7346	4.6266
31	0.0	0.4810	0.1152	0.1152	0.2232	5.2156	4.9924

Avec : t(h) = temps (heures) du débit de la crue. Q (m<sup>3</sup>/s) = débit de la crue au temps h. Vol 1(Mm<sup>3</sup>) = volume d'eau écoulé dans l'intervalle (Mm<sup>3</sup>). Vol 2 (Mm<sup>3</sup>) = volume d'eau qui peut s'infiltrer dans l'intervalle = (tn-tn-1)\*0.18\*0.04. Vol 3 (Mm<sup>3</sup>) = volume d'eau effectivement infiltré dans l'intervalle (Mm<sup>3</sup>). Vol 4 (Mm<sup>3</sup>) = volume d'eau totale infiltré au temps t. Vol 5 (Mm<sup>3</sup>) = volume total d'eau de la crue au temps t. Vol 6 (Mm<sup>3</sup>) = volume total d'eau écoulé au temps t.

Sans le barrage la crue infiltrerait dans les alluvions 0,22 millions de m<sup>3</sup> d'eau, c'est-à-dire le 4,2% du totale.

### 2.3. Volume d'eau infiltré après le barrage

Pour le calcul des volumes infiltrés en présence du barrage, il convient de modéliser les différents débits correspondant à celui du déversoir, à celui de la buse et au débit entrant au niveau de la cuvette. Le tableau 12 montre les résultats de cette modélisation.

Tableau 12 : Calcul du débit total (buse + déversoir +infiltration).

Z (m)	H (m)	V (Mm <sup>3</sup> )	Q (b+d) m <sup>3</sup> /s	Qi (m <sup>3</sup> /s)	Q tot (m <sup>3</sup> /s)
767.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00
771.00	4.00	0.2709	0.00	2.01	2.01
772.00	5.00	0.4400	1.71	2.78	4.49
773.00	6.00	0.8326	2.33	3.66	5.99
774.00	7.00	1.2253	2.81	4.64	7.45
775.00	8.00	1.6179	3.22	5.73	8.95
776.00	9.00	2.2056	276.40	6.93	283.33
777.00	10.00	2.8859	775.50	8.23	783.73
778.00	11.00	3.6769	1421.70	9.64	1431.34
778.50	11.50	3.7870	1790.60	10.39	1800.99

Avec : Z (m) = cote de l'eau (m). H (m) = hauteur de la lame d'eau (m). V (Mm<sup>3</sup>) = volume d'eau dans le réservoir (Mm<sup>3</sup>). Q (b+d) ; m<sup>3</sup>/s = débit par la buse + le déversoir. Qi (m<sup>3</sup>/s) = débit par infiltration = ((0.0048\*(h<sup>2</sup>)) + (0.0261\*h))\*11.11. Q tot (m<sup>3</sup>/s) = débit total (buse + déversoir + infiltration dans la cuvette).

Une fois que le barrage sera réalisé, l'infiltration de l'eau dans les alluvions aura lieu soit dans la cuvette en amont du barrage soit en aval dans le tronçon correspondant à la nappe alluviale.

### 2.3.1 Infiltration dans la cuvette

Pour calculer l'eau qui s'infiltrera dans la cuvette on a mesuré les surfaces des alluvions qui seront mouillées aux différentes cotes rejointes par l'eau dans le barrage (tab.13). Ainsi la relation suivante reliant la surface mouillée et la hauteur de la lame d'eau a été déduite :

$$S = 0,0048 h^2 + 0,0261 h$$

Tableau 13 : Hauteur et surface mouillée.

Z(m)	h (m)	S (Mm <sup>2</sup> )
767	0	0
770	3	0.094
772	5	0.244
774	7	0.442
776	9	0.634
778	11	0.855

Avec : Z (m) : cote de l'eau ; h (m) : hauteur de la lame d'eau ; S (Mm<sup>2</sup>) : surface des alluvions mouillées.

Le tableau 14 résume les calculs réalisés par le logiciel ECRET, en cas de présence du barrage.

Tableau 14 : Laminage de la crue du 10.11.1988.

t (h)	Qe (m <sup>3</sup> /s)	Qs (m <sup>3</sup> /s)	Vres (Mm <sup>3</sup> )	Z (m)
0	0.000	0.000	0.00	767.000
3	218.200	95.423	1.803	775.315
6	93.040	108.315	1.831	775.362
9	46.457	53.217	1.713	775.162
12	25.567	27.710	1.658	775.068
15	16.700	18.461	1.638	775.035
18	13.569	14.197	1.629	775.019
21	10.438	11.058	1.622	775.008
24	7.306	8.935	1.614	774.990
27	4.175	8.805	1.580	774.904
30	1.044	8.554	1.514	774.736
60	0.000	5.701	0.757	772.807
90	0.000	2.304	0.291	771.119
120	0.000	0.966	0.130	768.923
150	0.000	0.434	0.058	767.863
180	0.000	0.195	0.026	767.387
210	0.000	0.087	0.012	767.174
240	0.000	0.039	0.005	767.078
270	0.000	0.018	0.002	767.035
300	0.000	0.000	0.000	767.000

Avec : t (h) = temps du début de la crue. Qe (m<sup>3</sup>/s) = débit de la crue au temps t. Qs (m<sup>3</sup>/s) = débit en sortie du barrage au temps t. Vres (Mm<sup>3</sup>) = volume d'eau dans le réservoir. Z (m) = cote de l'eau dans la cuvette.

Tableau 15 : Infiltration dans la cuvette de la crue du 10.11.1988 par le barrage de Tata.

h (m)	Q inf (m <sup>3</sup> /s)	Qb+d (m <sup>3</sup> /s)	Vinf.p (Mm <sup>3</sup> )	Vinf.t (Mm <sup>3</sup> )
0	0	0	0	0
8.32	6.098	89.325	0.033	0.033
8.36	6.154	102.161	0.066	0.099
8.16	5.919	47.352	0.065	0.164
8.07	5.811	21.899	0.063	0.228
8.03	5.773	12.688	0.063	0.290
8.02	5.755	8.442	0.062	0.352
8.01	5.742	5.316	0.062	0.415
7.99	5.721	3.214	0.062	0.476
7.90	5.624	3.181	0.061	0.538
7.74	5.435	3.119	0.060	0.597
5.81	3.482	2.219	0.482	1.079
4.12	2.099	0.205	0.301	1.380
1.92	0.755	0.211	0.154	1.534
0.86	0.290	0.144	0.056	1.591
0.39	0.120	0.075	0.022	1.613
0.17	0.052	0.035	0.009	1.622
0.08	0.023	0.016	0.004	1.626
0.03	0.010	0.008	0.002	1.628
0	0	0	0.008	1.631

Avec : h = hauteur de la lame d'eau dans le réservoir (m). Qinf = débit de l'infiltration dans la cuvette (m<sup>3</sup>/s). Qb+d = débit de la buse + le déversoir (m<sup>3</sup>/s). Vinf.p = volume d'eau infiltrée dans l'intervalle (Mm<sup>3</sup>). Vinf.t = volume total infiltré dans la cuvette (Mm<sup>3</sup>).

Les volumes totaux d'eau qui s'infiltrent dans la cuvette et les volumes totaux d'eau qui sortent par la buse et le déversoir sont calculés dans le tableau 15.

Au total 1,6 millions de m<sup>3</sup> d'eau s'infiltrent dans la cuvette et 3,6 millions de m<sup>3</sup> d'eau sortent du barrage.

### 2.3.2 Infiltration dans les alluvions en aval du barrage

Le tableau 16 résume les volumes calculés suivants :

- Volume d'eau qui sort du réservoir dans un intervalle de temps ;
- Volume maximum d'eau qui peut s'infiltrer dans le terrain dans cet intervalle ;
- Volume d'eau qui peut effectivement s'infiltré ;
- Volume totale d'eau qui s'est infiltré durant toute la crue.

La surface disponible pour l'infiltration des eaux est de  $1475 \text{ m} * 50 \text{ m} = 73,750\text{m}^2$ .

Le volume infiltré dans les alluvions en aval du barrage est 0,3 millions de  $\text{m}^3$ .

Tableau 16 : Eau infiltrée par la crue du 10.11.1988 en aval du barrage.

t (h)	Q b + d ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Vol 1 ( $\text{Mm}^3$ )	Vol 2 ( $\text{Mm}^3$ )	Vol 3 ( $\text{Mm}^3$ )	Vol 4 ( $\text{Mm}^3$ )	Vol 5 ( $\text{Mm}^3$ )	Vol 6 ( $\text{Mm}^3$ )
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	89.325	0.482	0.009	0.009	0.009	0.482	0.474
6	102.161	1.034	0.009	0.009	0.018	1.516	1.499
9	47.352	0.807	0.009	0.009	0.027	2.324	2.297
12	21.899	0.374	0.009	0.009	0.035	2.698	2.662
15	12.688	0.187	0.009	0.009	0.044	2.884	2.840
18	8.442	0.114	0.009	0.009	0.053	2.999	2.945
21	5.316	0.074	0.009	0.009	0.062	3.073	3.011
24	3.214	0.046	0.009	0.009	0.071	3.119	3.048
27	3.181	0.035	0.009	0.009	0.080	3.153	3.074
30	3.119	0.034	0.009	0.009	0.089	3.187	3.099
60	2.219	0.288	0.089	0.089	0.177	3.476	3.299
90	0.205	0.131	0.089	0.089	0.266	3.607	3.341
120	0.211	0.022	0.089	0.022	0.288	3.629	3.341
150	0.144	0.019	0.089	0.019	0.307	3.648	3.341
180	0.075	0.012	0.089	0.012	0.319	3.660	3.341
210	0.035	0.006	0.089	0.006	0.325	3.666	3.341
240	0.016	0.003	0.089	0.003	0.328	3.669	3.341
270	0.008	0.001	0.089	0.001	0.329	3.670	3.341
300	0.000	0.006	0.089	0.006	0.335	3.676	3.341

Avec :  $t$  (h) = temps du début de la crue.  $Q_{b+d}$  ( $m^3/s$ ) = débit buse + déversoir. Vol 1 ( $Mm^3$ ) = volume d'eau sorti du barrage dans l'intervalle. Vol 2 ( $Mm^3$ ) = volume d'eau qui peut s'infiltrer dans l'intervalle. Vol 3 ( $Mm^3$ ) = volume d'eau effectivement infiltré dans l'intervalle. Vol 4 ( $Mm^3$ ) = volume totale d'eau infiltré dans l'intervalle. Vol 5 ( $Mm^3$ ) = volume total d'eau sorti du barrage au temps  $t$ . Vol 6 ( $Mm^3$ ) = volume totale d'eau qui écoule en aval. Volume total sorti du barrage (déversoir + buse) = 3.6 millions de  $m^3$ .

Volume infiltré en aval du barrage = 0.3 millions de  $m^3$  (6% du total). Volume d'eau qui s'écoule en aval = 3.3 millions de  $m^3$  (63% du total). Volume total infiltré = 1.9 millions de  $m^3$  (37% du total).

### 2.3.3 Infiltration totale par effet du barrage

Le volume total d'eau, infiltré par effet du barrage de Tata est :

$$1,6 + 0,3 = 1,9 \text{ millions de } m^3 \text{ soit } 36,5\% \text{ du total de la crue.}$$

La comparaison entre les volumes infiltrés en absence et en présence du barrage montre l'intérêt de ce type d'ouvrage dans la recharge de la nappe alluviale de l'oued Tata. Le taux d'accroissement des réserves souterraines a été multiplié par 10 comme le montre la figure suivante.

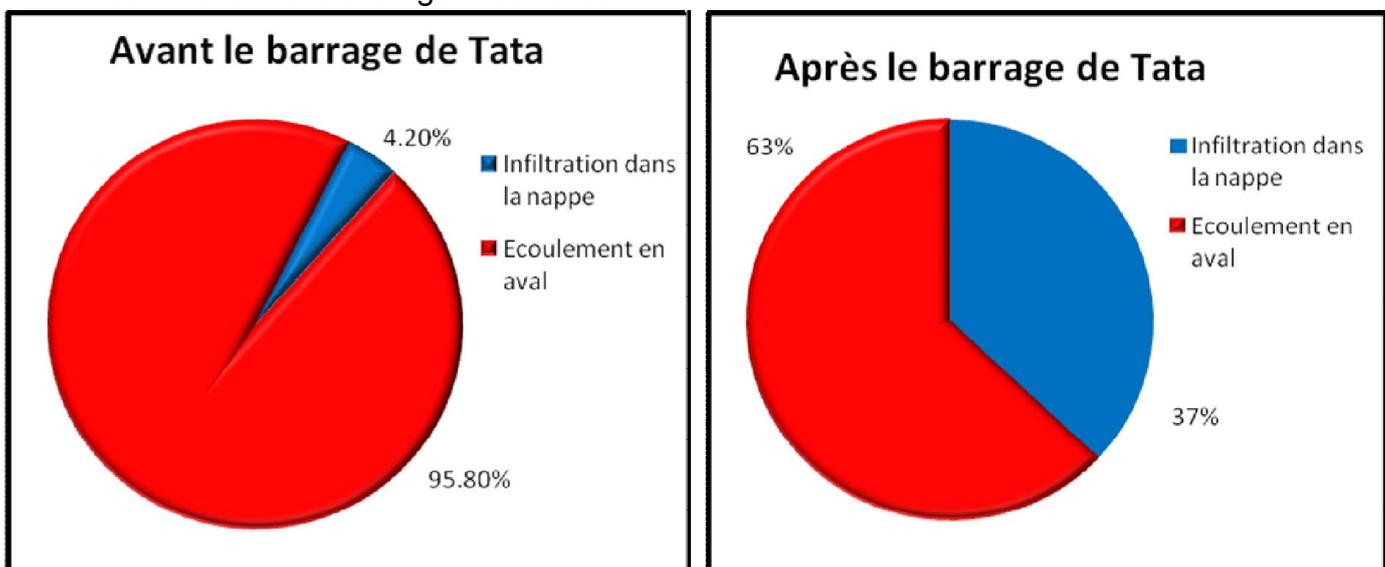


Figure 19 : Comparaison des pourcentages de volumes d'eau infiltrés en absence et en présence du barrage

L'infiltration de l'eau dans la cuvette sera progressivement réduite par effet de la sédimentation de dépôts limoneux-argileux. Pour prolonger dans le temps l'effet positif du barrage il faudra faire périodiquement des travaux d'aménagement en levant le limon déposé (Curage de la cuvette du barrage).

## CONCLUSION GENERALE

Le présent rapport traite la faisabilité de la recharge de la nappe alluviale du bassin versant de l'oued Tata. Pour ce faire, plusieurs études (Géologique, Géophysique, Hydrologique et Hydrogéologiques) ont été menées conjointement avec l'équipe de consultants de la société GEOSMA.

Les paramètres hydrodynamiques et géophysiques ont montré un réservoir potentiel important de cette nappe alluviale. Les volumes d'eau disponibles lors des événements de crues sont relativement très importants.

La modélisation des écoulements en présence et en absence du barrage d'écrêtement montre une possibilité d'accroître la recharge artificielle de la nappe alluvionnaire. En effet on passe lors d'un événement de crue relativement modéré (270 m<sup>3</sup>/s) de 0.22 Mm<sup>3</sup> à 2 Mm<sup>3</sup> soit un taux d'accroissement de la recharge multiplié par 10.

Cette étude montre l'importance des barrages d'écrêtement dans l'alimentation des nappes alluviales surtout dans les conditions climatiques sévères tel le bassin de l'oued Tata.

## Bibliographie

- ALGOUTI AB., AH. ALGOUTI, B. CHBANI, M. ZAIM (2001), *Sédimentation et volcanisme synsédimentaire de la série de l'Adoudounien infra-cambrien à travers deux exemples de l'Anti-Atlas du Maroc*, Journal of African Earth Sciences, Vol. 32, N° 4, 541-556 pp.
- Barathon J., El Abbassi H., Lechevalier C. *Les oasis de la région de Tata (Maroc), abandon de la vie oasisienne traditionnelle et adaptation à la vie urbaine.*
- BOUBEE Y., *Ralentissement dynamique des crues.*
- BURKHARD M. S. CARITG, U. HELG, C. ROBERT-CHARRUE, A. SOULAÏMANI (2006), *Tectonics of the Anti-Atlas of Morocco*, Comptes Rendus Geoscience, 11-24, 338 pp.
- Chouberl G- ( 1 9 5 2 ), *Histoire géologique du domaine de l'Anti-Atlas*, in « *Géologie du Maroc* », 19c Congr. géol. intern. Alger, 1952 et Notes et M. Sen: géo I, Maroc , n° 100, 7 5 - 1 9 4 pp.
- Choubert G. (1963), *Histoire géologique du Précambrien de l'Atlas. Notes et M. Sen: géol. Maroc*, n° 162, 352 pp. 131 fig., 2 cartes h.t.
- El-Mehdi SAIDI Mohamed, *CONTRIBUTION A L'HYDROLOGIE PROFONDE ET SUPERFICIELLE DU BASSIN DU SOUSS (MAROC) Climatologie, Hydrogéologie, crues et bilans hydrologiques en milieu sub-aride.*
- HEFFERAN K.P., H. ADMOU, J.A. KARSON, A. SAQUAQUE (2000), *Anti-Atlas (Morocco) role in Neoproterozoic Western Gondwana reconstruction*, Precambrian Research, 103, pp. 89-96.
- Neltner L. (1 9 3 8), *Etudes géologiques dans le sud marocain (Haut-Atlas et Anti-Atlas)*, Noies et M. Serr. Mines et Carte géol. Maroc, n° 42, 200 pp.
- PIQUE A., M. BOUABDELLI, A. SOULAÏMANI, N. YOUNI, M. ILIANI (1999), *Les conglomerates du P III (Néoprotérozoïque supérieur) de l'Anti-Atlas (Sud du Maroc): molasses panafricaines, ou marqueurs d'un rifting fini-protérozoïque*, C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes, 328, 409-414 pp.

## Webiographie

[-http://www.sagehuisne.org/IMG/pdf/Fiche\\_5.pdf?PHPSESSID](http://www.sagehuisne.org/IMG/pdf/Fiche_5.pdf?PHPSESSID)

[-http://glossaire.prim.net/definition/ecretement-de-crues](http://glossaire.prim.net/definition/ecretement-de-crues)

[-http://www.portailsudmaroc.com/articlesmenu/230610-160625-708-3-tata-14-3-x90.pdf](http://www.portailsudmaroc.com/articlesmenu/230610-160625-708-3-tata-14-3-x90.pdf)



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Mlle. ECHOGDALI Fatima Zahra**

**Année Universitaire : 2013/2014**

**Titre: Etude de la faisabilité de la recharge artificielle de nappe alluviale de la zone semi aride cas de la nappe alluviale de l'oued TATA (SE, Maroc)**

## **Résumé**

L'objectif de ce travail est d'élaborer une méthodologie qui permet de réalimenter la nappe phréatique de Tata, cette étude permet d'étudier et modéliser le fonctionnement d'un barrage d'écrêtement qui vise à ralentir la vitesse de propagation des crues ce qui conduit à augmenter le temps de contact entre les alluvions et l'eau.

Cette recharge artificielle vise essentiellement à augmenter la circulation naturelle de l'eau de surface dans le sol selon des conditions hydrogéologique et géologiques de bassin versant de Tata.

La modélisation des écoulements en présence et en absence du barrage d'écrêtement montre une possibilité d'accroître la recharge artificielle de la nappe alluvionnaire. En effet on passe lors d'un événement de crue relativement modéré ( $277 \text{ m}^3/\text{s}$ ) de  $0.22 \text{ Mm}^3$  à  $2 \text{ Mm}^3$  soit un taux d'accroissement de la recharge multiplié par 10.

Cette étude montre l'importance des barrages d'écrêtements dans l'alimentation des nappes alluviales surtout dans les conditions climatiques sévères tel le bassin de l'oued Tata.

**Mots clés:** Recharge artificielle, barrage d'écrêtement, nappe alluviale.