



Département des Sciences de la Terre

Licence ès Sciences et Techniques

Eau & Environnement

Mémoire du projet de fin d'étude

Projet de l'aménagement du futur barrage Ait Ziat Bassin versant de l'Oued Zat à Ait Ourir (Maroc)

Réalisé par : -BEN ELHAMDI SABAH

- ATMAN BADRA

Soutenu le : 30 Juin 2021

Devant la commission d'examen composée de :

Encadrant : Pr. Mohammed ERRAGRAGUI, FST Marrakech

Examineur : Pr. Driss CHAFIKI, FST Marrakech

Année universitaire 2020-2021



Dédicace

Nous dédions ce modeste travail à :

Nos familles surtout à nos parents qui nous ont aidés et soutenu à poursuivre nos études dans des meilleures conditions.

Nos sœurs et nos frères qui nous ont encouragées durant toute notre vie scolaire

Nos enseignants pour leurs efforts déployés pour qu'on puisse avoir une bonne formation.

Nos chères amies avec qui nous avons passé des meilleurs moments.



REMERCIEMENT:

Avant de présenter notre projet de fin d'étude, Nous tenons à remercier



Qui nous a données la force, la volonté et le courage pour arriver jusqu'à là.

Nos chaleureux remerciements à nos très chers parents pour leurs sacrifices matériels et moraux qu'ils ont accordés le long de nos années d'études

Nous adressons nos plus vifs remerciements à notre encadrant et professeur monsieur **ERRAGRAGUI Mohammed**, pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour son patience, son rigueur, son disponibilité, ses conseils éclairés et les encouragements durant notre préparation de ce mémoire.

Nos remerciement sont adressé aux membres du jury : **Monsieur ERRAGRAGUI Mohammed et monsieur CHFIKI Driss** d'avoir accepté de juger ce modeste travail et qu'ils trouvent ici l'expression de nos meilleurs sentiments.

Nous voudrions remercier monsieur **AMEZIANE Saïd**, directeur de la direction provincial des eaux et des forêts qui nous a encadrées au sein de cette organisme, pour son aide et pour la documentation qu'ils ont mise à notre disposition.

Il est aussi indispensable d'exprimer nos gratitude et nos sentiments les plus respectueux à monsieur **DELMAKI Abdelfattah**, pour sa disponibilité, son aide et son assistance, et pour toutes ses informations importants, au cours de mon stage.

Enfin nous voulons exprimer nos remerciements à tous ceux qui ont contribué de loin ou près, à l'élaboration de ce travail que ce soit au département de géologue de la faculté des sciences et techniques Marrakech, ou bien, au sien de la DREFLCD-HA DE Marrakech.

Résumé

Les résultats présentés dans ce mémoire de fin d'études est le fruit d'un long travail pendant lequel nous répondrons à la problématique qui est posée au début de ce travail qui est celle de savoir l'importance de l'aménagement du futur barrage d'Aït Ziat à Ait Ourir, sa méthode d'aménagement ainsi que ses impacts socioéconomiques.

L'objectif de ce travail consiste fondamentalement à étudier et analyser les différentes informations et données géographiques, géologiques, hydro-climatologiques, géométriques du bassin versant Ziat qui est l'espace de drainage de ce futur barrage.

Les résultats obtenus vont nous permettre de montrer que la région d'Ait Ourir nécessite la construction du barrage Ait Ziat qui est une très bonne alternative pour maîtriser et stocker l'eau pour assurer la sécurité hydrique et alimentaire de la région et donc atténuer les effets négatifs d'un probable futur déficit.

Par conséquent, la construction du barrage Ait Ziat c'est une étape primordiale de point de vue de préserver les ressources en eau et maintenir l'activité agricole, aura également beaucoup de bénéfices sur le bassin versant de l'oued Ziat, mais il reste comme tous les barrages en danger d'être démolis à l'avenir. De ce fait, la création de cette retenue doit prendre en compte les différents effets néfastes qu'elle pourrait causer, ainsi qu'il de proposer et concrétiser un système de protection qui permet d'éviter sa destruction dans le futur.

Liste des matières

Remerciement

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale	1
Descriptif de l'organisme d'accueil : DREFLCD-HA	2
Chapitre 1: Présentation du secteur d'étude: le bassin versant de l'oued Zat	3
I. Introduction	4
II. Présentation générale sur le bassin versant du l'Oued Zat	4
II.1 Situation géographique, contexte géologique et cadre climatologique	4
II.1.1 Situation géographique	4
II.1.2 Contexte géologique et lithologique	5
II.1.3 Cadre climatologique	7
II.2 Les ressources en eau	9
II.2.1 Eaux souterraines	9
II.2.2 Eaux de surfaces	10
II.3 Caractéristiques géométriques et topographiques	10
II.3.1 Surface du bassin versant d'Oued Zat	10
II.3.2 Périmètre	10
II.3.3 Indice de compacité de Gravelius	10
II.3.4 Rectangle équivalent	11
II.3.5 Altitudes	11
II.3.6 Pentes	12
II.3.7 Le temps de concentration	13
II.3.8 Le réseau hydrographique	14
II.4 Cadre sociodémographique	15
II.4.1 Découpage administratif :	15
II.4.2 Caractéristiques démographiques	16
II.5 Cadre socioéconomiques	17
II.5.1 Les secteurs sociaux	17
II.5.2 Développement humain	18
II.6 Secteurs productifs	18
II.6.1 Agriculture	18
II.6.2 Foresterie	19
Chapitre 2: L'aménagement du barrage Ait Ziat	21
I. Généralité sur les barrages	22
I.1 Histoire des barrages au Maroc	22
I.2 Définition	22
I.3 Types des barrages	22
I.3.1 Les barrages en béton	22
I.3.2 Les barrages souples	26
II. Avantages de divers type de barrage	29

II.1	Barrages souples	29
II.2	Barrages rigides	30
III.	Chronologie de la réalisation d'un barrage	30
IV.	Etude préliminaire à la construction d'un barrage	31
IV.1	Choix du site de retenue	31
IV.2	Choix de la position du barrage	31
IV.3	Choix du type de barrage	31
V.	Matériaux utilisables pour la construction	32
VI.	Description du barrage Ait Ziat	32
VI.1	L'emplacement du barrage ait Ziat	32
VI.2	Les caractéristiques du barrage Ait Ziat	34
VI.2.1	Aperçu des volumes et coût	34
VI.2.2	Performances hydrauliques	34
VI.2.3	Objectifs de la construction du barrage Ait Ziat	35
VI.3	Les méthodes d'aménagement du barrage Ait Ziat	35
VI.3.1	Le corps du barrage Ait Ziat	35
VI.3.2	Pente des talus	36
VI.3.3	-Description du noyau	37
VI.3.4	-Drainage et Filtre	37
VI.3.5	Système de protection	38
VII.	-L'envasement et dévasement du barrage ait Ziat	40
VII.1	L'envasement du barrage	40
VII.2	Dévasement du barrage Ait Ziat	41
VIII.	Conséquences de la construction du barrage Ait Ziat	42
VIII.1	Conséquences hydrologiques	42
VIII.2	Conséquences socioéconomiques	43
VIII.3	Pertes économiques	44
VIII.4	Coût des impacts socioéconomiques	44
VIII.5	Impacts environnementaux	44
IX.	Avantage du barrage Ait Ziat	45
❖	Energie renouvelable et production d'électricité et d'eau potable	45
❖	Irrigation des cultures	45
❖	Avantages économiques et sociaux	45
	Conclusion générale	47
	Références bibliographiques	48
	Annexes	49

Liste des figures

Figure 1: Vue sur la vallée du Zat :	4
Figure 2: Situation géographique du bassin versant Zat:	5
Figure 3: Les formations géologiques du bassin versant (AIT ABBA, 2018)	6
Figure 4: (A) : Précipitations moyennes mensuelles de la station hydrométrique Taferiat (1982/83 à 2016/17) (B) : Précipitations moyennes saisonnières du bassin versant de l’oued Zat	7
Figure 5: Précipitations moyennes annuelles du bassin versant Zat (1982/83 à 2016/17)	8
Figure 6: Précipitation moyennes journalières pendant l'année 1995/96	8
Figure 7: Débit moyens mensuels dans le bassin versant de l'Oued Zat, durant la période de (1962/63 à 2016/17	9
Figure 8: Les principales nappes phréatiques du bassin versant du Tensift (Limam 2005)	10
Figure 9: Carte hypsométrique du bassin versant de l'Oued Zat	12
Figure 11: Répartition des surfaces de chaque tranche de pente du bassin versant Zat	13
Figure 12: Réseau hydrographique du bassin versant Zat (AIT RAMI, 2020)	15
Figure 13: Nombre de douars par commune rurale, au niveau du sous bassin de Zat (Diagnostic du sous bassin, 2016)	16
Figure 14: Répartition des douars suivant le nombre des foyers, au niveau du bassin versant Zat	17
Figure 15: Statistiques relatives aux infrastructures de santé, d'éducation, des routes et des mosquées, au niveau du bassin versant Zat (Diagnostic du sous bassin de Zat, 2016)	17
Figure 16: Carte de végétation du bassin versant de l'Oued Zat (AIT RAMI, 2020)	19
Figure 17: Les différents types de barrages en béton	22
Figure 18: Barrage poids en béton (ANTON ET HENRI, 2011)	23
Figure 19: Exemple de barrage poids (barrage de lalla Takrkouste, 1935)	23
Figure 20: Barrage voûte en béton (ANTON et HENRI, 2011)	24
Figure 21: Exemple de barrage voûte (barrage bin El Ouidane, 1953)	24
Figure 22: Coupe transversale et vue en plan de barrage à contreforts (ANTON et HENRI, 2011)	25
Figure 23: Exemple de barrage à contreforts (Al Massira)	25
Figure 24: Type de barrage souple	26
Figure 25: Profil du barrage homogène (AZZOUZI et MEGREZ 2019)	26
Figure 26: Profil du barrage à noyau (AZZOUZI et MEGREZ, 2019)	27
Figure 27: Exemple de barrage en remblai à noyau (Al Makhazine)	27
Figure 28: Profil du barrage à masque amont (AZZOUZI et MEGREZ, 2019)	28
Figure 29: Exemple du barrage en enrochement	28
Figure 30: Les avantages de chaque type des barrages souples (AZZOUZI et MEGREZ, 2019)	29
Figure 31: Les avantages de chaque type des barrages rigides (AZZOUZI et MEGREZ, 2019)	30
Figure 32: Site potentiel du Barrage Ait Ziat dans la province Al Haouz (Dahan, 2017)	33

Figure 33: Site potentiel du barrage Ait Ziat dans le bassin versant de L'Oued Zat (Ait Rami, 2020)	33
Figure 34: Schéma de la digue du barrage Ait Ziat (Wikibardig)	35
Figure 35: Réalisation d'un drain (Wikibardig)	37
Figure 36: Réalisation d'un filtre (Wikibardig)	38
Figure 37: Exemple de talus amont protégé par RipRap (Wikibardig)	39
Figure 38: Exemple de protection du talus amont par dalles en béton (Wikibardig)	39
Figure 39: Exemple de protection du talus amont par pavés autobloquants (Wikibardig)	40
Figure 40: Exemple de la protection du talus aval par l'enherbement (Wikibardig)	40
Figure 41: Processus d'envasement du barrage Ait Ziat (Larhyss Journal, 2016)	41
Figure 42: Régulation du débit par les barrages: écrêtement de la pointe de crue	43
Figure 43: Exemples des douars menacés, extrais de la partie avale de la carte topographique du bassin versant de l'Oued Zat, qui sera inondée par l'installation du barrage Ait Ziat (AIT RAMI, 2020)	43

Liste des tableaux

Tableau 1: Les caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de l'Oued Zat _____	14
Tableau 2: Répartition de la population suivant les zones géomorphologiques du sous bassin de Zat (Diagnostic du sous bassin de Zat, 2016) _____	16
Tableau 3: Evolution du taux de pauvreté dans le sous bassin Zat (Diagnostic du sous bassin de Zat, 2016) _____	18
Tableau 4: Estimation du coût du m ³ d'eau régularisé pour l'eau potable à partir du barrage Ait Ziat (AIT RAMI, 2020) _____	34
Tableau 5: Performance hydraulique du barrage Ait Ziat _____	34
Tableau 6: Caractéristiques du corps du barrage (AIT RAMI, 2020) _____	36
Tableau 7: Pentés indicatives des parements d'un barrage en terre (Wikibardig) _____	36
Tableau 8: Consistance du programme d'intervention 2015-2014 _____	42
Tableau 9: Estimation du coût des impacts socioéconomiques et environnementaux du barrage Ait Ziat _____	44
Tableau 10: Conséquence attendus du barrage Ait Ziat (Ait Rami, 2020) _____	45

Liste des abréviations

- ❖ ABHT: Agence de Bassin Hydraulique du Tensift
- ❖ AEP : Alimentation en Eau Potable
- ❖ APS : Avant-Projet Sommaire
- ❖ APD : Avant-Projet Détaillé
- ❖ DAH : Direction des Aménagements Hydrauliques
- ❖ DREFLCD-HA : Direction Régionale des Eaux et Forêts et de la lutte contre la désertification du Haut Atlas
- ❖ GH : Grande Hydraulique
- ❖ HCEFLCD : Haut-Commissariat aux eaux et forêts et à la lutte contre la désertification
- ❖ PHE : Niveau des plus Hautes Eaux
- ❖ PMH : Petite et Moyenne Hydraulique
- ❖ RGA : Recensement Général de l'Agriculture
- ❖ RADEEMA : Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Marrakech
- ❖ SIG : Systèmes d'Information Géographique

Introduction générale

Les ressources en eau de la région de Marrakech sont relativement limitées. De plus, ces ressources sont dotées par une irrégularité temporelle et une répartition spatiale hétérogène. En d'autres termes, l'irrégularité et la répartition traduisent la nature de précipitation sous forme de crues fortes. Celles-ci peuvent provoquer les inondations catastrophiques causant des dégâts humains. Par contre, le développement socio-économique important impose une forte demande en eau.

Par conséquent, la gestion des ressources en eaux doit être régie par une stratégie efficace accompagnée par une gestion optimale visant la valorisation des ressources disponibles et en évitant des catastrophes coûteuses.

Dans ce cadre, le Maroc adopte une politique particulièrement audacieuse pour le secteur de l'eau. La politique des barrages a été définie pour élargir les périmètres d'irrigation, pour répondre aux besoins croissants en eau potable, pour l'irrigation et aussi pour protéger les sites menacés par les risques des inondations.

Le barrage Ait Ziat c'est un nouvel ouvrage sur le point d'être construit, d'un volume de $45Mm^3$, dont le domaine de projection est situé dans le bassin versant de l'oued Zat, un important affluent de l'oued Tensift.

Notre travail a pour objectifs de présenter le bassin versant de l'oued Zat et, de caractériser le barrage Ait Ziat, ainsi que de déterminer ses impacts socioéconomiques. Pour aboutir à ces objectifs, nous avons commencé par une revue préliminaire du bassin versant de l'Oued Zat dans le premier chapitre, ensuite la présentation générale du barrage ait Ziat, la détermination du sa méthode de construction et de protection, et on finit par la citation de ses effets socioéconomiques dans le deuxième chapitre.

C'est un travail qui s'inscrit dans le cadre de notre projet de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme de licence en sciences et techniques Eau et Environnement à la faculté des sciences et techniques de Marrakech. Il s'est déroulé au sein de la Direction provincial de l'eau et Foret et la lutte contre la désertification dont le choix est motivé par L'amélioration de notre savoir-faire et L'acquisition de nouvelles compétences.

Descriptif de l'organisme d'accueil : DREFLCD-HA

- Définition

La Direction Régionale des Eaux et forêts et de la lutte contre la désertification de Haut Atlas-Marrakech(DREFLCD-HA),situé à bab Doukkala-Marrakech, est un nouveau siège inauguré en 2012.La construction de ce bâtiment s'inscrit dans la cadre de la politique du gouvernement visant le rapprochement de l'administration du citoyen et se propose de renforcer l'infrastructure administrative au niveau régional, d'améliorer la qualité du service public offert au citoyen, et de grandir un cadre de travail adéquat pour le personnel de l'administration.

Ce siège aussi a été créé pour améliorer la gestion des ressources humaines et matérielles et promouvoir la coordination entre les différents services régionaux (Essaouira, Chichaoua, Rhamna, Kelaat Sraghna et Marrakech).

- Les missions et les objectifs de la direction

Le Haut-commissariat aux eaux et forêts et à la lutte contre la désertification (HCEFLCD), a pour mission de :

- ❖ Elaborer et mettre en œuvre la politique du gouvernement, dans les domaines de la conservation et du développement durable des ressources forestiers, alfatières, Sylvio-pastorales dans les terrains soumis au régime forestiers, aussi que le développement cynégétique, piscicole continentale et des parcs et réserves naturelles;
- ❖ Coordonner la mise en place des mécanismes institutionnels pour la préparation, l'exécution, le suivi et l'évaluation de la politique du gouvernement en matière de lutte contre désertification;
- ❖ Participer à l'élaboration et à la mise en œuvre, de la politique du gouvernement en matière de développement rural.

**Chapitre 1: Présentation du secteur d'étude: le bassin
versant de l'oued Zat**

I. Introduction

Ce chapitre consacré à la présentation du cadre géographique, géologique, climatologique, sociodémographique et les différentes caractéristiques morphologiques (surface, périmètre, pente, temps de la concentration...) du bassin versant Zat.



Figure 1: Vue sur la vallée du Zat :

II. Présentation générale sur le bassin versant du l'Oued Zat

II.1 Situation géographique, contexte géologique et cadre climatologique

II.1.1 Situation géographique

L'oued Zat traverse la ville d'Ait Ourir dans sa partie sud, à environ 45 km au Sud-est de Marrakech entre la latitude $31^{\circ}30'$ et $31^{\circ}45'$ et la longitude $7^{\circ}30'$ et $7^{\circ}45'$. Il est limité au Nord par la plaine de Haouz, au Sud par la zone axiale du Haut Atlas, à l'ouest par l'oued Ourika et l'Est par l'oued Ghdat (figure 2).

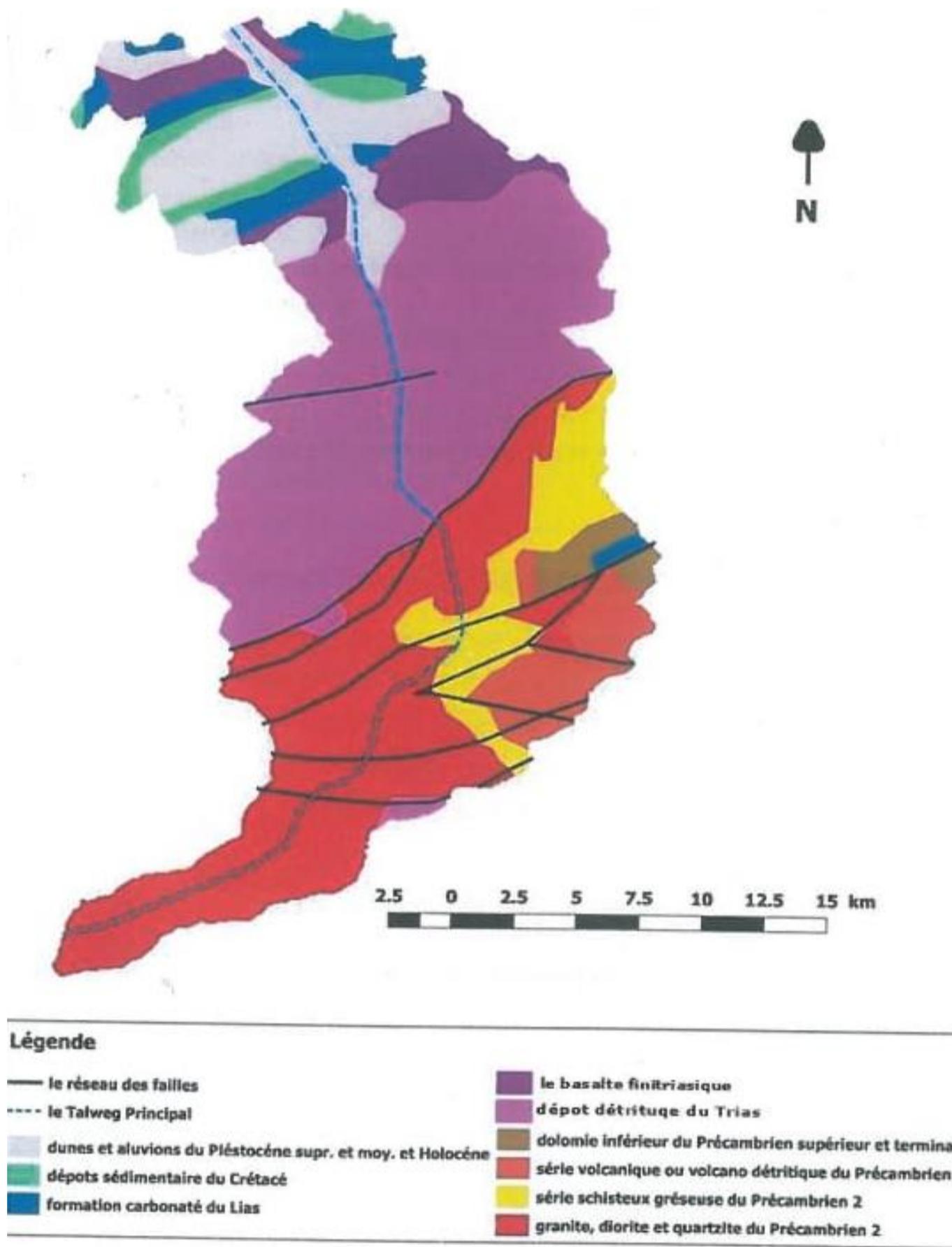


Figure 3: Les formations géologiques du bassin versant (AIT ABBA, 2018)

II.1.3 Cadre climatologique

✓ Précipitations moyennes mensuelles

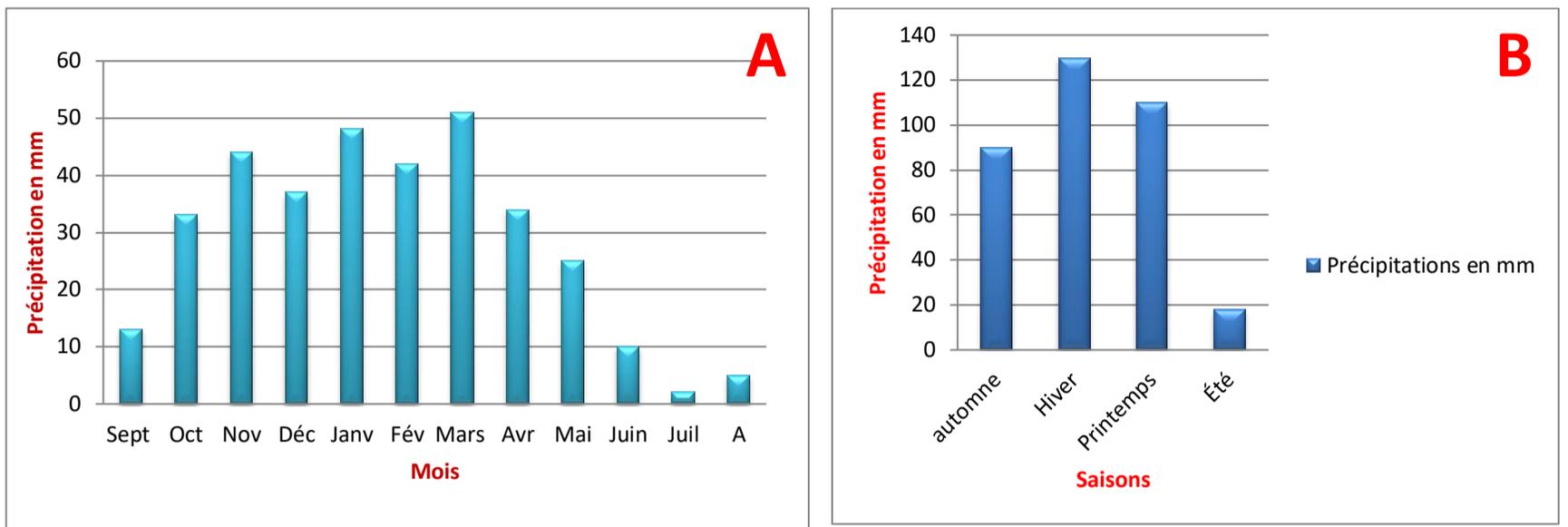


Figure 4: (A) : Précipitations moyennes mensuelles de la station hydrométrique Taferiat (1982/83 à 2016/17)

(B) : Précipitation moyennes saisonnières du bassin versant Zat

L'analyse de l'histogramme de la répartition moyenne des pluies mensuelles indique l'existence de deux saisons nettement différenciées (Figure 4)

- ❖ D'octobre à Avril : une saison humide où interviennent la quasi-totalité des épisodes pluvieux, soit près de 80 à 93 % de la pluviométrie annuelle (> 30mm).
- ❖ De Mai à Septembre : une saison sèche avec seulement 7 à 17 % de la pluviométrie annuelle (<30mm).

Ainsi le bassin versant de l'oued Zat, reçoit le maximum de chutes de pluies au cours de l'hiver, suivi du printemps et de l'automne, il enregistre 51mm comme une valeur maximale en mois Mars, par contre, l'été est la saison la plus sèche, elle n'enregistre que quelques millimètres ou dizaines de millimètre avec un minimum de 2 mm, correspondant au mois de juillet (résultats durant 34 ans).

✓ Précipitation moyennes annuelles

A partir de l'examen des données des précipitations annuelles, couvrants une période de 34 ans, on peut apercevoir que l'exutoire Taferiat du bassin Zat, reçoit annuellement en moyenne 345,2mm (figure 5).

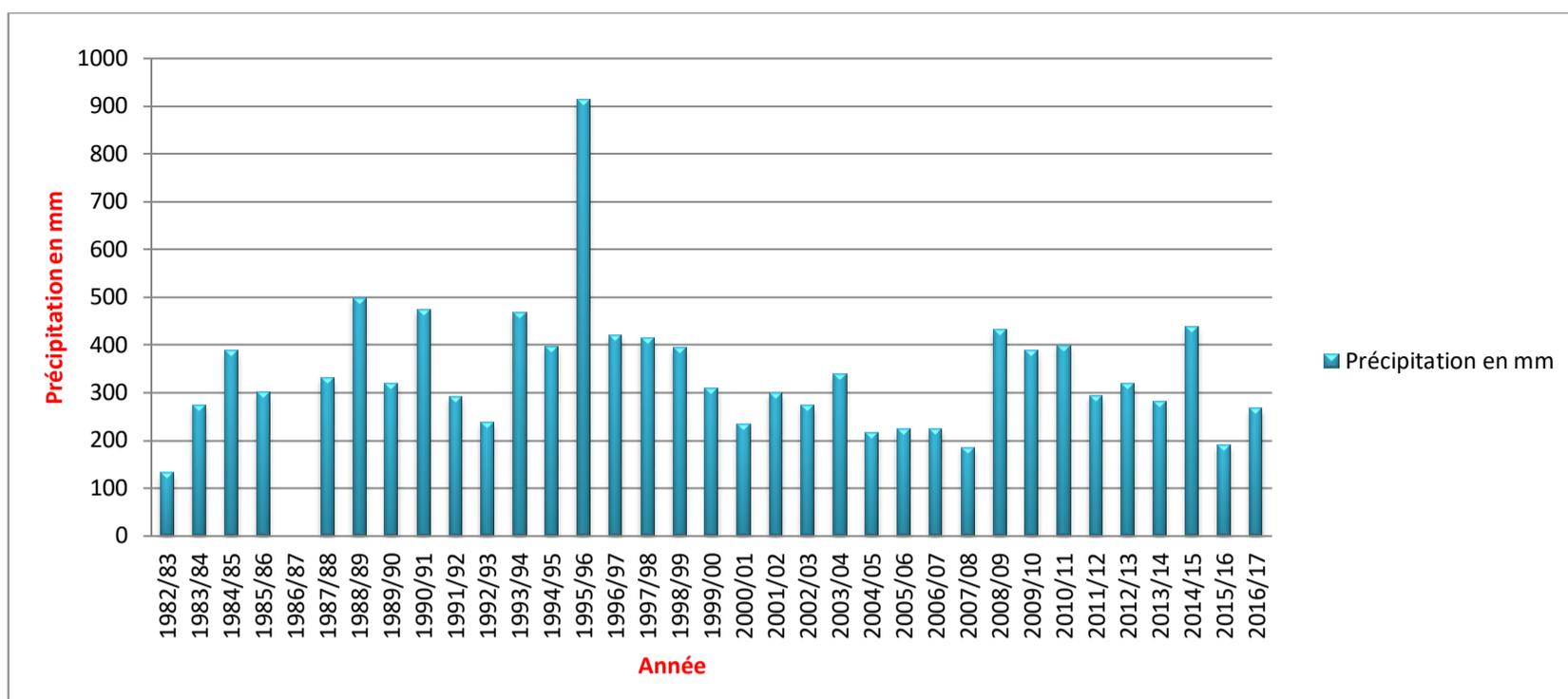


Figure 5: Précipitations moyennes annuelles du bassin versant Zat (1982/83 à 2016/17)

D'après l'histogramme de l'évolution des précipitations annuelles moyennes, nous pouvons remarquer que la station de Taferiat a enregistré le maximum des précipitations dans l'année 1995/96, qui a été exceptionnellement très pluvieuse représentant une moyenne maximal de 913,4 (mm) résultante d'une crue inattendue. Cependant l'année 1986/87 représente l'année la plus sèche durant la période 1982/83 - 2016/17.

✓ *Précipitations moyennes journalières*

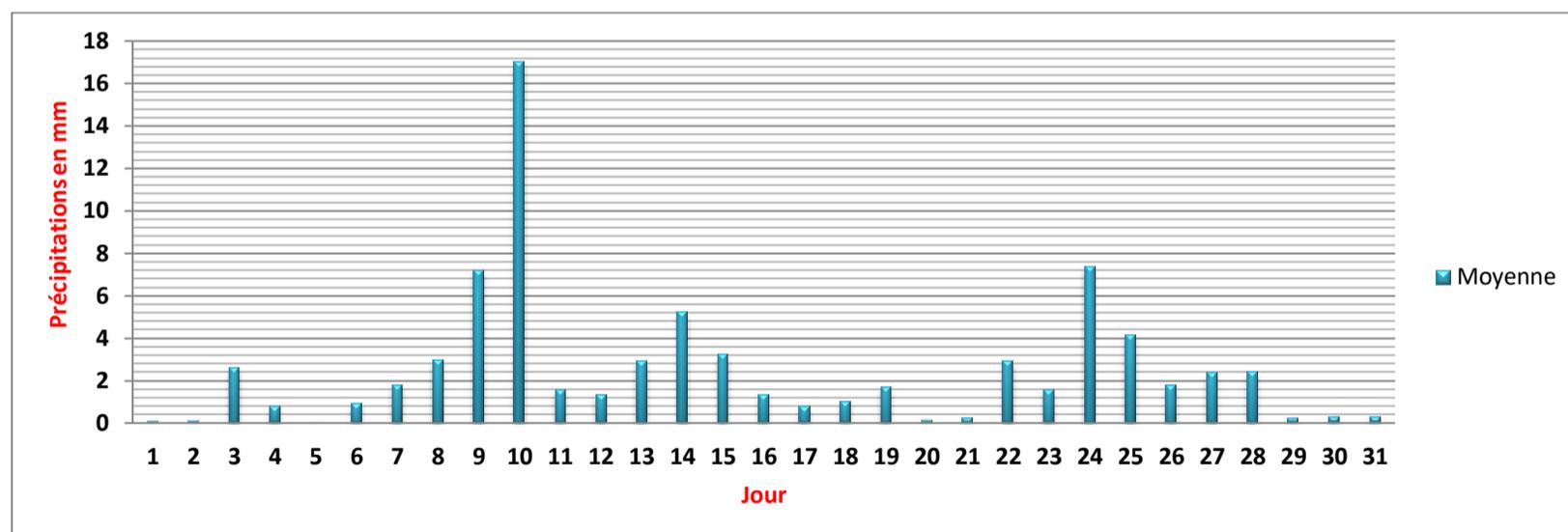


Figure 6: Précipitation moyennes journalières pendant l'année 1995/96

D'après l'histogramme de précipitations moyennes journalières pendant l'année 1995/96, on peut constater que la station de Taferiat a enregistré une quantité importante des précipitations surtout pendant le jour 10, qui a été très pluvieuse représentant une moyenne maximale de 17mm (figure 6).

✓ *Régime hydrologique et débits moyens*

Le régime hydrologique d'oued Zat est généralement irrégulier au cours de l'année. Les cours d'eau recueillent les précipitations importantes et engendrent une augmentation du débit qui se poursuit pour atteindre son maximum au mois d'avril.

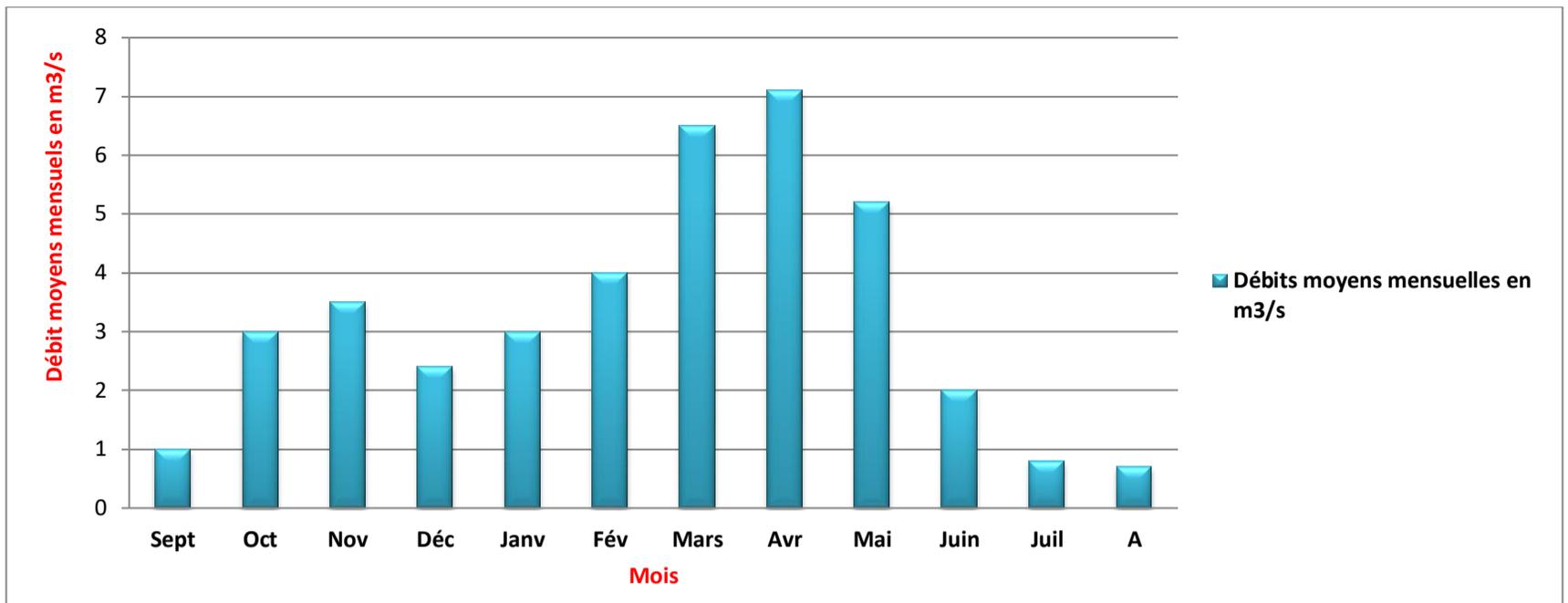


Figure 7: Débit moyens mensuels dans le bassin versant de l'Oued Zat, durant la période de (1962/63 à 2016/17)

Le diagramme ci-dessus (figure 7) représente les débits moyens mensuels enregistré par la station de Taferiat, couvrant une période de 55 ans. Le débit augmente de septembre à novembre où il atteint 3,5 m³/s, puis il diminue légèrement en décembre et janvier, ensuite il augmente rapidement pour atteindre sa valeur maximale de 7,1 m³/s en avril, enfin il diminue jusqu'à atteindre sa valeur minimale de 0,7 m³/s en juillet et Août, Le débit moyen annuel est de l'ordre de 3,574 m³/s, soit un volume annuel de 113 millions de m³.

II.2 Les ressources en eau

II.2.1 Eaux souterraines

Les ressources en eaux souterraines concernent les réservoirs dans lesquels s'accumulent ou transitent les eaux pluviales. Parmi les nappes les plus importantes : La nappe du Haouz, Bahira, et Mejjat (figure 8).

-La nappe du Haouz : Est un bassin de sédimentation d'origine tectonique, s'étendant sur une surface d'environ 6 000 km², dans lequel se sont accumulés au Néogène et au Quaternaire d'importantes formations détritiques issues du démantèlement de la chaîne atlasique au cours de son soulèvement.

-La nappe du Bahira : Est un fossé synclinal dominé par un socle paléozoïque des Jbilet de plusieurs milliers mètres d'épaisseur, associé à des plutons granitiques mis en place lors de l'orogénèse hercynienne, s'étendant sur une superficie d'environ 5 000 km².

-La nappe de Mejjat : Elle renferme deux aquifères, la nappe phréatique plio-quaternaire et la nappe éo-crétacé, s'étendant sur une surface de 1 000 km² entre le Tensift au Nord et le Haut Atlas au Sud.

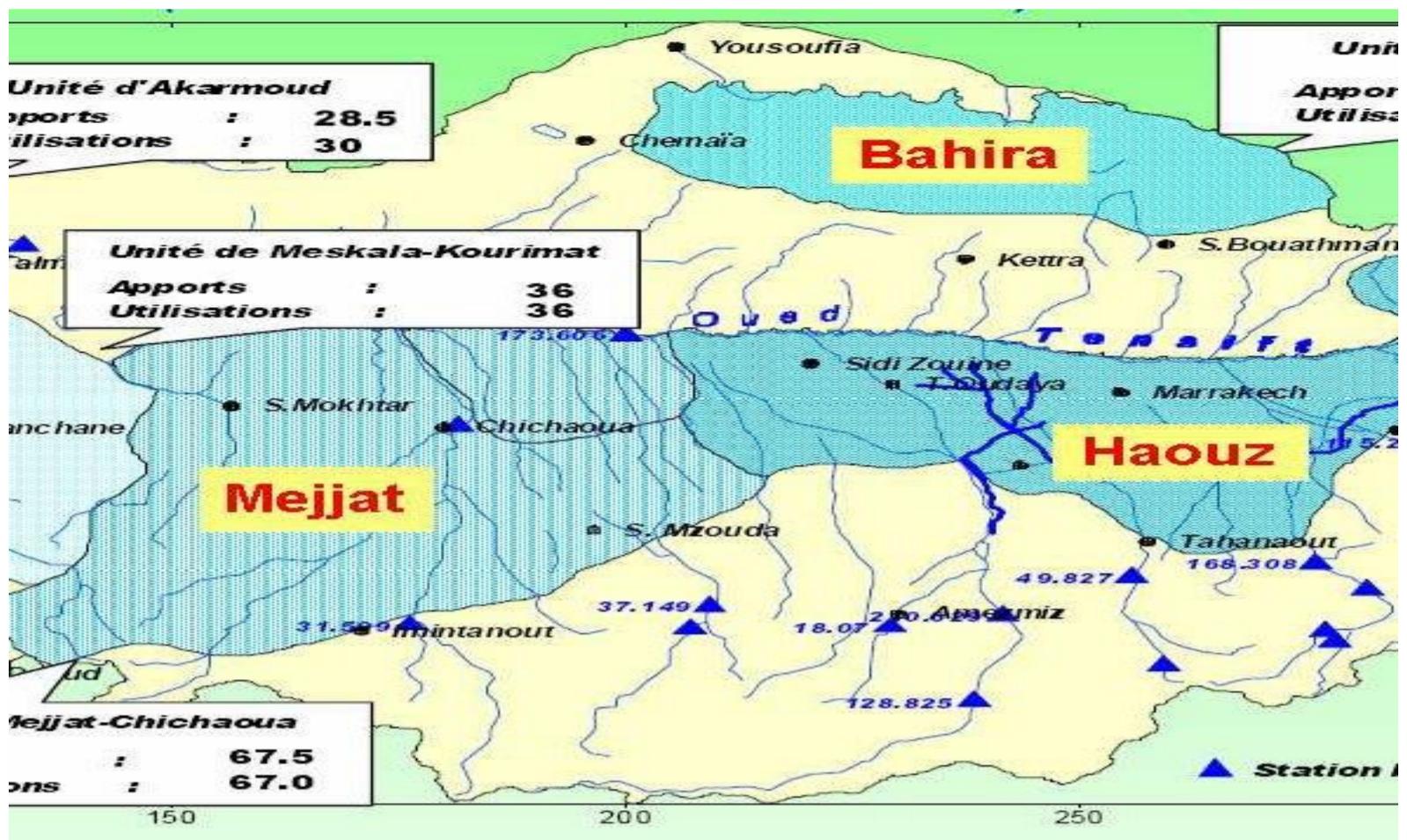


Figure 8: Les principales nappes phréatiques du bassin versant du Tensift (Limam 2005)

II.2.2 Eaux de surfaces

Les ressources en eau de surface de la région proviennent essentiellement des précipitations (pluies, neige...) des mois pluvieux de l'année. Elles constituent les eaux de ruissellement de l'Oued Zat et ses affluents. Ces eaux sont alimentées par un certain nombre de sources tout au long de la vallée du Zat dont la plus célèbre est celle de Sidi El Wafi (Arbaa Tighdouine) avec une eau minérale.

II.3 Caractéristiques géométriques et topographiques

II.3.1 Surface du bassin versant d'Oued Zat

- La surface correspond à l'aire délimitée par l'ensemble des points les plus hauts qui constituent la ligne de partage des eaux. La surface (A) du bassin versant, exprimée en km², peut être déterminée à l'aide d'un logiciel de SIG.

- La superficie du bassin versant d'oued Zat jusqu'à l'exutoire situé à la station de TAFERIAT est d'environ 577 km².

II.3.2 Périmètre

Le périmètre représente toutes les irrégularités du contour du bassin versant par une ligne joignant tous les points les plus élevés. Il n'influence pas l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du bassin versant. Le périmètre, déterminé à l'aide du logiciel Arc gis, est de l'ordre de 167 km.

II.3.3 Indice de compacité de Gravelius

L'indice de compacité renseigne sur la forme du bassin versant. Il a une grande influence sur l'écoulement global du cours d'eau. Il est établi en comparant le périmètre du bassin à celui d'un cercle qui aurait la même surface, alors il s'exprime par la formule suivante :

$$KG = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec:

- **KG** : Indice de compacité de Gravelius
- **P** : Périmètre du bassin versant en km
- **A** : Superficie du bassin versant en km²

Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique. En mesurant le périmètre du bassin versant et sa surface ; il est proche de "1 " pour un bassin versant de forme quasiment circulaire, et supérieur à "1 " lorsque le bassin est de forme allongée. Dans notre bassin versant de l'oued Zat, l'indice de compacité est de l'ordre de :

$$KG = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} = 0.28 \frac{167}{\sqrt{577}} = 1.936$$

Ceci, nous permet de dire que le bassin versant de l'oued Zat, est doté d'une forme très allongée, avec une longueur presque neuf fois plus grande que sa largeur, et qui aura un impact sur les écoulements.

II.3.4 Rectangle équivalent

Le rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius, correspond à une transformation purement géométrique du bassin versant, il prend alors une forme rectangulaire tout en gardant la même superficie, le même périmètre, le même indice de compacité et donc par conséquent, la même répartition hypsométrique. Dans ce cas, les courbes de niveau deviennent parallèles aux côtés du rectangle équivalent .Plus un rectangle équivalent est allongé, moins il sera drainé. Les dimensions du rectangle équivalent sont déterminées par les formules suivantes (Roche 1963) :

❖ **La longueur L :**

$$L = \frac{KG\sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{KG}\right)^2} \right)$$

❖ **La largeur l :**

$$l = \frac{KG\sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{KG}\right)^2} \right)$$

Avec:

- **KG** : Indice de compacité de Gravelius
- **A** : Superficie du bassin versant en km²
- **L** : Longueur du rectangle équivalent en km
- **l** : Largeur du rectangle équivalent en km

Pour le bassin versant de l'oued Zat, la longueur du rectangle équivalent est d'environ 75 km, et sa largeur est de 8 km.

II.3.5 Altitudes

L'altitude joue un rôle non négligeable sur l'intensité et la nature des précipitations, ayant par conséquent un lien indirect avec l'érosion et les dépôts solides, et donc avec l'envasement des barrages, puisque ces altitudes reflètent sur la morphologie du bassin versant.

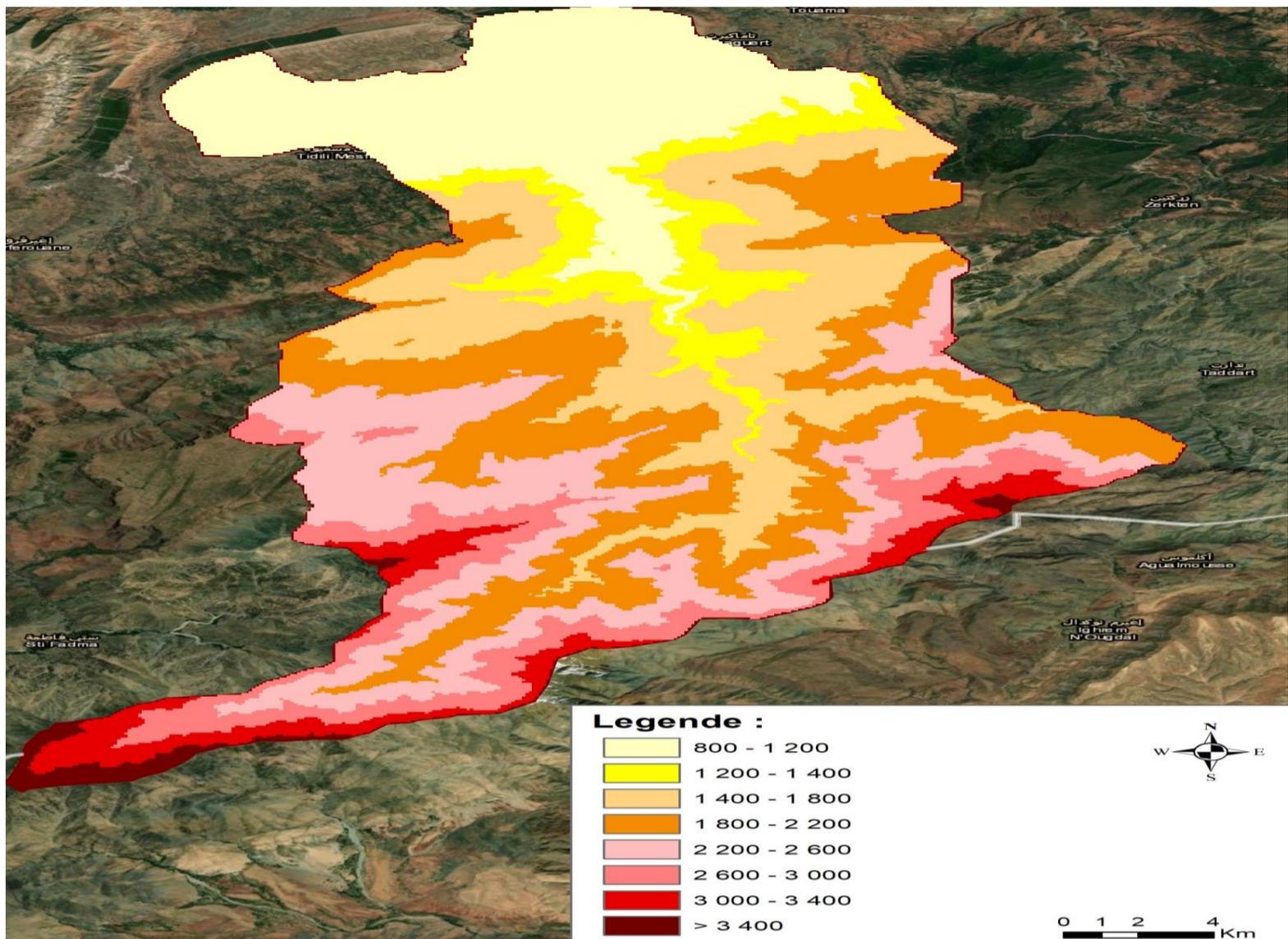


Figure 9: Carte hypsométrique du bassin versant de l'Oued Zat

A partir de l'analyse de la carte hypsométrique du bassin versant de l'oued Zat (figure 9), on peut constater que :

- La zone amont est caractérisée par des tranches d'altitude supérieure à 2000m;
- La zone aval représente des altitudes qui varient entre 800m et 1400m ;
- Les tranches d'altitude inférieures à 2000m sont les plus représentées dans ce bassin.

Effectivement, dans la zone amont où les altitudes sont importantes et la géologie est caractérisée, par des faciès peu perméables favorisant, en cas de pluies importantes, des écoulements superficiels intenses provoquant ainsi une érosion hydrique accentuée, et peuvent être à l'origine de crues violentes ; et vice versa pour la zone aval.

II.3.6 Pentés

La pente des cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau arrive à l'exutoire du bassin, donc le temps de concentration. Elle influence sur l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du bassin versant. En effet, plus la pente est forte, plus la durée de concentration des eaux de ruissellement dans les affluents et dans le cours principal est faible. la carte suivante présente les pentes du l'Oued Zat (figure 10) :

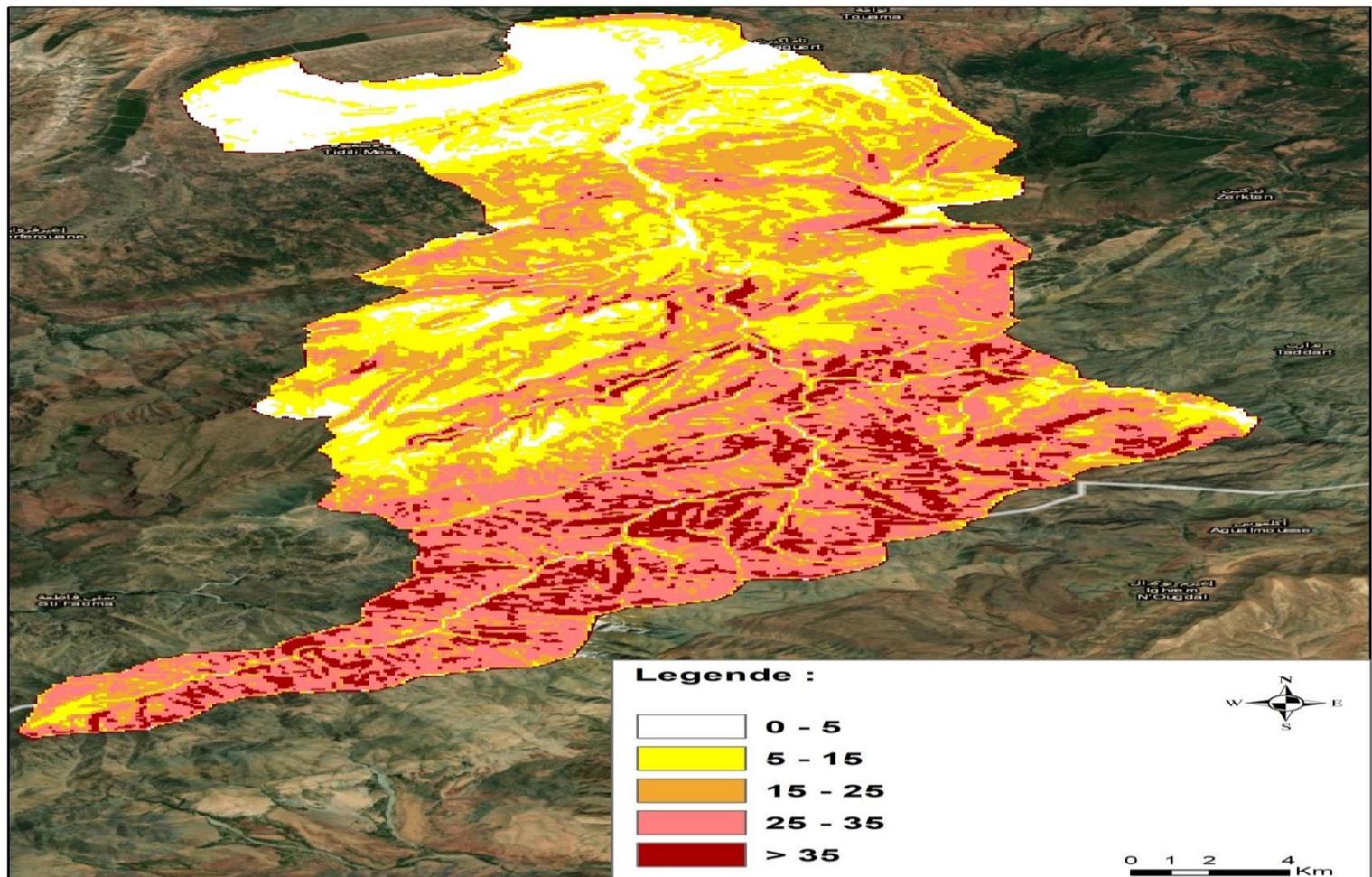


Figure 10: Carte des pentes du bassin versant de l'Oued Zat

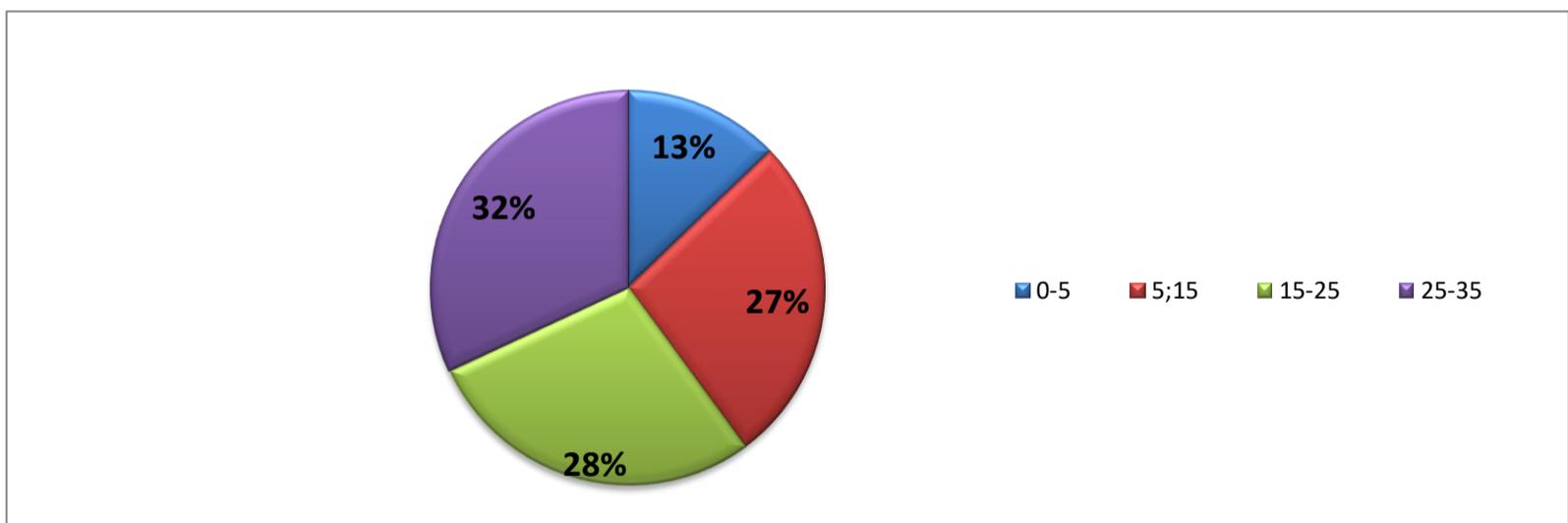


Figure 11: Répartition des surfaces de chaque tranche de pente du bassin versant Zat

II.3.7 Le temps de concentration

Il représente le temps maximal nécessaire au ruissellement, provenance du point le plus lointain du bassin pour atteindre l'exutoire. Pour ce paramètre, on tient compte des caractéristiques géométriques et morphologiques du bassin. On le calcule à partir de la relation de Giandotti :

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 * L}{0.8 \sqrt{H_{moy} - H_{min}}} = 6h 25min$$

Tel que : $A = 577 Km^2$, $L = 75 Km$, $H_{moy} = 1960 m$, $H_{min} = 446 m$

Les caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de l'oued Zat, sont résumés dans le tableau 1 suivant :

Tableau 1: Les caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de l'Oued Zat

Surface (Km ²)	577
Périmètre (km)	167
Talweg principal (km)	55
Indice de compacité (km-1)	1.94
Altitudes minimums (m)	446
Altitudes maximums (m)	3899.13
Altitudes moyennes (m)	1960
Pentes moyennes (%)	15.5
Longueurs du rectangle équivalent (km)	75
Largeurs du rectangle équivalent (km)	8
Temps de concentration	6h 25min

II.3.8 Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels (rivières) ou artificiels (réseau) permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. L'oued Zat est un affluent atlasique rive gauche de l'oued Tensift, il forme avec l'oued d'Ourika les deux bras principaux de l'oued Hadjar. Il fait partie de la zone la plus active, la plus pentue et la plus arrosée du bassin de Tensift (figure 12).

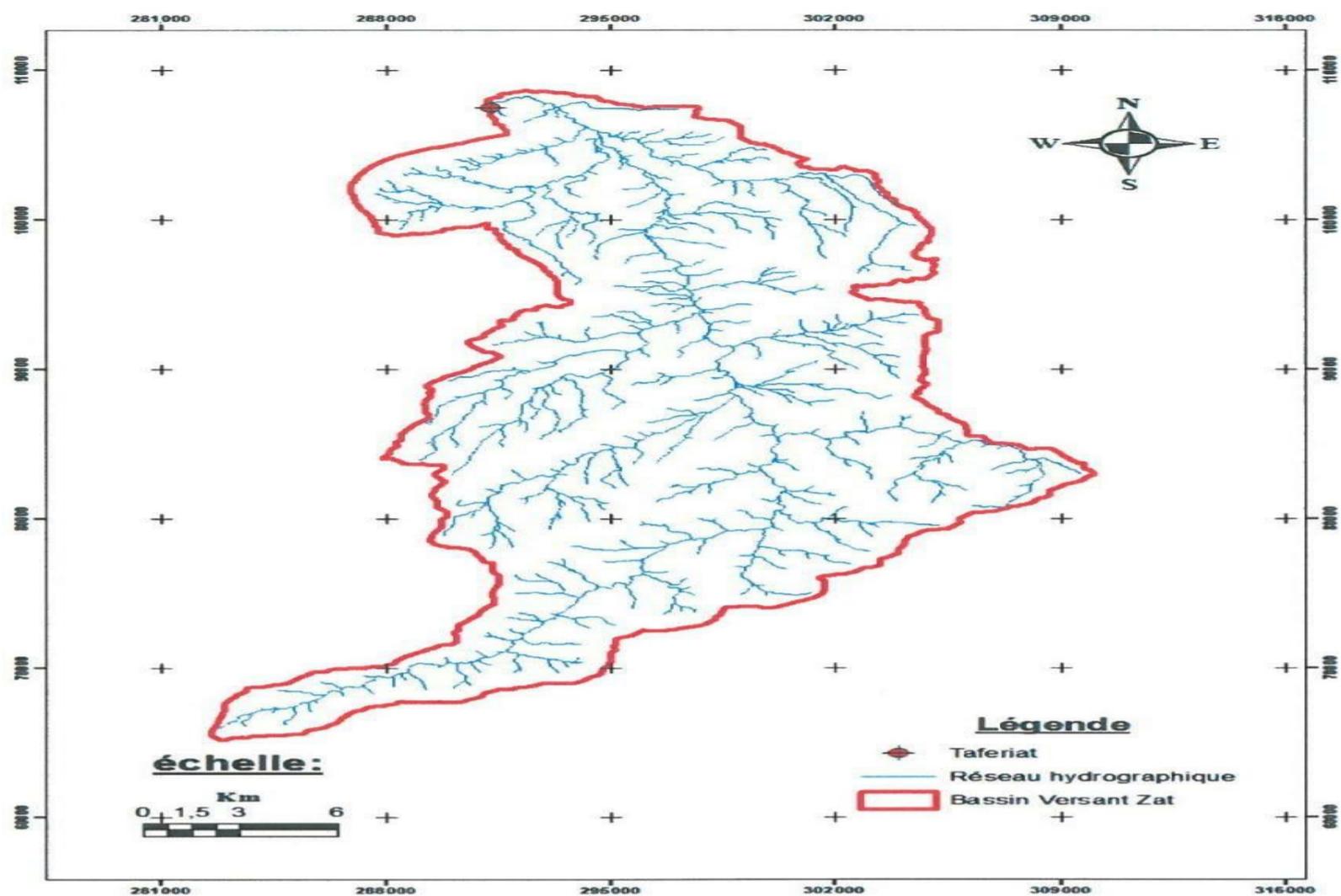


Figure 12: Réseau hydrographique du bassin versant Zat (AIT RAMI, 2020)

II.4 Cadre sociodémographique

Dans le bassin versant de l'oued Zat, quatre défis majeurs se profilent : la croissance démographique, qui engendre un accroissement de la demande globale en eau, l'étendue de la pauvreté qui subsiste, les perturbations climatiques, et les inégalités dans le partage des besoins en eau. Alors face à cette situation, la création d'un réservoir au moyen du barrage ait Ziat, a apporté une solution à ces problèmes. Bien que la croissance de ce nouveau barrage, causera la mobilisation d'un nombre considérable d'individus, elle apportera plusieurs bénéfices, tels que : l'irrigation, l'alimentation en eau potable, la protection contre les crues, l'énergie hydraulique, ainsi que des nouvelles utilisations, telles que l'aquaculture et les loisirs.

II.4.1 Découpage administratif :

Le sous-bassin Zat relève dans sa partie amont, de la province de l'Haouz. Il englobe la ville d'Ait Ourir, ainsi que 7 communes rurales réparties en fonction de leurs contextes géomorphologiques comme suit :

Tableau 2: Répartition de la population suivant les zones géomorphologiques du sous bassin de Zat (Diagnostic du sous bassin de Zat, 2016)

Zone géomorphologique	Nombre de communes	Liste des communes	Population totale
Montagne	1	Tighdouine	22 971
Piedmont	2	Tamaguert, Tidili, Mesfioua	32 246
Plaine	5	Oulad Hassoune, Jaidate, Ait Sidi Daoud, Ait Ourir, Ait Faska	120 099

II.4.2 Caractéristiques démographiques

✓ *L'évolution de la population*

La population du sous- bassin de Zat a été évaluée à 175 316 habitants soit 6 % de la population du bassin de Haouz Mejjate estimée à 2 851 593 habitants. Les taux d'accroissement moyens annuels de la population du sous-bassin de Zat s'établissent à 1.2 % pour la période 1994-2004 et 2.4 % pour la période 2004-2014. (RGPH, 2014).

La population du sous-bassin de Zat est répartie entre 22 % pour la population urbaine et 78 % pour la population rurale.

Rapportée à la population du bassin de Haouz-Mejjate, le poids de la population du sous-bassin est comme suit :

- Poids de population totale : 6 %
- Poids de population urbaine : 3 %
- Poids de la population rurale : 8 %

Cette répartition rural/urbain de la population confirme le caractère rural du sous-bassin de Zat et met la question de développement des zones rurales parmi les principales priorités au niveau du sous bassin.

✓ *Les établissements humains*

Selon le diagnostic du sous bassin Zat, les 7 communes rurales du sous bassin de Zat comptent 1991 douars, répartis comme suit :

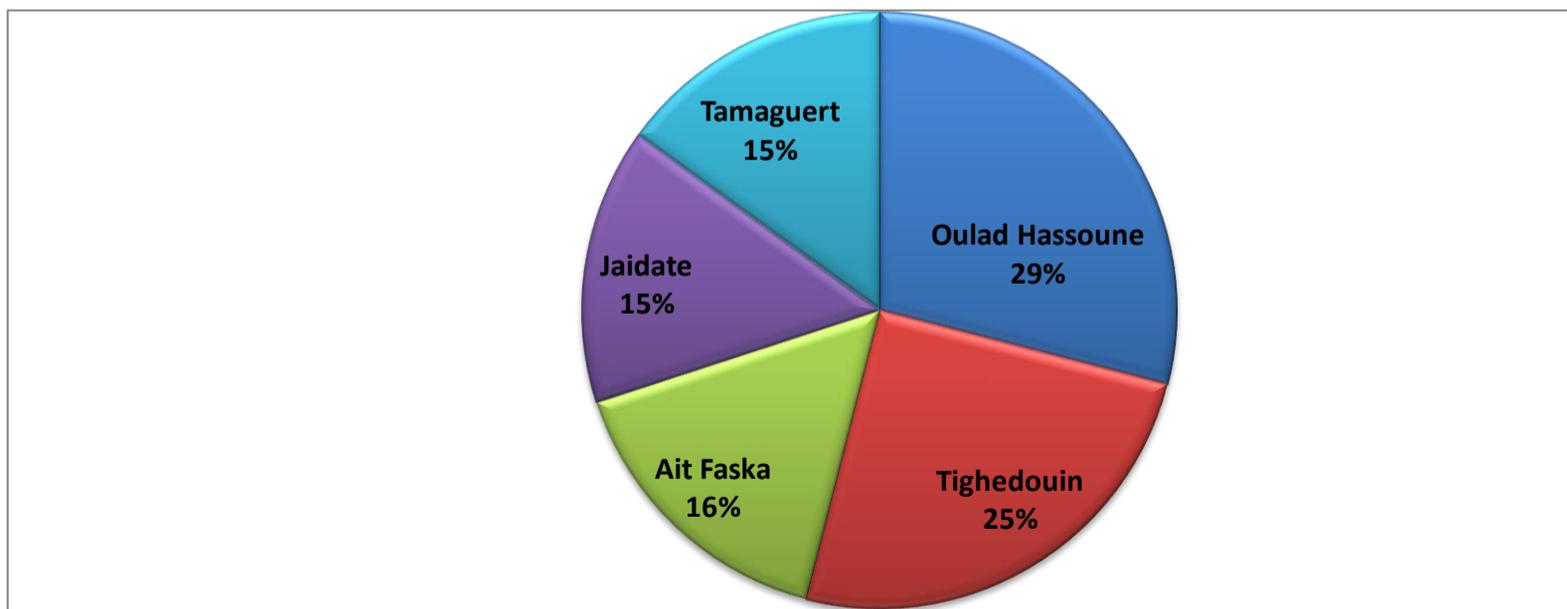


Figure 13: Nombre de douars par commune rurale, au niveau du sous bassin de Zat (Diagnostic du sous bassin, 2016)

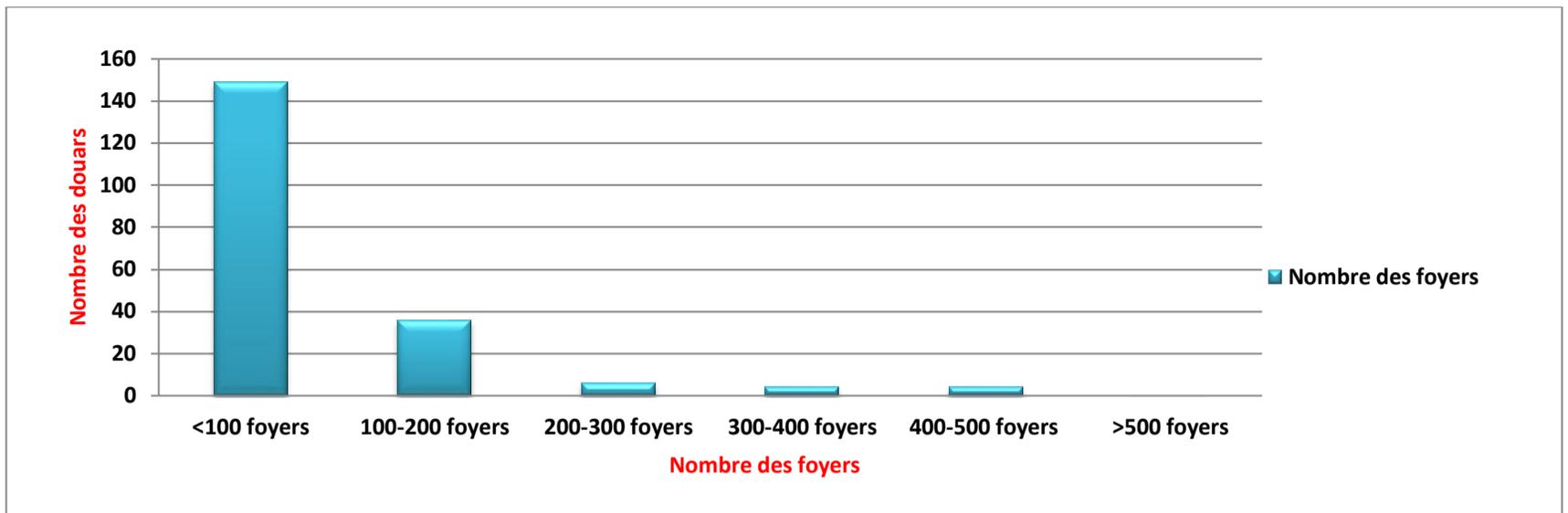


Figure 14: Répartition des douars suivant le nombre des foyers, au niveau du bassin versant Zat
(Diagnostic du sous bassin Zat, 2016)

II.5 Cadre socioéconomiques

II.5.1 Les secteurs sociaux

Les secteurs qui conditionnent le développement humain dans le sous-bassin Zat, sont généralement les infrastructures de santé, d'éducation, d'électrification rurale, les routes, les mosquées, l'eau et à l'assainissement. Le schéma suivant (figure 15) présente les statistiques relatives aux infrastructures de santé, d'éducation, des routes et des mosquées, au niveau du sous-bassin de Zat.

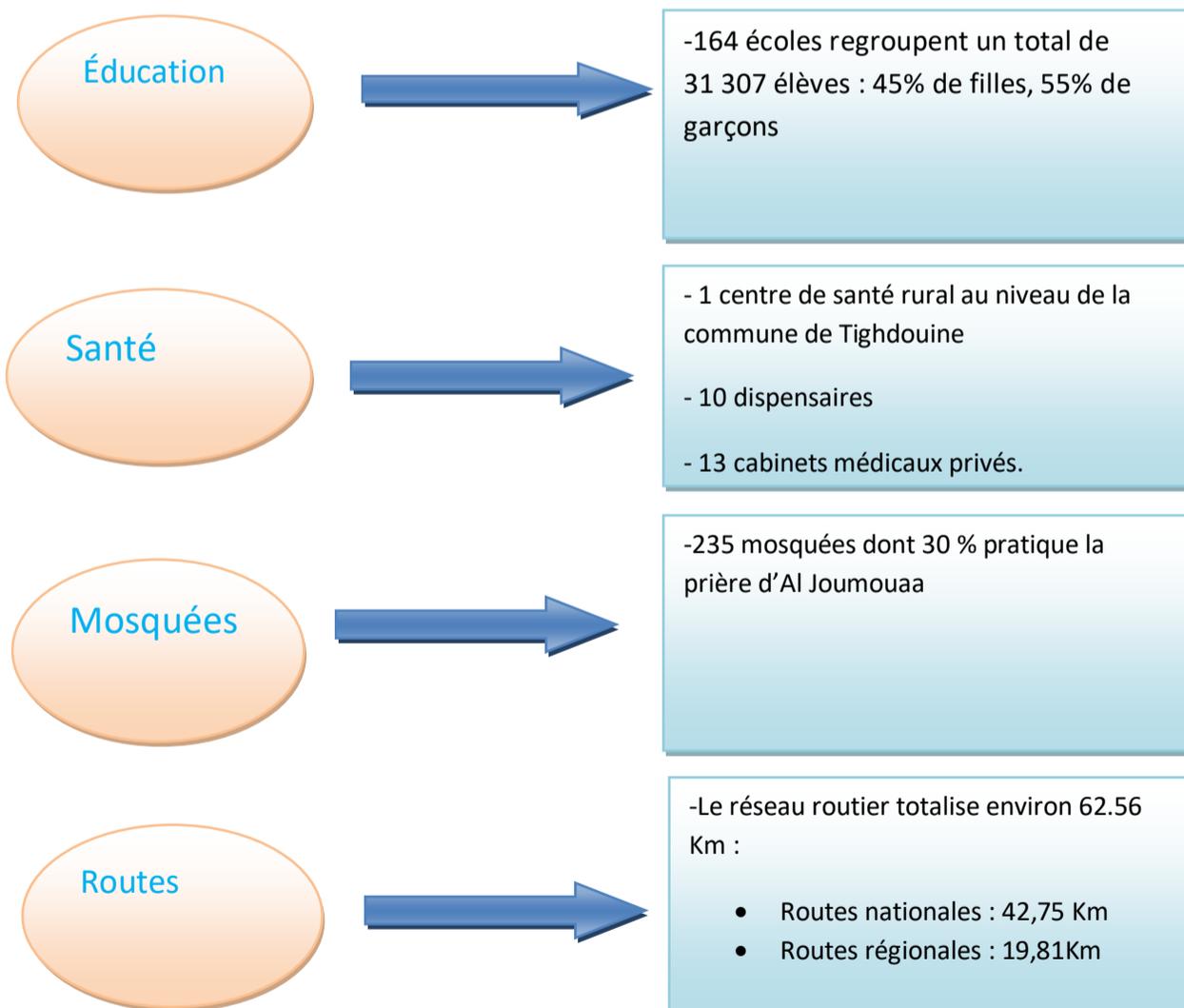


Figure 15: Statistiques relatives aux infrastructures de santé, d'éducation, des routes et des mosquées, au niveau du bassin versant Zat (Diagnostic du sous bassin de Zat, 2016)

II.5.2 Développement humain

Le tableau suivant présente l'indicateur de pauvreté des communes du sous-bassin Zat pour l'année 2004, tel qu'il ressort des données du Diagnostic du sous-bassin de Zat / avril 2016.

La moyenne de cet indicateur pour le sous-bassin Zat en 2004, est de 20.8 %, ainsi ce taux est supérieur au taux moyen de pauvreté constaté au niveau de la région Marrakech Tensift Al Haouz, qui est de 19.2%. Ce sont des communes de montagne, suivies de celle de piedmont qui sont les plus en retard par rapport aux indicateurs de développement humain (tableau 3).

Tableau 3: Evolution du taux de pauvreté dans le sous bassin Zat (Diagnostic du sous bassin de Zat, 2016)

Commune	Zone	Taux de pauvreté 2004	
		Par commune (%)	Par zone (%)
Ait Faska	Plaine	15,5%	18,7%
Ait Ourir		12,1%	
Ait Sidi Daoud		11,0%	
Jaidate		33,9%	
Oulad Hassoune		20,9%	
Tamaguert	Piedmont	25,8%	23,1%
Tidili Mesfioua		20,4%	
Tighdouine	Montagne	26,5%	26,5%
Moyenne sous-bassin de Zat		20,8%	
Moyenne région Marrakech Tensift Al Haouz		19,2%	

L'écart du taux de pauvreté entre les communes, est dû principalement au retard en matière d'infrastructures de base et d'accès aux services qui s'y rapportent, les niveaux d'accès à ces services étant les principaux éléments de calcul des indicateurs de pauvreté.

Signalons cependant que depuis 2004, et à l'exception de l'assainissement rural, les services et infrastructures ont connu de grandes avancées, on doit donc s'attendre actuellement à une réduction significative du taux de pauvreté.

II.6 Secteurs productifs

II.6.1 Agriculture

L'agriculture est la composante principale de l'activité économique du bassin Zat ; D'après le (RGA) de 1996, le sous-bassin Zat comprend 12 935 exploitations agricoles. L'activité agricole, en plus de l'emploi saisonnier, procure de l'emploi permanent à 22 278 Personnes, dont 906 en tant que main d'œuvre salariale, et 21 372 en tant que main d'œuvre familiale.

Le sous bassin de Zat comprend également par le développement des terrains irrigués d'une superficie de l'ordre de 26 000 ha, répartis en zone de plaine et de montagne (hautes vallées), irrigués à partir des eaux de l'oued Zat et de ses confluent. Le bassin Zat se caractérise également par le développement du pompage dans la nappe du Haouz, à la suite du déficit hydrique. Les rendements sont loin d'atteindre leurs potentiels pour l'ensemble des cultures, en raison des précipitations faibles et aléatoires, d'une faible utilisation des facteurs de production et d'une conduite technique inappropriée, ce qui rend la construction d'un barrage dans ce bassin, une étape indispensable.

II.6.2 Foresterie

Selon le HCEFLCD, la forêt du sous-bassin Zat est dominé principalement par le chêne vert, le genévrier et le thuya, en effet les produits de la forêt exploités par les populations locales, sont le bois de feu et le fourrage.

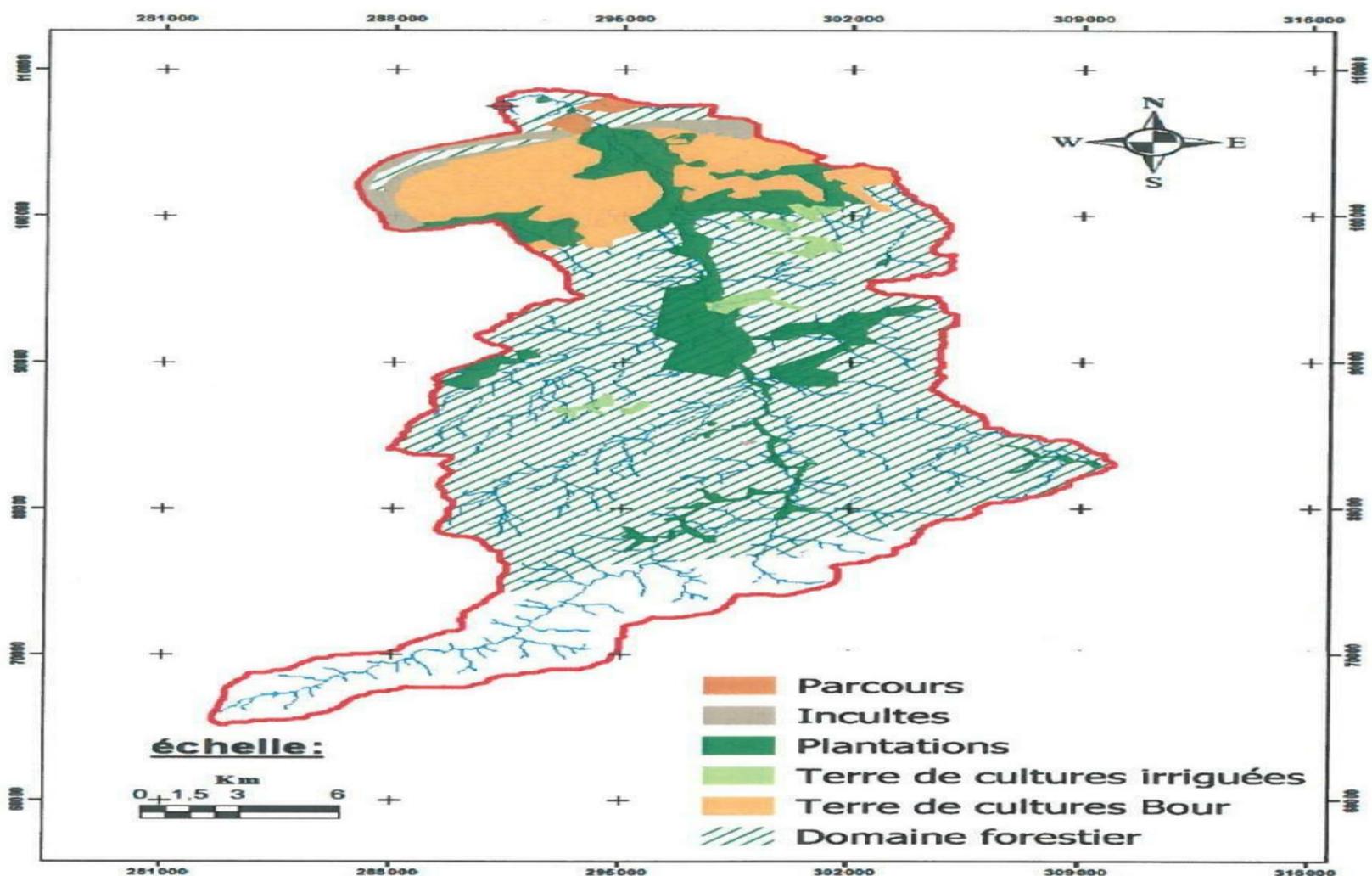


Figure 16: Carte de végétation du bassin versant de l'Oued Zat (AIT RAMI, 2020)

L'analyse de la répartition des strates de végétation (figure 16), dans le bassin de l'oued Zat, nous a permis de constater que :

- ✓ Dans la partie amont : Où dominent les pentes fortes, les forêts sont les plus représentées, elles jouent un rôle écologique très important notamment dans la conservation des sols, la lutte contre l'érosion et les populations contre les crues.
- ✓ La partie centrale: est constituée en majorité par un domaine forestier, avec quelques plantations et terres de culture irriguées, grâce à la qualité du sol.
- ✓ La partie aval : une faible contribution à l'érosion due à des faibles pentes, cette partie est privilégiée à l'installation des plantations, terres des cultures Bour, des parcours et quelques parties non cultivées.

En raison de la pression anthropique, la forêt connaît des contraintes liées essentiellement à l'extension des vides labourables par l'empiétement sur le domaine forestier, le défrichage, le pâturage et la faible productivité de la forêt; l'ensemble de ces facteurs font que le bassin Zat est soumis à une érosion importante.

D'après le HCEFLCD, le bassin versant de l'oued Zat nécessite une étude d'aménagement antiérosive, mais des actions urgentes sont mises en œuvre par le HCEFLCD et portent, entre autres, sur les travaux de correction des ravins et le reboisement ayant pour objectifs :

- La réduction des sédiments et l'envasement du futur barrage Ait Ziat;
- La gestion durable des ressources naturelles;
- Et le développement économique et social des zones en amont.

Chapitre 2: L'aménagement du barrage Ait Ziat

I. Généralité sur les barrages

I.1 Histoire des barrages au Maroc

La réalisation des premiers grands barrages a pour objectif de fournir de l'eau potable, de l'eau pour l'irrigation et de produire de l'électricité.

À partir des années 1950, les gouvernements successifs mettent en place une politique de construction et d'édification de barrage. Mais la véritable révolution est menée pendant le règne du roi Hassan II (1961-1999). Notamment avec l'objectif, annoncé en 1974 mais déterminé dès la fin des années 1960, d'atteindre le million d'hectares irrigués d'ici la fin du siècle. Cette politique est visible dès [le plan quinquennal](#) 1968-1973, dans lequel les investissements publics liés à l'irrigation représentent 41% (2,088milliards dirhams) de l'enveloppe budgétaire prévisionnelle; jusqu'à 400 millions de dirhams par an sont consacrés à la construction de barrages.

L'eau est essentiellement destinée à l'agriculture : dans les années 2010, la superficie agricole irriguée avoisine 550 000 hectares; les barrages alimentent également en eau villes et usines.

I.2 Définition

Un barrage est un ouvrage d'art construit en travers d'un cours d'eau, destiné à réguler l'écoulement naturel de l'eau pour permettre l'écoulement recherché, c'est à dire destiné à réguler le débit et/ou à stocker de l'eau, notamment pour le contrôle des crues, les barrages sont destinés aussi à l'irrigation, l'industrie, l'hydroélectricité, la pisciculture, une réserve d'eau potable. Dans la plupart des cas la hauteur du barrage dépasse le niveau d'eau atteint par les cours d'eau en période de forte crue.

I.3 Types des barrages

Selon la nature du matériau de construction utilisé, on classe les barrages selon deux grandes catégories :

- Les barrages rigides (En béton)
- Les barrages souples (En remblai)

I.3.1 Les barrages en béton

Les barrages rigides sont subdivisés en trois groupes:

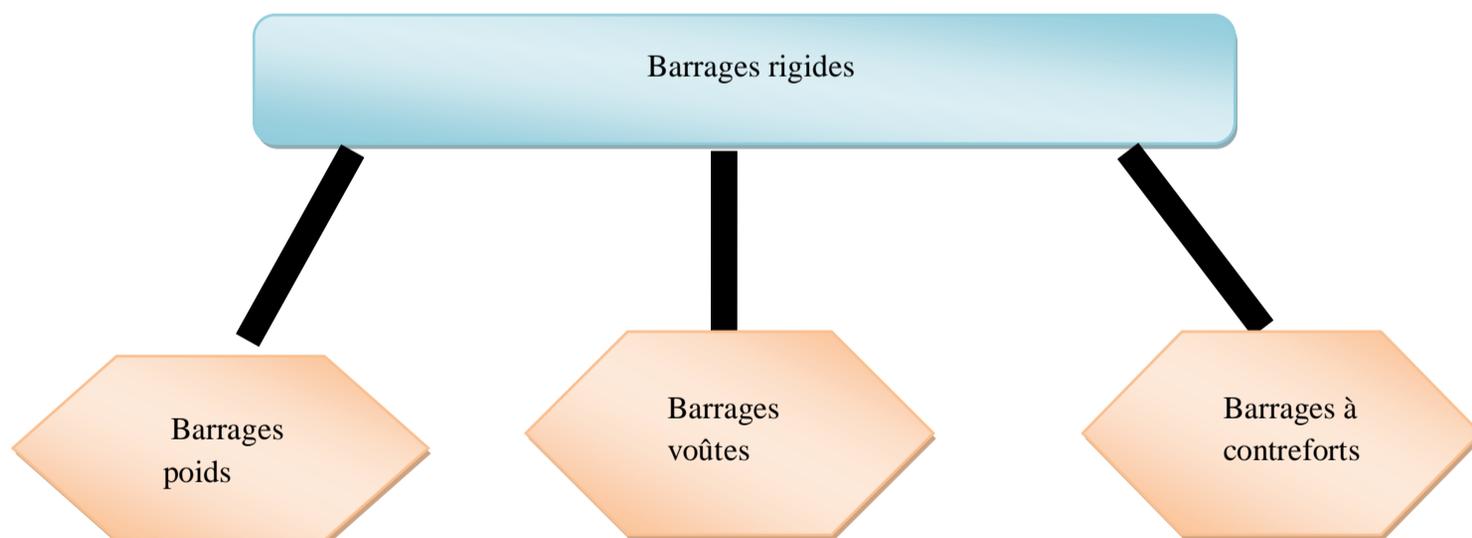


Figure 17: Les différents types de barrages en béton

✓ *Barrages poids*

Ce sont des structures très lourdes et massives, résistent à la poussée de l'eau par leur poids, leur profil général est triangulaire avec:

-Un parement amont vertical ou sub-vertical;

-Un parement aval incliné de telle sorte qu'à chaque niveau l'épaisseur soit environ 80% hauteur.

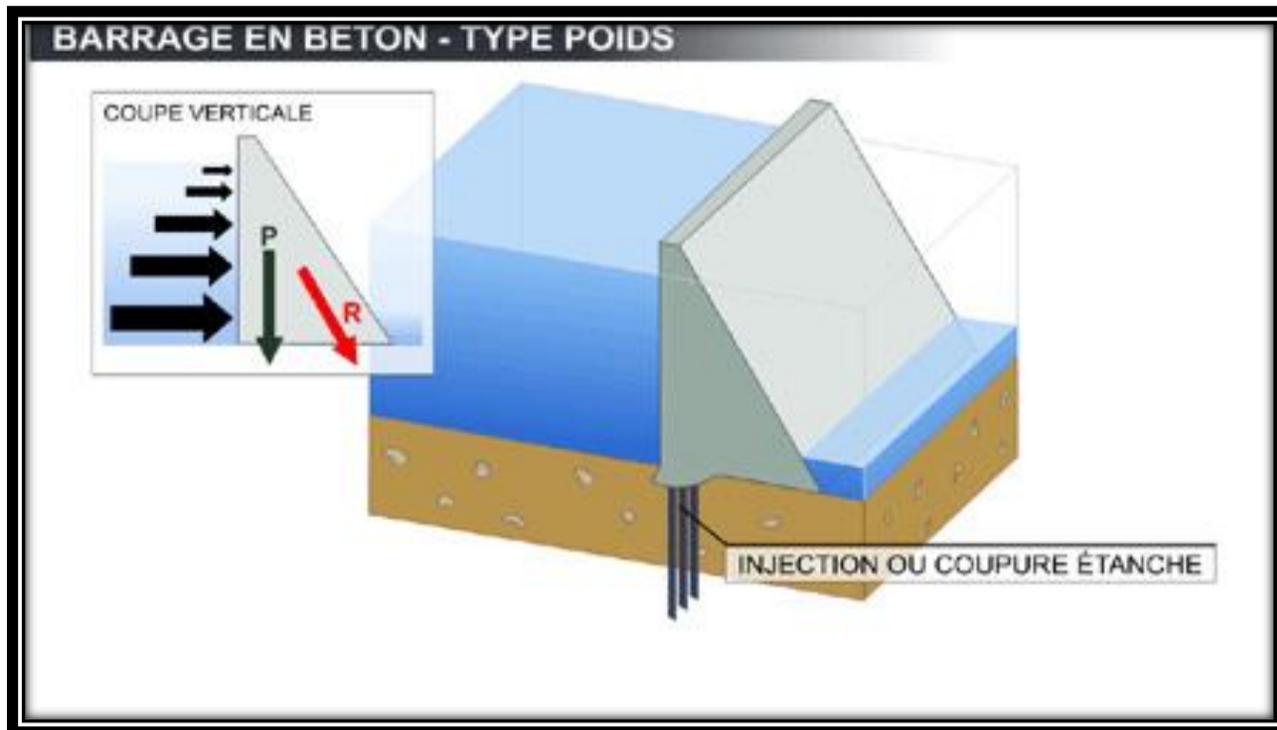


Figure 18: Barrage poids en béton (ANTON ET HENRI, 2011)



Figure 19: Exemple de barrage poids (barrage de lalla Takrkouste, 1935)

✓ Barrages-voûtes

Sont constitués par une voûte, parfois très mince, à simple ou à double courbure, résistent par leur forme à la poussée de l'eau, ils transmettent au rocher d'appui des efforts plus élevées que les autres types de barrages.

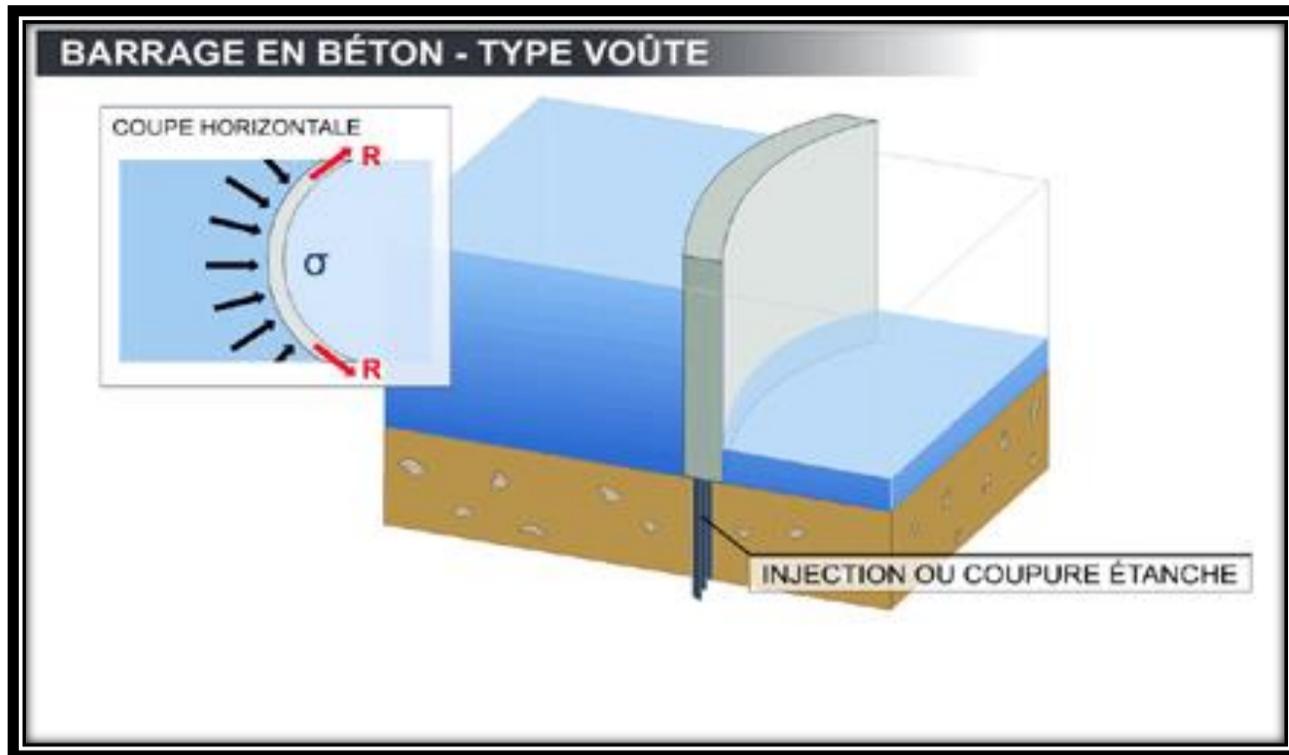


Figure 20: Barrage voûte en béton (ANTON et HENRI, 2011)



Figure 21: Exemple de barrage voûte (barrage bin El Ouidane, 1953)

✓ *Barrage à contrefort et voûtes multiples*

Les barrages à contreforts sont des barrages en béton constitués par :

- Des murs, généralement de forme triangulaire, construits dans la vallée parallèlement à l'axe de la rivière. Ces murs sont les contreforts.
- Des bouchures entre les contreforts pour maintenir l'eau de la retenue. Ces bouchures s'appuient sur les contreforts auxquelles elles transmettent la poussée de l'eau. Les bouchures sont très souvent inclinées vers l'aval pour que la poussée de l'eau soit orientée vers le bas de façon à améliorer la stabilité des contreforts.

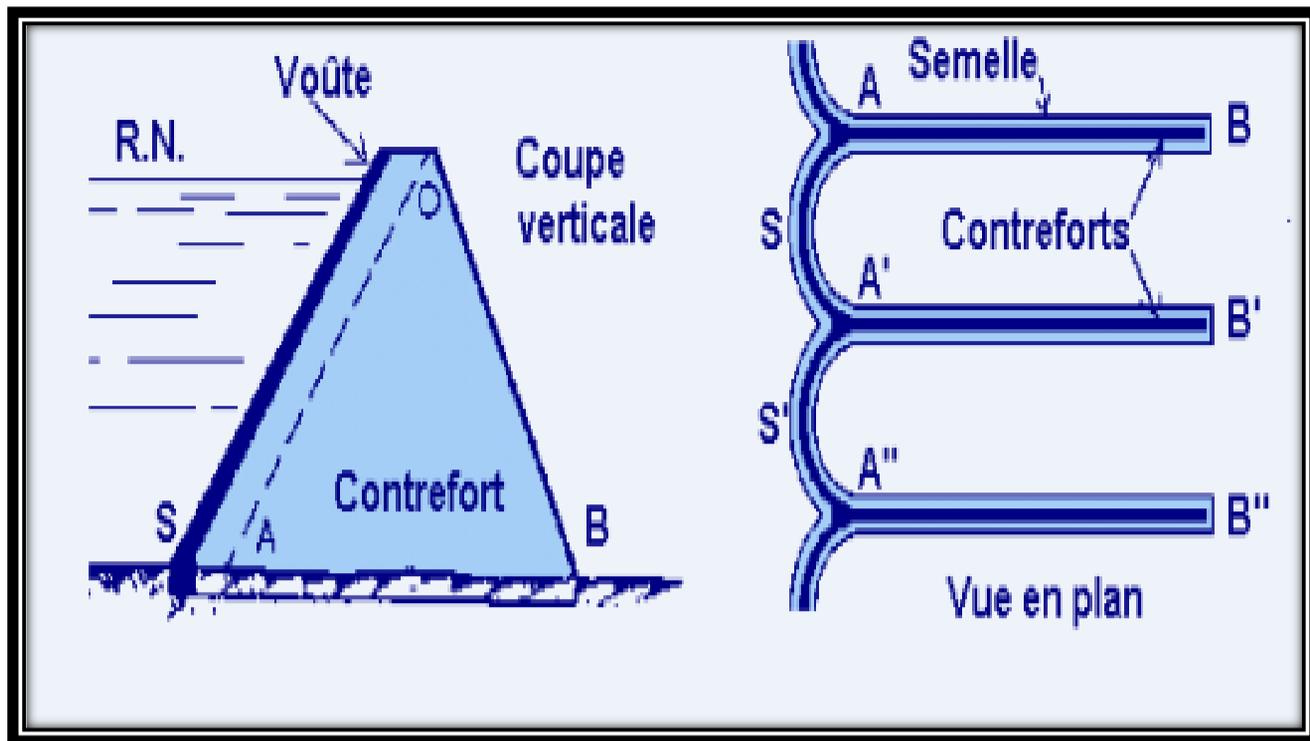


Figure 22: Coupe transversale et vue en plan de barrage à contreforts (ANTON et HENRI, 2011)



Figure 23: Exemple de barrage à contreforts (Al Massira)

I.3.2 Les barrages souples

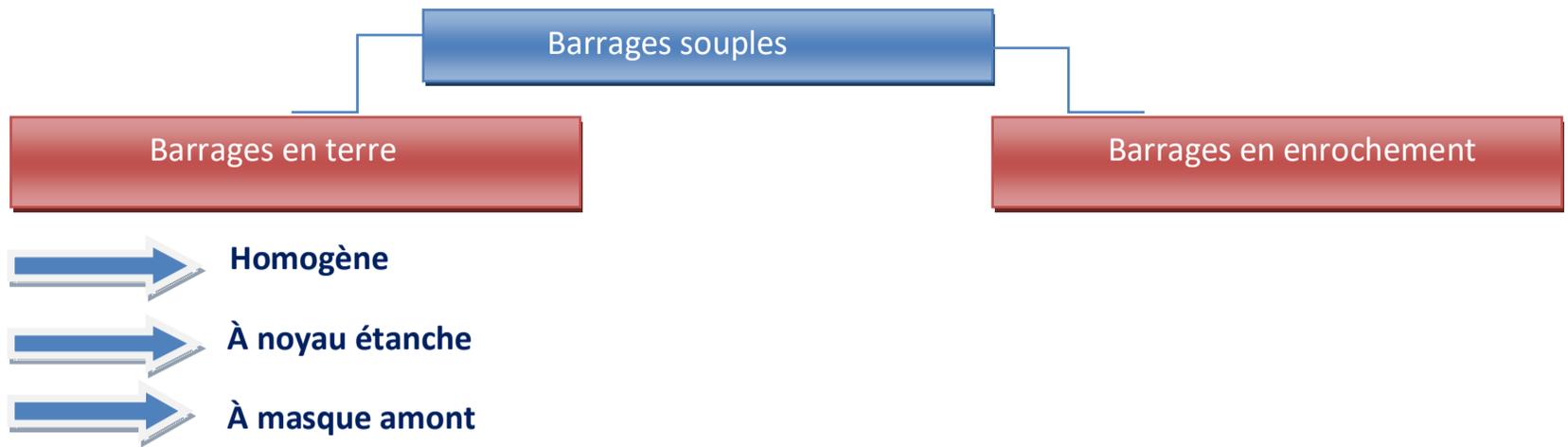


Figure 24: Type de barrage souple

✓ Barrages en terre

Il existe trois types de barrages en terre :

a) Barrage homogène

Un barrage en terre est dit homogène lorsqu'il est constitué d'un même matériau à dominante argileuse, relativement imperméable. Il est muni d'un dispositif de drain dans sa partie aval et d'une protection mécanique contre l'effet du battillage dans sa partie amont

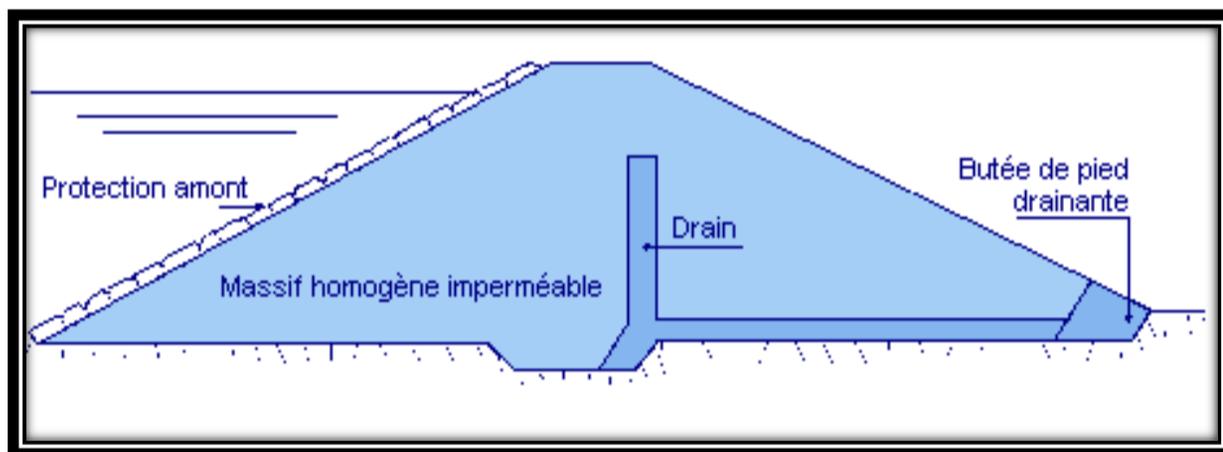


Figure 25: Profil du barrage homogène (AZZOUZI et MEGREZ 2019)

b) Barrage à noyau étanche

Dans un barrage à noyau, la quantité des matériaux imperméables disponibles sur site est insuffisante pour réaliser tout le corps du barrage. L'imperméabilité est assurée par un noyau imperméable constitué par l'argile ou tout autre matériau qui assure une perméabilité faible, La résistance est assurée par les recharges placées sur les flancs de l'ouvrage.

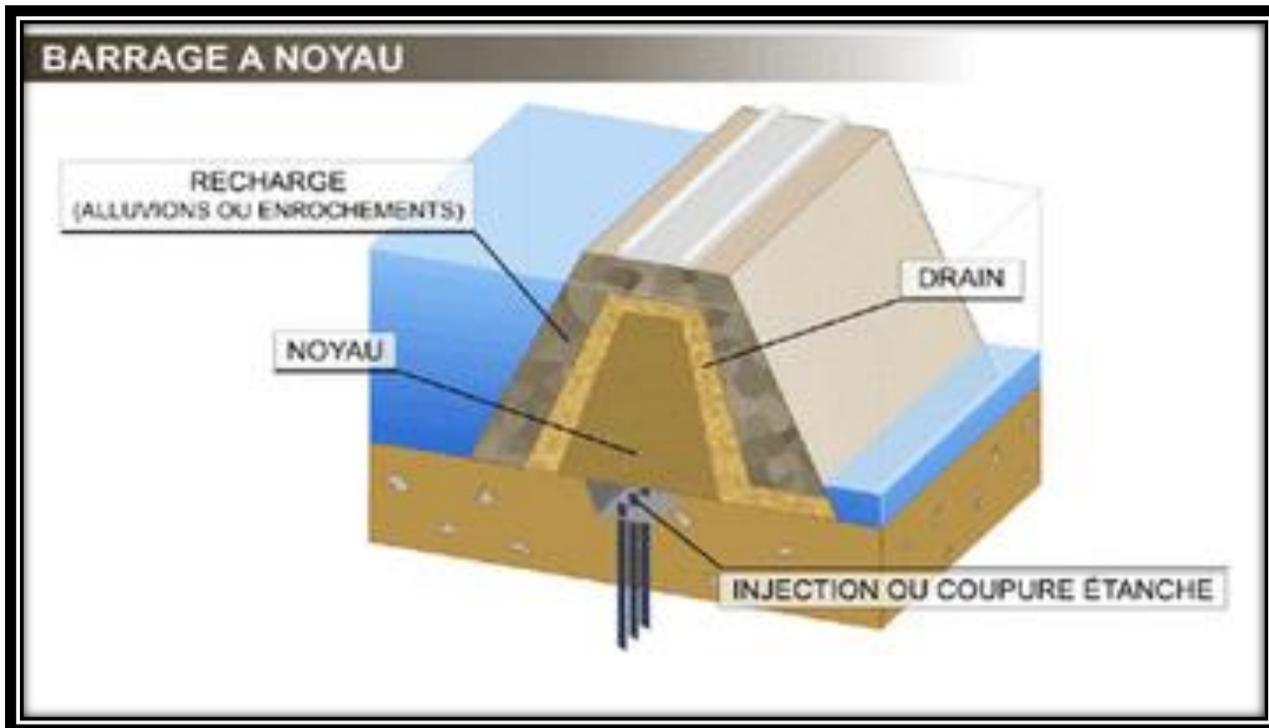


Figure 26: Profil du barrage à noyau (AZZOUZI et MEGREZ, 2019)



Figure 27: Exemple de barrage en remblai à noyau (Al Makhazine)

c) Barrage à masque amont

Le masque amont est une paroi étanche posée sur le talus amont du barrage, il peut être de nature très différente : béton armé, matériel bitumineux, Le corps du barrage assurant la stabilité peut être en matériau quelconque pour autant qu'il soit peu déformable

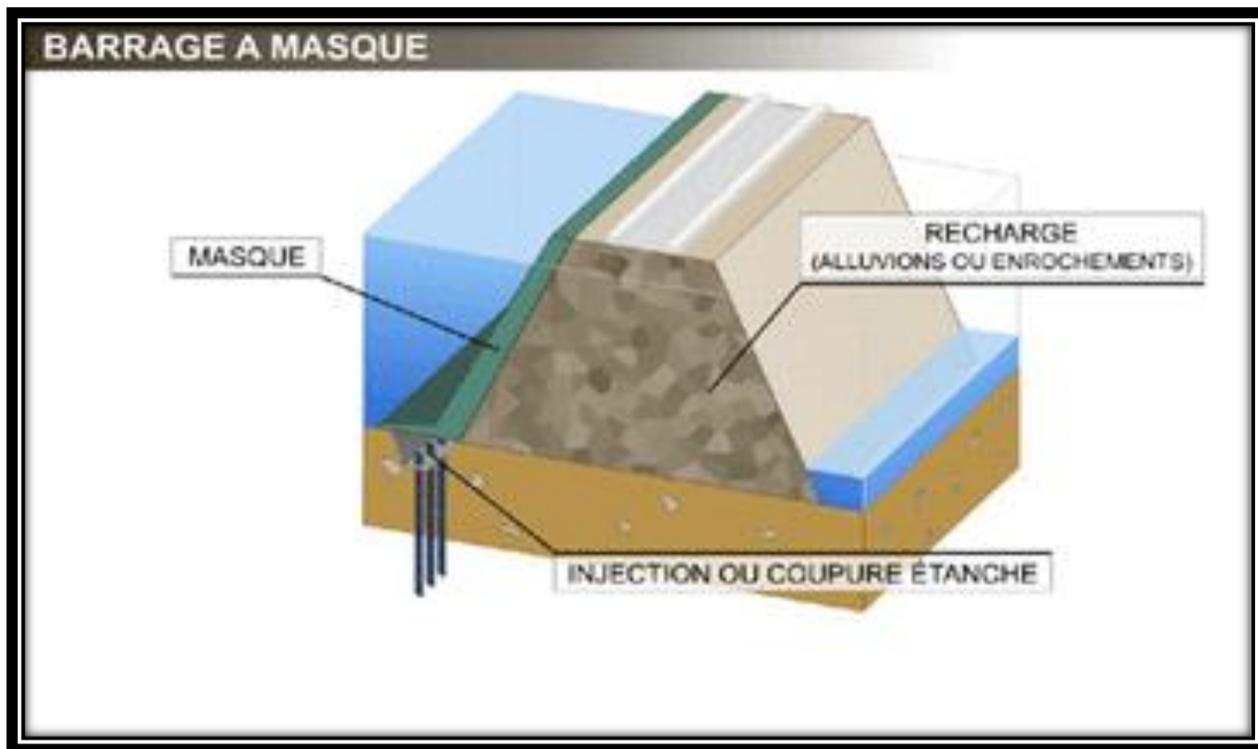


Figure 28: Profil du barrage à masque amont (AZZOUZI et MEGREZ, 2019)

✓ **Barrages en enrochements**

Un barrage en enrochement n'est pas autre chose qu'un tas de cailloux à grande échelle, qui résiste par sa masse à la poussée de l'eau. Mais n'étant pas étanche par lui-même, il faut lui adjoindre un organe d'étanchéité qui constitue la partie la plus délicate, aussi bien au stade du projet qu'à celui de la réalisation.



Figure 29: Exemple du barrage en enrochement

II. Avantages de divers type de barrage

II.1 Barrages souples

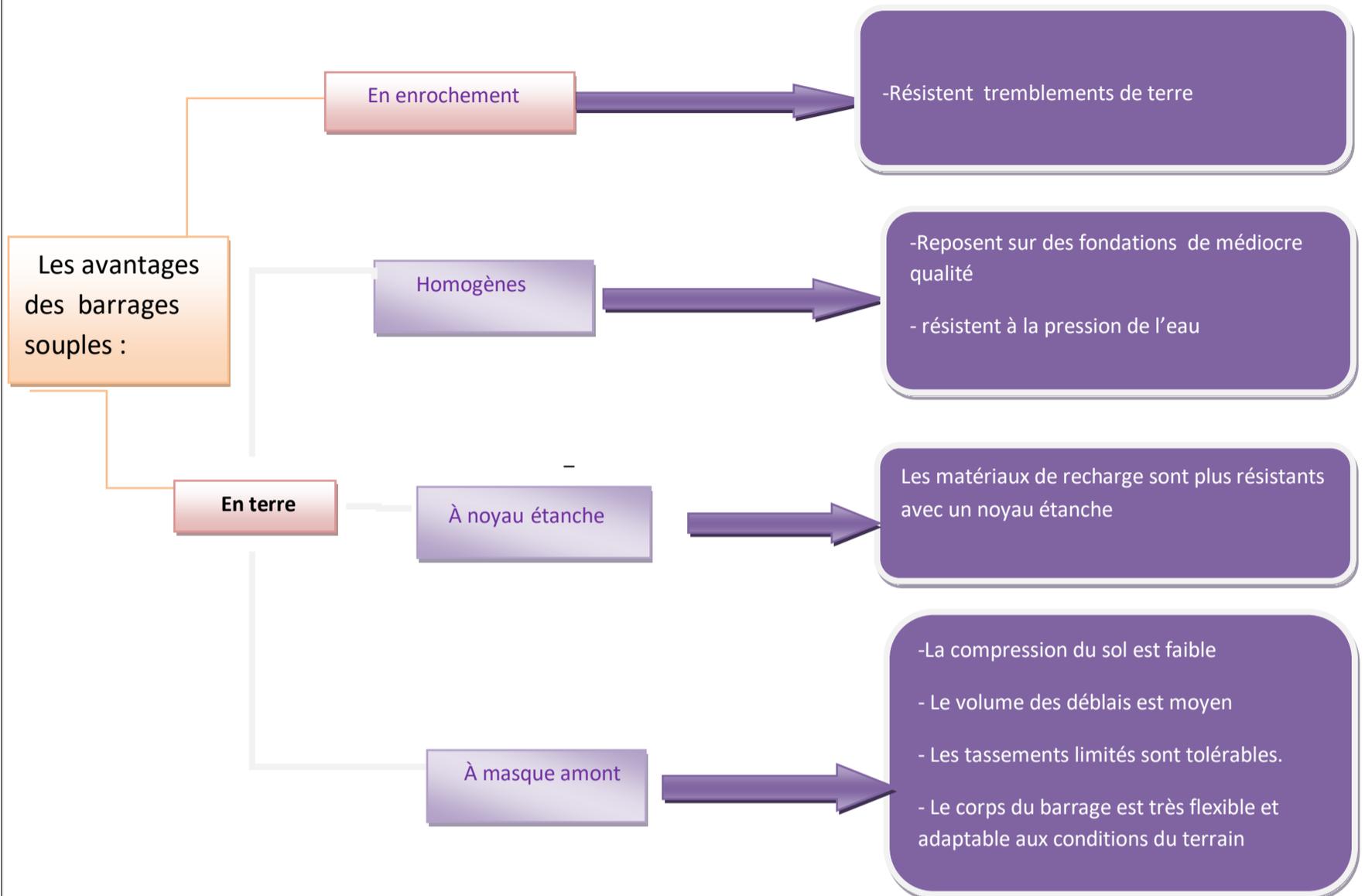


Figure 30: Les avantages de chaque type des barrages souples (AZZOUZI et MEGRZ, 2019)

II.2 Barrages rigides

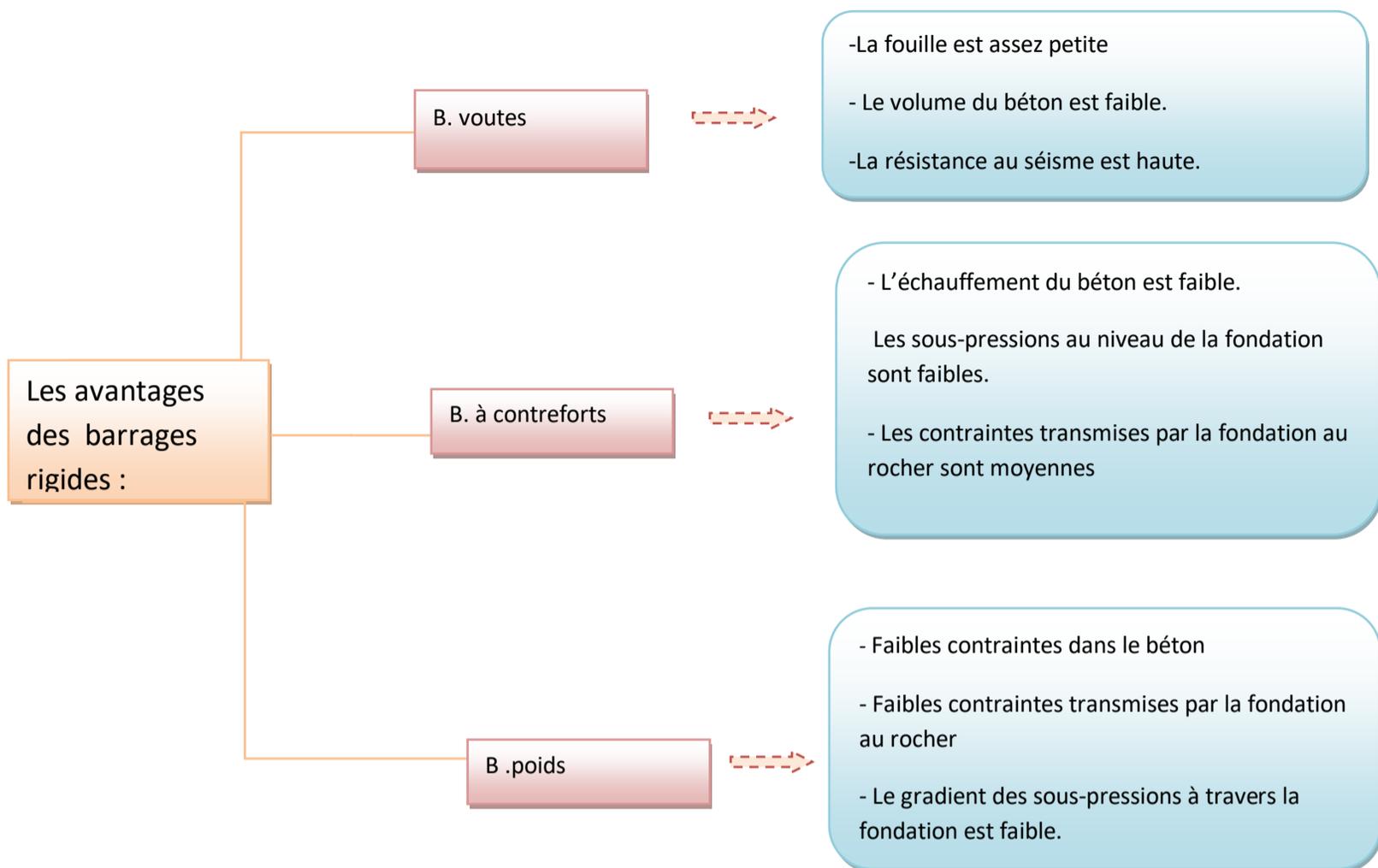


Figure 31: Les avantages de chaque type des barrages rigides (AZZOUZI et MEGREZ, 2019)

III. Chronologie de la réalisation d'un barrage

La construction d'un barrage n'est pas un chantier comme les autres, un barrage est par essence un ouvrage complexe faisant appel à plusieurs disciplines scientifique et technique (géologie, hydraulique, géotechnique...). Ainsi pour réaliser un tel projet, on doit passer par trois étapes bien caractéristiques suivantes :

-Première phase : études préliminaires ou Avant-projet Sommaire (APS) :

Elle concerne les reconnaissances et les études générales de la zone en question développée en vue dans le but d'établir l'inventaire des réalisations pour la satisfaction des besoins qui sont soit déjà exprimés soit répertoriés dans la zone, et d'apprécier l'intérêt économique de la réalisation de ces aménagements.

Elle comprend les étapes suivantes :

- Collecte des données disponibles : documents cartographiques, données climatiques, renseignements géologiques, données relatives aux pratiques agricoles et aux besoins d'eaux.

- inventaires des sites potentiels et Critères de choix : topographie, géologie, géotechnique, hydrologie, proximité des lieux d'utilisation, critères économiques, reconnaissance des lieux, reconnaissance géologique et géotechnique, examen des sites topographiques rapides, reconnaissance du périmètre irrigable et/ou des agglomérations rurales.

-Deuxième phase : études d'Avant-projet-Détaillé (APD)

Elle concerne les études des variantes présélectionnées lors de la phase préliminaire. Il s'agit des études APD qui permettront la réalisation des aménagements. Elles comprennent :

- 1- Levés et études topographiques,
- 2- Études hydrologiques, géologiques et géotechniques,
- 3- Évaluation des besoins en eau,
- 4- Étude de régularisation,
- 5- Études d'impacts du projet,
- 6- Types, caractéristiques et dimensionnements des ouvrages,
- 7- Les prescriptions techniques,
- 8- Avant-métré et détail estimatif.

-Troisième phase : études de réalisation des ouvrages (dossier d'exécution)

Elle concerne les conditions d'organisation, les prescriptions techniques pour une bonne exécution et les contrôles qui doivent être mis en œuvre pendant la construction des ouvrages. Il s'agit notamment de :

- Moyens pour la réalisation du projet (engins, matériaux, matières consommables, personnel)
- Organisation du chantier
- Exécution des travaux (séquence des opérations, principaux travaux, contrôle des travaux).

IV. Etude préliminaire à la construction d'un barrage

IV.1 Choix du site de retenue

Le choix du site de retenue s'effectue à partir :

- Des données topographiques : volumes des retenues en fonction des niveaux des eaux.
- Des données hydrologique : bassin versant de la retenue, pluviométrie, débits d'apports des cours d'eau, crues) ;
- Des données géologiques : perméabilité, état de fracturation, stabilité des massifs, constitution des massifs) ;

Par conséquent, pour construire un barrage il faut que le bassin dans lequel on stockera l'eau, soit plus haut que la vallée du coté aval du barrage.

IV.2 Choix de la position du barrage

Il se fait essentiellement en fonction des données topographiques, on recherche un verrou, c'est-à-dire un rétrécissement de vallée qui permettra de minimiser le volume de l'ouvrage.

Souvent, on doit faire un compromis entre le volume de la retenue (vallée large), l'altitude de la retenue et l'importance de l'ouvrage. Le choix entre les sites possibles se fait sur les conditions géologiques du la serrure, pour permettre la stabilité et l'étanchéité de l'ouvrage.

IV.3 Choix du type de barrage

Le choix du type de barrage, se fait à partir des conditions locales, soient:

- Les qualités géotechniques du support (les barrages bétons s'accommodent mal avec les supports déformables).
- les ressources en matériaux de construction disponible (en qualité et en quantité)

- Le relief et la géologie tiennent une place très importante lors de la construction d'un barrage; ainsi pour un barrage peut être solide il faut le reposer sur un terrain assurant la stabilité de ses fondations aussi le sol ne doit pas être meuble pour éviter le glissement du barrage vers l'aval.
- Le barrage que l'on veut construire doit être adapté au relief:
 - Si la vallée est large : on va choisir un barrage en remblai, barrage poids et barrage en BCR (Béton Compacté Rouleau)
 - Si la vallée est étroite : on choisira plutôt un barrage poids
 - Si la vallée est très étroite : on va choisir un barrage voûte

V. Matériaux utilisables pour la construction

- Si l'on dispose de sols limoneux ou argileux de qualité et en quantité suffisante (1,5 à 2 fois le volume du remblai), la solution barrage en terre homogène.
- Si l'on dispose de matériaux imperméables en quantité limitée, et par ailleurs de matériaux grossiers ou d'enrochements, il est envisageable de construire un barrage en terre à noyau.
- Si l'on ne dispose que de matériaux grossiers, ceux-ci peuvent être exploités pour édifier un barrage en enrochement, l'étanchéité est assurée par une paroi au coulis construite après montée du remblai en son centre, ou par une étanchéité amont artificielles.
- Si l'on dispose d'enrochements uniquement, un barrage en enrochements compactés, avec une étanchéité rapportée sur le parement amont éventuellement, la solution barrage en béton.

VI. Description du barrage Ait Ziat

L'emplacement du barrage Ait Ziat pourrait entraîner la construction d'un barrage de 45Mm³ qui permettrait de stocker l'eau de surface pour l'alimentation en eau potable, de renforcer l'irrigation en aval du barrage et d'allouer une nouvelle source en eau municipale.

Cette dotation permet d'augmenter l'approvisionnement en eau, de renforcer la diversification et la sécurisation de l'alimentation en eau potable destiné à la consommation humaine, permettrait aussi de réduire le coût d'exploitation en particulier les frais de pompage.

VI.1 L'emplacement du barrage ait Ziat

La construction du barrage Ait Ziat prévue par la Direction d'Aménagement Hydraulique (DAH) et l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift (ABHT) a pour objectif d'alimenter en eau potable la ville de Marrakech, d'irriguer des périmètres dans le Haouz central, et de contribuer à la régularisation des eaux de l'oued Zat.

Ce barrage est situé à 45 km environ au Sud-Est de la ville de Marrakech en aval du bassin versant de l'Oued Zat, avec les coordonnées suivantes: (**X=294 500; Y=106 100 et Z=815**) (figure 32 et 33).



Figure 32: Site potentiel du Barrage Ait Ziat dans la province Al Haouz (Dahan, 2017)

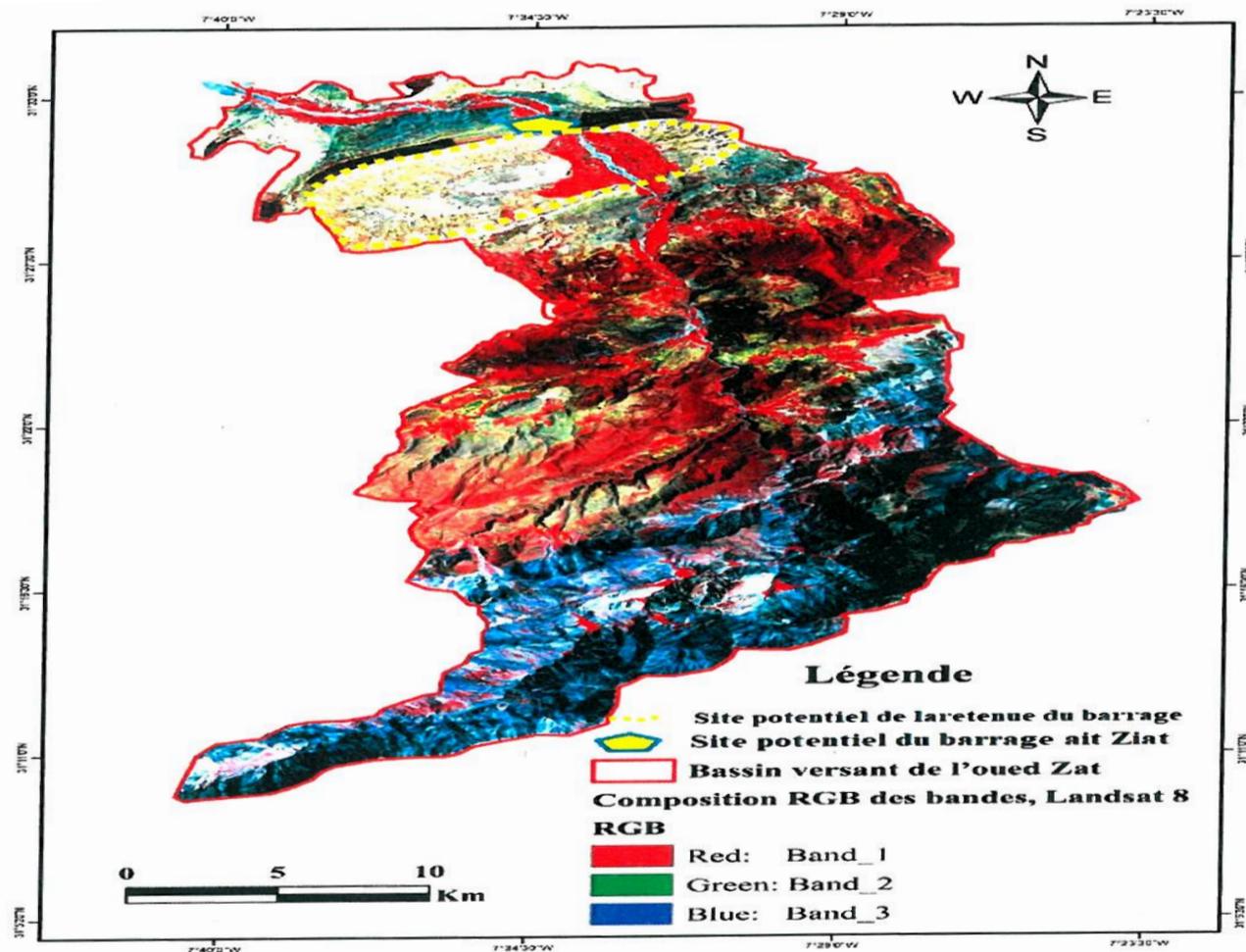


Figure 33: Site potentiel du barrage Ait Ziat dans le bassin versant de L'Oued Zat (Ait Rami, 2020)

VI.2 Les caractéristiques du barrage Ait Ziat

VI.2.1 Aperçu des volumes et coût

Le tableau ci-dessous (tableau 4) présente les principales caractéristiques du barrage Ait Ziat, et le coût du mètre cube en eau potable provenant de ce barrage:

Tableau 4: Estimation du coût du m³ d'eau régularisé pour l'eau potable à partir du barrage Ait Ziat (AIT RAMI, 2020)

Capacité du barrage	45Mm ²
Date de mise en service	2030
Durée de réalisation	10 ans
Coût d'investissement	450 millions MAD (partie AEP)
Coût de transport	7.9 million MAD/an
Coût d'entretien	2.25 millions MAD/an
Coût du traitement de l'eau	7.5 millions MAD/an
Coût des impacts environnementaux	88 millions MAD
Frais de pompage	Les frais de pompage sont nuls

VI.2.2 Performances hydrauliques

Le barrage ait Ziat est un barrage en terre à noyau caractérisé par :

Tableau 5: Performance hydraulique du barrage Ait Ziat

Volume de la retenue	45Mm³
Hauteur max sur fondation	56 m
Longueur de la crête	752 m
Côté crête	875m
Envasement annuel	0,25 Mm³
Niveau de retenue normale	870m
Niveau des plus hautes eaux	872,80m
Aire de la retenue au niveau PHE	1058ha
Revanche	27 576, 682 m²

VI.2.3 Objectifs de la construction du barrage Ait Ziat

Le barrage Ait Ziat prévue permettrait:

- ❖ Un développement de l'irrigation des périmètres de PMH (Petite et Moyenne Hydraulique) et renforcement de l'irrigation du périmètre de GH (Grande Hydraulique) d'AL Haouz.
- ❖ Une contribution à la sécurisation de l'alimentation en eau potable de Marrakech aussi les villes et les centres liés (Tahannaout, Chouiter, Ait Ourir, ...)
- ❖ La production de l'énergie hydroélectrique.
- ❖ Protection de l'oued Zat contre les inondations.

VI.3 Les méthodes d'aménagement du barrage Ait Ziat

VI.3.1 Le corps du barrage Ait Ziat

-Une recharge amont en matériau plus grossier et drainant assurant la stabilité même après une vidange rapide.

-Une recharge aval stabilisatrice en matériau peu déformable.

Plusieurs filtres successifs seront nécessaires pour assurer la transition entre les enrochements et le noyau car il existe une forte différence de granulométrie entre les matériaux du talus et ceux du noyau (figure 34).

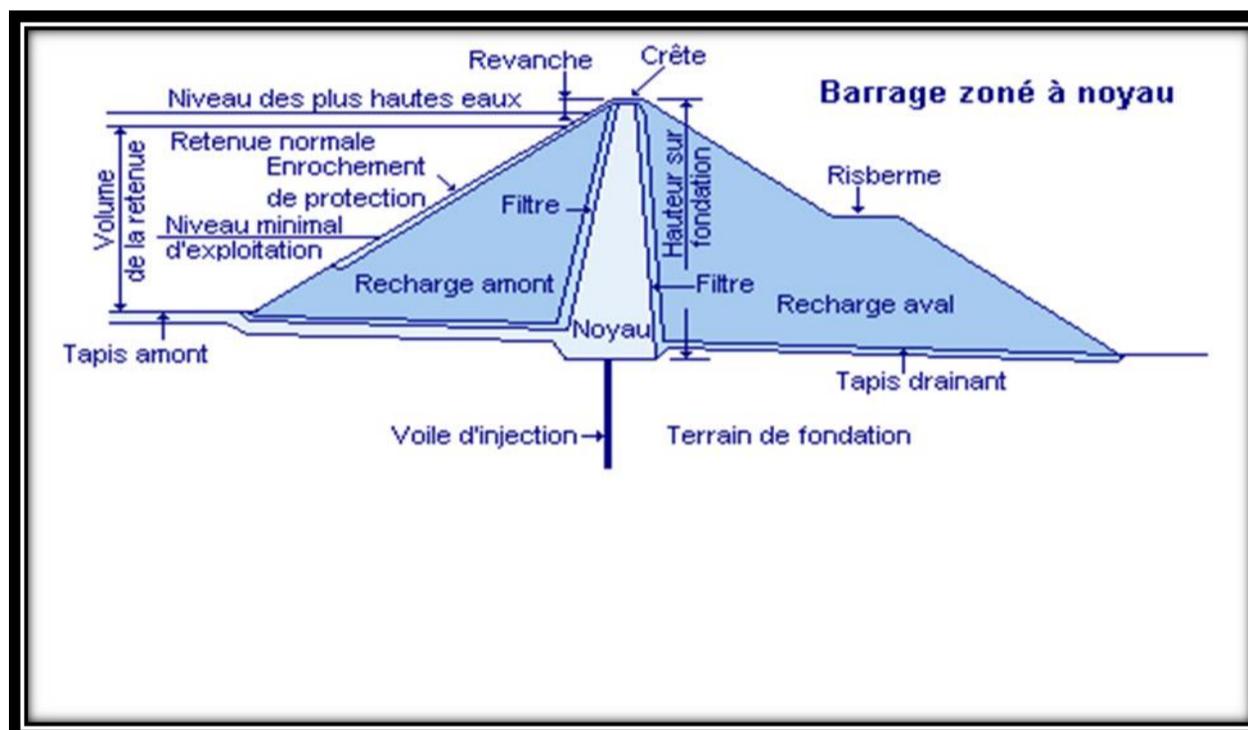


Figure 34: Schéma de la digue du barrage Ait Ziat (Wikibardig)

Tableau 6: Caractéristiques du corps du barrage (AIT RAMI, 2020)

Type du barrage	Digue zonée à noyau central étanche
Longueur	752 m
Hauteur sur fondation	56m
Pente talus amont	2.20 H/1V
Pente talus aval	2.00 H/1V
Hauteur sur terrain naturel	62 m
Coté crête	875 m

VI.3.2 Pente des talus

La pente des talus est une caractéristique importante pour la stabilité mécanique de l'ouvrage.

La pente des talus du barrage en terre est fixée par les conditions de stabilité mécanique du massif et de ses fondations. En ce qui concerne le massif, pour déterminer la pente des parements on se donne en général des pentes qui paraissent optimales, compte tenu de la nature des matériaux, et on vérifie par une étude de stabilité que le barrage présente une sécurité suffisante avec ces pentes

Tableau 7: Pentes indicatives des parements d'un barrage en terre (Wikibardig)

Hauteur	Type	Amont	Aval
< 5m	Quelconque	1/2	1/2
5 à 10 m	Homogène, granulo étendue	1/2,5	1/2,25
	Homogène fort % argile	1/2,75	1/2,25
	Noyau + recharges grossières	1/2,25	1/2
10 à 15 m	Homogène, granulo étendue	1/2,75	1/2,5
	Homogène fort % argile	1/3	1/2,5
	Noyau + recharges grossières	1/2,5	1/2,2

VI.3.3 -Description du noyau

L'hétérogénéité des matériaux disponibles au niveau du bassin versant de l'Oued Zat et leurs caractéristiques géotechniques ne permettent pas d'envisager une digue homogène étanche. Dans ce cas une solution couramment adoptée consiste à concevoir un massif en plusieurs zones constituées chacune d'un matériau différent, suivant la fonction qu'elle va assurer.

La fonction d'étanchéité est assurée par un noyau étanche réalisé en matériaux argileux qui pourra être placé en amont du barrage ou au centre de celui-ci.

Le noyau étanche est maintenu par une ou plusieurs zones constituées de matériaux plus grossiers et relativement perméables, qui assureront la stabilité mécanique de l'ouvrage.

VI.3.4 -Drainage et Filtre

Le dispositif filtre/drain est un élément particulièrement important d'un barrage à noyau. Nombre d'accidents et de ruptures sont imputables à l'absence de filtres et/ou de drains, ou encore à une mauvaise conception ou réalisation du système filtre/drain pouvant conduire à une érosion interne ou un drainage insuffisant. La sécurité des barrages à noyau dépend donc d'une conception et d'une construction adéquate des systèmes de filtres et de filtres/drains. Les matériaux pour les filtres et drains sont fabriqués à partir d'alluvions ou d'encrochements de carrière par concassage et triage afin d'obtenir la composition granulométrique attendue puis lavage afin d'éliminer les éléments fins en excès. Un drain naturel est réalisé en matériaux grossiers (graviers, sables) pour être le plus perméable possible, un drain doit être protégé par un matériau de granulométrie intermédiaire jouant le rôle de filtre s'opposant au colmatage du drain.

✓ Rôle d'un drain :

Un drain installé au pied de la pente intercepte la nappe et un bon système de drainage superficiel élimine les eaux de ruissellement en les empêchant de stagner au bas de la pente.



Figure 35: Réalisation d'un drain (Wikibardig)

✓ Rôle d'un filtre :

Un filtre permet de garder l'intégrité du noyau en interdisant le lessivage des matériaux.



Figure 36: Réalisation d'un filtre (Wikibardig)

VI.3.5 Système de protection

Les barrages sont menacés par leur rupture dans le futur, on peut éviter ça grâce à un système de protection:

✓ *Protection de la crête*

La mise en place d'une couche de grave sur la crête permet notamment d'éviter la formation d'ornières dues au passage de véhicules et la dessiccation des dernières couches argileuses compactées.

✓ *Protection des talus amont*

Dans de nombreux projets de barrages à noyau, la protection du talus amont est particulièrement importante pour la stabilité de l'ouvrage. Elle a pour objectif de lutter contre l'érosion et les dégâts qui pourraient résulter de l'action des vagues. Il y a plusieurs types de protection du talus amont parmi lesquelles:

a) RipRap déversé

Le RipRap déversé est une couche superficielle d'enrochements destinées à protéger un talus amont plus fin contre l'action dynamique d'eau. C'est le type de protection le plus efficace (figure 37).



Figure 37: Exemple de talus amont protégé par RipRap (Wikibardig)

b) Dalle en béton

Les dalles de béton peuvent être constituées de béton coulé in situ ou d'éléments de béton préfabriqués placés côte à côte. Leurs dimensions varient de 1,5 à 15m et leur épaisseur de 0,1 à 0,3m (figure 38).



Figure 38: Exemple de protection du talus amont par dalles en béton (Wikibardig)

c) Pavés autobloquants

Des blocs de béton préfabriqués emboîtés peuvent être utilisés pour la protection de talus (figure 39).



Figure 39: Exemple de protection du talus amont par pavés autobloquants (Wikibardig)

d) Protection du talus aval

La technique la plus adoptée et la plus efficace pour protéger le talus aval d'un barrage à noyau contre les effets de ruissellement des eaux de pluies c'est l'enherbement (figure 40).



Figure 40: Exemple de la protection du talus aval par l'enherbement (Wikibardig)

VII. -L'envasement et dévasement du barrage ait Ziat

VII.1 L'envasement du barrage

Le processus de l'envasement du barrage ait Ziat débute dans la première phase par l'arrachage des particules fines de leurs positions initiales par le ruissellement, dans la seconde phase, les sédiments seront drainés par les cours d'eau jusqu'au barrage. Enfin dans la troisième partie, les particules seront piégées pour se décanter et se tasser au fond du lac du barrage (figure 41).

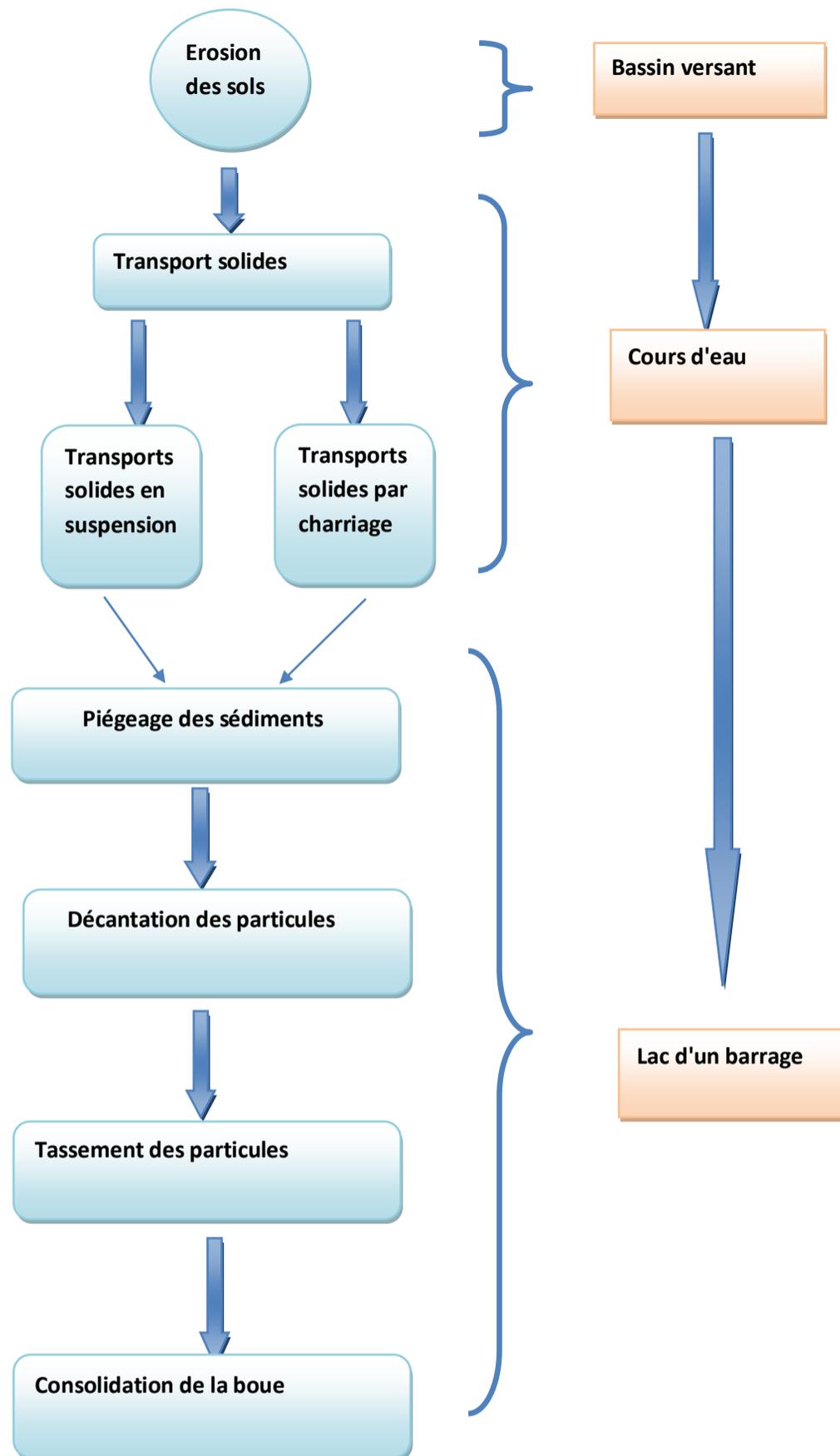


Figure 41: Processus d'envasement du barrage Ait Ziat (Larhyss Journal, 2016)

VII.2 Dévasement du barrage Ait Ziat

Le meilleur moyen et technique de lutte contre l'envasement est situé au niveau de la source de production des particules, c'est à dire au niveau du bassin versant diverses méthodes sont appliquées, selon la consistance du programme d'intervention 2015-2024 :

Tableau 8: Consistance du programme d'intervention 2015-2014

de Nature l'opération	Volume	Cout en DH
Reboisement	500ha	5 000 000 00
Distribution de plants fruitiers	30 000 plants	300 000 00
Correction des ravins	15 000 m ³	5 250 000 00
Sylviculture	800 ha	300 000 00

VIII. Conséquences de la construction du barrage Ait Ziat

VIII.1 Conséquences hydrologiques

La création du barrage Ait Ziat, au niveau du bassin versant Zat, produira plusieurs changements :

- La densité de drainage qui est de l'ordre de 3.08 Km^{-1} diminuerait, puisqu'elle dépend de la longueur totale des cours d'eau en Km, qui sera réduite à son tour par le barrage ;
- Les crues importantes au niveau de l'oued Zat, seront contrôlées par le barrage Ait Ziat, qui va harmoniser les débits (figure 42).
- Le temps de concentration qui est de l'ordre de : 6h 25 min, changera également, attendu qu'il représente le temps maximal nécessaire au ruissellement, en provenance du point le plus lointain du bassin pour atteindre l'exutoire.
- Les régimes dynamiques seront modifiés, en passant d'un régime fluvial à un régime lacustre
- Un changement également au niveau des écosystèmes, avec passage d'un écosystème terrestre à un écosystème lacustre, ou d'un écosystème d'eau courante, à un écosystème en eau stagnante

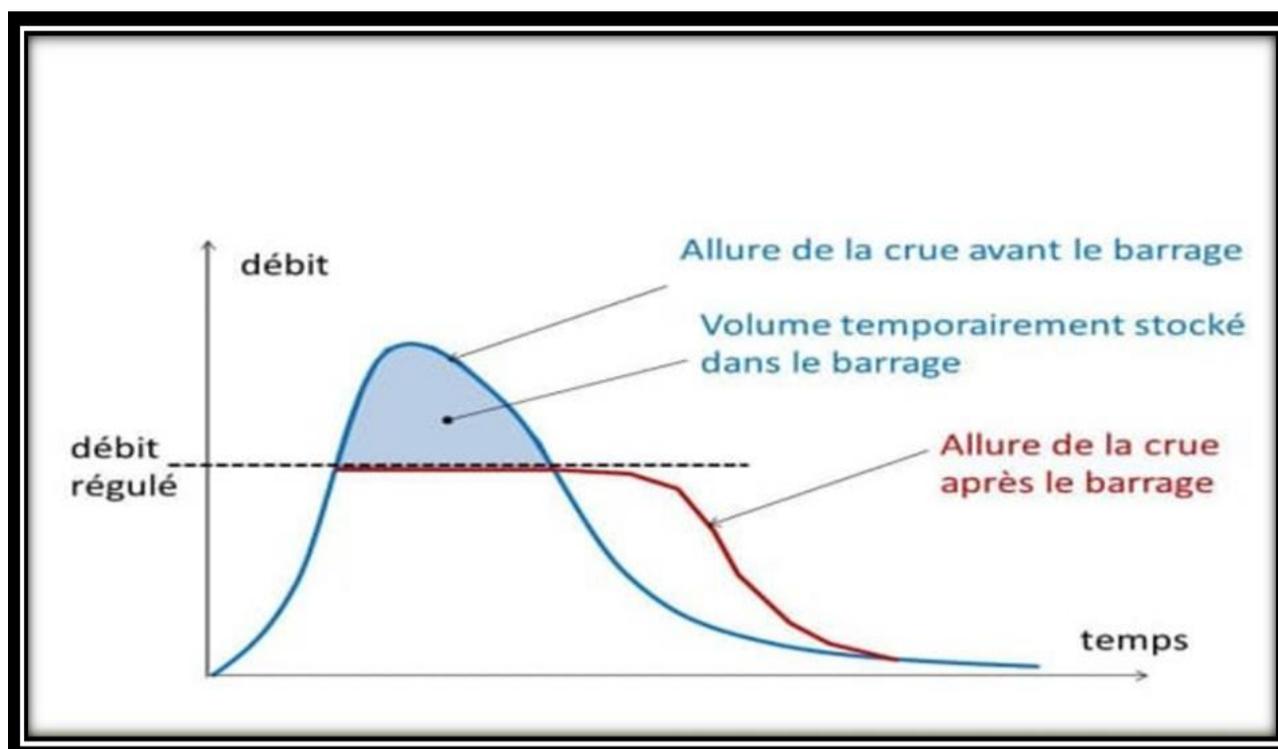


Figure 42: Régulation du débit par les barrages: écrêtement de la pointe de crue

VIII.2 Conséquences socioéconomiques

La construction d'un barrage entraîne la destruction des villages se situant dans la vallée en amont et donc l'expulsion des habitants.

Ainsi, à l'horizon de 2030 et à cause de l'édification du grand barrage Ait Ziat avec une capacité de 45 Mm³, 320 habitants perdront leur habitation, l'équivalent de 360 emplois permanents seront perdus, Donc plusieurs habitants des douars se situant dans la cuvette, qui sera inondée par la retenue du barrage, seront déplacés.

Notamment, selon la carte topographique de la zone d'étude (figure 43), voici quelques exemples des douars qui seront déplacés: Targa, Toukhrbine, Sidi Idar, Sidi Regragui, Sidi Oulhaj, Zawyat Ben Nacer, Igoudar, Tadwart....etc.

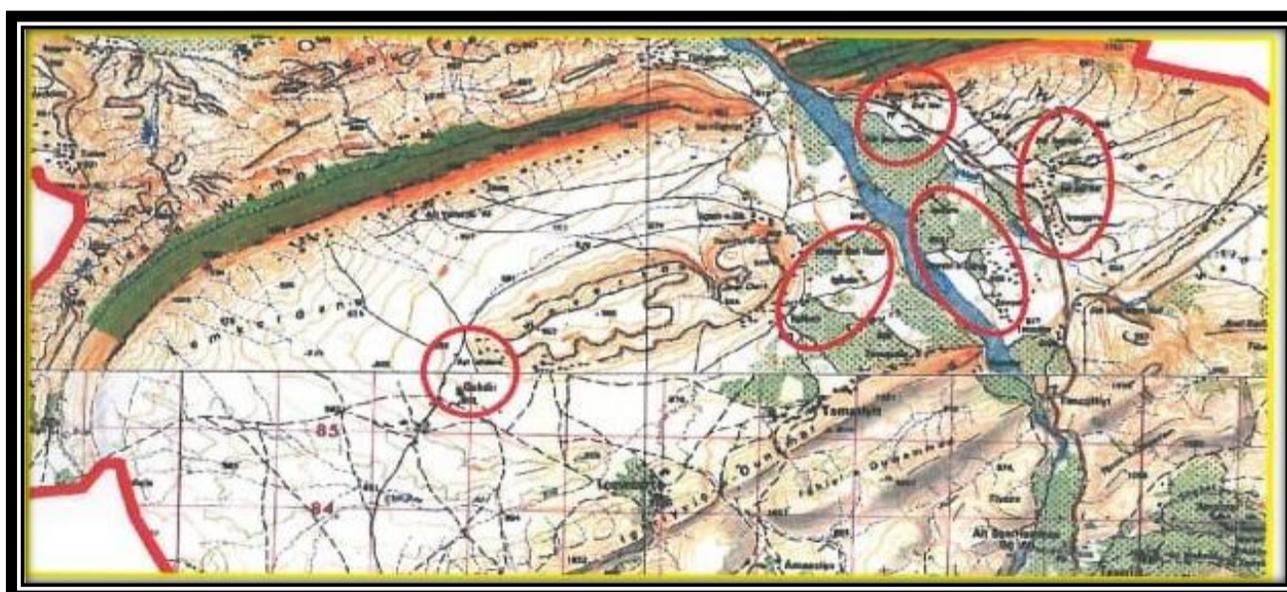


Figure 43: Exemples des douars menacés, extrais de la partie avale de la carte topographique du bassin versant de l'Oued Zat, qui sera inondée par l'installation du barrage Ait Ziat (AIT RAMI, 2020)

VIII.3 Pertes économiques

Selon l'étude d'impact sur l'environnement du barrage Ait Ziat, effectuée par la DRPE en 2001, l'installation de ce barrage va poser de plusieurs dégâts parmi lesquelles:

- ❖ Plusieurs équipements socioéconomique (2 écoles, 3 mosquées, 4 cimetières, 5 boutiques, 2 moulins, 7 huileries et 4 puits collectifs) seront inondés.
- ❖ La perte de revenu moyenne est 1000 MAD/mois: 64% des ménages perdront moins de 25 % de leur revenu, et 15% des ménages perdront plus de 50%.
- ❖ La submersion d'un tronçon de route, sur environ 3 km.
- ❖ L'inondation d'un poste de transformation électrique, ainsi que de 3 km de ligne électrique.

VIII.4 Coût des impacts socioéconomiques

Tableau 9: Estimation du coût des impacts socioéconomiques et environnementaux du barrage Ait Ziat

Actions	Millions MAD
Indemnisation des populations pour les biens perdus	160
Remplacement des ouvrages d'AEP	10
Rétablissement des infrastructures	6
Coût total	176

VIII.5 Impacts environnementaux

- Disparition des plantes : La construction du barrage Ait Ziat peut perturber la vie de certains types de végétaux par exemple, la véronique Mauron d'eau (*Veronica anagallis aquatica*), une plante se trouve au bord de l'Oued Zat, elle se caractérise par de jolies fleurs bleues ou mauves.
- Disparition des insectes : L'installation du barrage Ait Ziat peut entraîner la disparition d'un insecte plécoptère caractéristique des eaux de bonne qualité, comme Oued Zat, *Perla bipunctata*.
- Rupture de la circulation des poissons : La création du barrage Ait Ziat constitue un obstacle pour la circulation des organismes aquatiques, et en particulier pour les poissons, leur remontée est d'autant plus difficile que les seuils sont hauts et nombreux.

Tableau 10: Conséquence attendus du barrage Ait Ziat (Ait Rami, 2020)

Phase	Niveau du site	Aval hydraulique
Phase de construction	-Dégradation des écosystèmes -Sécurité des ouvriers et des riverains -Perte de sols arables -Pollution d'air (poussières et gaz)	- Pollution des eaux de surface et souterrains
Phase d'exploitation	-Déplacement des populations. -Pertes de valeurs écologiques. - Émission de gaz à effet de serre (Décomposition du couvert végétal inondé). -Submersion de larges surfaces	-Pertes de revenue (tourisme, pêche, agriculture) -Risques d'inondation (lâchés importants, rupture du barrage) -limitation des apports en nutriments et sédiments

IX. Avantage du barrage Ait Ziat

Les impacts négatifs du barrage Ait Ziat, sont contrebalancés par ses avantages, ainsi les principaux avantages de la construction de ce barrage, pourraient être résumés des manières suivantes:

❖ Energie renouvelable et production d'électricité et d'eau potable

L'exploitation de l'eau pour la production d'électricité par un barrage hydroélectrique, est dite une énergie propre et renouvelable. En effet elle se renouvelle continuellement grâce aux cycles de l'eau qui est un phénomène naturelle.

❖ Irrigation des cultures

À l'horizon de 2030, un volume d'eau d'environ trente millions de m³ par an, sera destiné à l'irrigation des périmètres du Haouz central, à partir du barrage Ait Ziat; en effet, l'irrigation touchera des grands hectares, avec un rendement qui représentera le double, par rapport aux terres non irriguées, mais surtout constant au fil des années. Ainsi l'eau stockée dans les réserves permet en cas de sécheresse, de ne pas interrompre la production.

❖ Avantages économiques et sociaux

Les avantages sociaux et économiques attribués à la construction du barrage Ait Ziat, comprennent:

- Génération de nouveaux emplois
- Protection contre les inondations
- Sécurité alimentaire et protection contre les sécheresses dans les zones vulnérables.
- Création des zones de récréation et de loisirs, favorisant le développement économique.

Le barrage d'Ait Zat pourra présenter d'autres avantages comme :

- ❖ Une valorisation de la station de traitement existante
- ❖ Une réduction du coût de l'adaptation du réseau de distribution de la RADEEMA.
- ❖ Une réduction des frais de pompage d'un volume d'environ trente millions de m³ par an, à partir du barrage Al Massira.

Conclusion générale

Le gouvernement à l'intention de mettre en œuvre de projet d'aménagement du barrage Ait Ziat pour le développement de ressources d'eau dans les zones rurales et urbaines de la ville du Marrakech, visant à l'alimentation en eau potable, l'irrigation, la réduction des dégâts des eaux et des érosions ainsi que la création d'emplois.

La construction du barrage Ait Ziat prévue reste du projet indispensable est intéressant sur le plan cout, il faut juste prendre en compte dont les effets qu'elle pourrait causer, soit les impacts socioéconomiques et environnementaux, soit les effets que peuvent provoquer le mal entretien et protection de cet ouvrage, soit le problème de son envasement, pour les réduire ou à les compenser il faut proposer de différentes protocoles et scénarios qui permettent la gestion de ce barrage au cours et après de son aménagement et pour lui fournir une bonne meilleur méthode de protection

En conclusion, nous pouvons dire que cet ouvrage va contribuer surement dans le développement de la région et les objectifs seront largement atteints si on instaurera une bonne gouvernance hydrique.

Références bibliographiques

- AIT ABBA SAAD, (2018): Etude des risques naturels au niveau du bassin versant de l'oued Zat (80p).
- AIT RAMI KARIMA, (2020): des impacts environnementaux et socioéconomiques du barrage Ait Ziat, sur le bassin versant de l'oued Zat, Mémoire Master, (152P).
- ANTON, J SCHLEISS et HENRI POUGATSC, (2011): Les barrages: du projet à la mise en service, Livres (Volume 17), (695p).
- AHT GROUP AG-RESING, (2016): Rapport diagnostique du sous-bassin de Zat (114p).
- AZZOUZI, A et MEGREZ, M, (2019): Modélisation du comportement hydromécanique du barrage BOUGHRARA, Mémoire Master (85p).
- DAHAN, S, (2017): Gestion de la rareté de l'eau en milieu urbain au Maroc, Banque Mondiale, Rapport (38p).
- DJEMILI, L, (2009): Choix et conception de l'organe de l'étanchéité des barrages en terre Barrage el-agremjijel, Mémoire Master (19-23).
- LIMAM, (2005) : Principales nappes phréatiques du bassin versant du Tensift
- REMINI B, et BIN SAFIA D, (2016): Environnement des barrages dans les régions arides exemple Algérien, Journal, (28)

Sites web :

- Méthode d'aménagement du barrage à noyau. Disponible sur:
« <https://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr> »
- Principales nappes phréatiques de bassin versant du Tensift (Limam 2005). Disponible sur :
« <https://www.researchgate.net> »

Annexes

Article 1 :

Mois	Précipitation en mm
Sept	13
Oct	33
Nov	44
Déc	37
Janv	48
Fév	42
Mars	51
Avr	34
Mai	25
Juin	10
Juil	2
A	5

Tableau 1: Précipitations moyennes mensuelles au niveau de la station hydrométrique Taferiat saisonnières du bassin versant Zat (1982/83 à 2016/17) (ABHT 2016)

Article 2 :

Mois	Débits moyens mensuelles en m3/s
Sept	1
Oct	3
Nov	3,5
Déc	2,4
Janv	3
Fév	4
Mars	6,5
Avr	7,1
Mai	5,2
Juin	2
Juil	0,8
A	0,7

Tableau 2: Débits moyens mensuels dans le bassin versant de l'oued Zat, durant la période de (1962/63) à (2016/17)

Article3 :

Année	Précipitation en mm		
1982/83	133,4	1999/00	308,3
1983/84	274,3	2000/01	234,6
1984/85	388,2	2001/02	299,1
1985/86	300,3	2002/03	274,4
1986/87	0	2003/04	338,3
1987/88	331,6	2004/05	215,2
1988/89	497,2	2005/06	224,1
1989/90	320	2006/07	224,9
1990/91	474,4	2007/08	185,5
1991/92	291,5	2008/09	432,5
1992/93	237,6	2009/10	388,6
1993/94	468,1	2010/11	398,1
1994/95	396,4	2011/12	294,1
1995/96	913,4	2012/13	319,9
1996/97	420,9	2013/14	282,1
1997/98	415,9	2014/15	438,2
1998/99	395	2015/16	189,9
1999/00	308,3	2016/17	267

Tableau 3: Précipitation moyennes annuelles du bassin versant Zat (1982/83 0 2016/17)

Article 4 :

Article 5 :

Pente	Total Surface	Surface en %
0-5	5958	13,00%
5;15	12546	27,00%
15-25	13077	28,00%
25-35	14819	32,00%

Tableau 4 : Répartition des surfaces de chaque tranche de pente du bassin versant Zat

Nombre des douars	Nombre des foyers
<100 foyers	149
100-200 foyers	36
200-300 foyers	6
300-400 foyers	4
400-500 foyers	4
>500 foyers	0

Tableau 5 : Répartition des douars suivant le nombre des

foyers, au niveau du bassin versant Zat (Diagnostic du sous bassin Zat

Article 6 :

Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Moyenne
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06666667
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,09166667
0	0	17,4	0	0	9,3	0	0	0	2,625
2,8	0	0	0	4,4	0	0	0	0	0,775
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,9	0	0	2,9	0	0	0	0	0	0,9
17,4	0	0	3,3	0	0,9	0	0	0	1,8
0	9,6	0	21,8	0	1	0,2	0	0	2,95
0	47,2	0	27,3	0	1	10,6	0	0	7,175
0	5	2,3	10,3	0	0,6	11,3	0	0	17,00833333
0,6	1,4	0	12,5	0	0	3,3	0	0	1,558333333
0	0	0	11,7	0	0	1,1	0	0	1,308333333
0	0	0	26,7	0	4,3	3,8	0	0	2,9
1,9	0	0,5	13,5	0	0,8	46	0	0	5,225
38,5	0	0	0	0	0	0	0	0	3,208333333
7,6	0	0	8,4	0	0	0	0	0	1,333333333
0	6,5	0	2,7	0	0	0	0	0	0,76666667
0	1,6	0	0	0	10,6	0	0	0	1,01666667
0,3	19,5	0	0	0	0,5	0	0	0	1,69166667
0	0	0,6	0,7	0	0	0	0	0	0,108333333
0	0	2,9	0	0	0	0	0	0	0,24166667
0	35	0	0	0	0	0	0	0	2,91666667
0	0,4	18,3	0	0	0	0	0	0	1,558333333
0	42,1	43	3,4	0	0	0	0	0	7,375
0	5,5	9,4	2,3	0	7,6	0	0	0	4,15
2,4	0	17,2	0	0	0	1,2	0	0	1,76666667
25,8	2,2	0	0	0	0	0,3	0	0	2,358333333
18	10,9	0	0	0	0	0	0	0	2,408333333
0	0	0	0	0	0,9	0	0	0	0,208333333
0	3,7		0	0	0	0	0	0	0,308333333
0	3,8		0		0		0		0,31666667

Tableau 6 : Précipitation moyenne journalière pendant l'année 1995/96