

Figure 1.4. Localisation du tronçon d'étude sur l'Oued Saf-Saf

2.1. Généralités

La vallée du Saf-Saf possède une forte dominante rurale. En moyenne sur l'ensemble de la région étudiée, l'occupation des sols compte plus de 80% de terres exploitées par l'agriculture et le pâturage.

2.2.Topographie

Du point de vue topographique la vallée du Saf-Saf est caractérisée par un relief très accidenté, à pentes longitudinales relativement fortes.

On présente ici le profil en long du tronçon étudié sur l'Oued Saf-Saf:

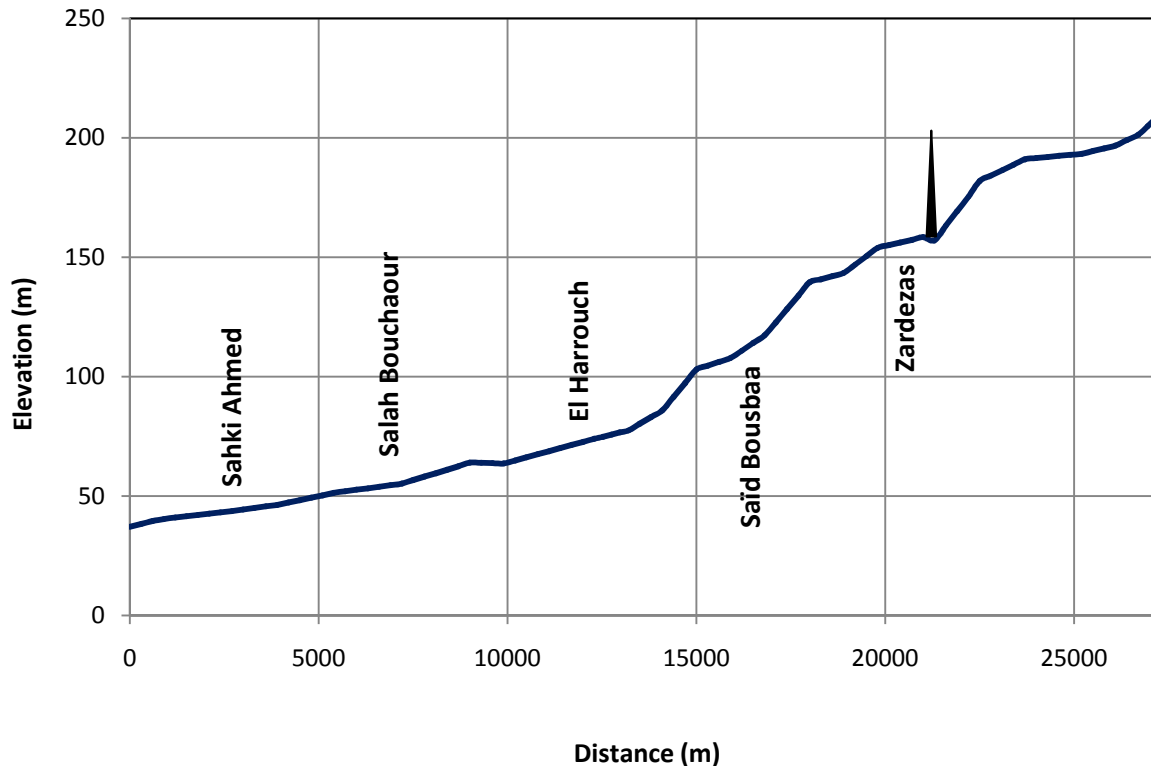


Figure 2.4. Profil en long du tronçon étudié sur l'Oued Saf-Saf

On distingue clairement deux zones différentes :

- Entre le barrage et la ville El Harrouch : la pente moyenne du lit est très forte de l'ordre de 9%. Cette zone se caractérise par un fond de vallée relativement étroit qui n'offre pas de grandes zones d'expansion des crues.
- En aval de la ville El Harrouch jusqu'à la fin du tronçon étudié : la pente moyenne du lit est plus modérée elle est de l'ordre de 3%. Cette zone marque l'entrée du Saf-Saf dans les plaines El Harrouch et Salah Bouchaour. Le champ d'expansion des crues y est potentiellement très large.

2.3. Population

Dans le fond de la vallée aval du barrage des Zardezas on trouve plusieurs centres urbains:

- le premier est le village des Zardezas situé à 700 m du barrage ; sa population était estimée à 12 437 habitants, lors du recensement de 2010.



Figure 3.4. Le village des Zardezas

- ensuite on trouve le village Saïd Bousbaa à environ 6 km du barrage, il compte environ 14 302 habitants.



Figure 4.4. Le village Saïd Bousbaa

- Pas loin du village Saïd Bousbaa se situe la ville El Harrouch, avec ces 49 400 habitants cette ville constitue le cœur des activités industrielles et commerciales de la région.



Figure 5.4. La ville El Harrouch

- à quelques 15 km du barrage des Zardezas on trouve la commune Salah Bouchaour. Elle est la 2^{ème} agglomération de cette région, sa population est de 27 864 habitants.



Figure 6.4. Le village Salah Bouchaour

- Enfin, on trouve la cité rurale de Sahki Ahmed qui compte environ 2 072 habitants



Figure 7.4. La cité rurale de Sahki Ahmed

3. Ancien barrage

3.1. Généralité

Le barrage des Zardézas est un barrage poids en béton mis en service en 1936, qui est situé sur l'oued Saf-Saf à 35 km au Nord-Est de Constantine et à 30 km au sud de Skikda. C'est un ouvrage de régularisation bi-annuelle. Il alimente en eau potable la ville de Skikda et sa zone industrielle, ainsi que cinq villages de la basse vallée du Saf-Saf. Il permet de plus l'irrigation d'environ 1800 hectares au moyen de lâchures effectuées dans le lit de l'oued.

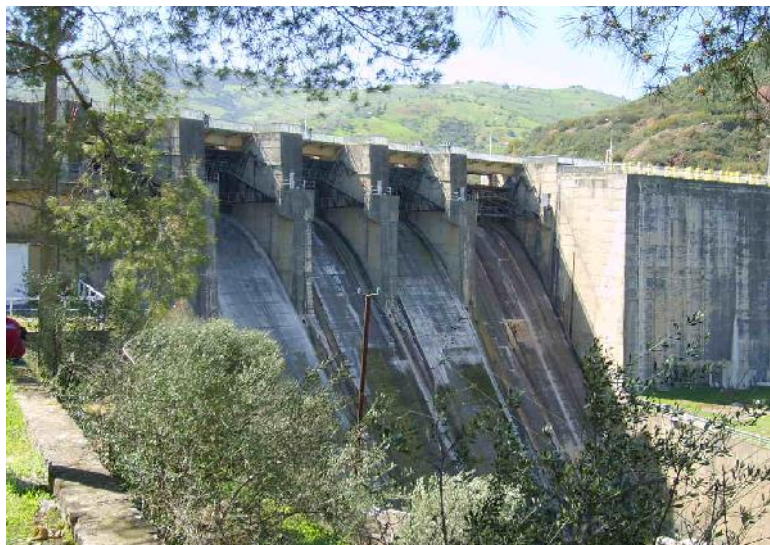


Figure 8.4. Vue de l'ouvrage depuis le versant rive droite

3.2. Historique de l'ancien barrage

En 1859, la construction d'un barrage a été envisagée dans les gorges de Zardezas, sept années plus tard un projet qui comportait une digue de 35 m correspondant à une retenue de 22 hm³ a été abandonné suite aux ruptures de plusieurs digues en Algérie. En 1911 une reconnaissance géologique a rendu des conclusions défavorables à la construction d'un barrage.

De nouveaux travaux de reconnaissances géologiques ont été pris, qui ont laissé le service des mines approuvait un projet comportant une digue en enrochement. En 1927, les travaux commençaient par la construction d'un batardeau amont. Après achèvement des déblais de la première étape, les terrains de fondation apparaissaient plus résistants que prévu, par contre la mise en place d'un déversoir indépendant du barrage présente les plus grandes difficultés. Dans ces conditions l'administration décidait de remplacer le barrage en enrochement par poids déversoir en béton, et ce en 1930.

En rive gauche a eu un glissement terrain, qui prit d'inquiétantes proportions, et rendant par la suite l'encrage prévu en rive gauche irréalisable. L'ancrage rive gauche fut repoussé vers l'aval pour s'appuyer sur un massif calcaire reconnu par sondage. L'exécution des plots de l'aile était poursuivie à l'aval d'une route de protection exécutée à travers les éboulis du glissement, tandis que les seuils de partie centrale déversante étaient repoussés vers l'aval, laissant à l'amont des plates formes à la cote 178 sur les bétons déjà exécutés. La cote de retenue normale fut abaissée au niveau de 186.50. (Schuster R. L. 2006)

3.3. Exploitation de l'ancien barrage

Depuis 1945, l'ancien barrage a rempli son rôle de façon satisfaisante.

Un seul incident notable : en octobre 1958 la vanne de garde de la vidange de fond s'est trouvée bloquée en position haute par des blocs de pierre.

Une manœuvre de chasse a été effectuée pour dégager cette vanne, la vanne papillon aval s'est trouvée bloquée également provoquant une vidange intempestive et totale de la réserve.

Il est bon de noter que les chasses de dévasement n'ont repris qu'en 1965 avec la mise en place d'une grille de protection.

4. Barrage surélevé

4.1. Motifs de la surélévation

En 1967 la retenue d'une capacité initiale de 15 millions de m³ la cote de retenue normale 184,30, ne représentait plus que 9 millions de m³ par suite de son envasement progressif. Le niveau de la vase avoisinait alors la cote 174.

L'apport moyen annuel du Saf-Saf étant de 53 millions de m³ le volume utile résiduel de 9 millions de m³ a permis de distribuer en moyenne 11 millions de m³ par an qui ont suffi jusqu'à la fin de l'année 1971 pour couvrir les besoins en eau de la ville de SKIKDA et des villages de la wilaya et l'exploitation agricole dans la vallée du Saf-Saf.

Cependant on prévoyait que les besoins en eau de la ville de Skikda se trouveraient rapidement augmentés lors de la mise en activité de l'équipement industriel en cours de réalisation. Il fallait également envisagé le développement marqué des besoins agricoles, liés à la mise en valeur de 1800 ha supplémentaires dans la vallée du Saf-Saf.

Le premier impératif était, pour l'Administration, de faire face aux besoins à court terme. Dans ce but, après examen de diverses solutions il fut décidé de surélever le barrage des Zardézas.

4.2. Études de surélévation

La surélévation se faisait par superposition d'éléments bétonnée, sans élargissement de la fondation existante. Cette solution s'accommode mieux de la nécessité de maintenir la retenue en eau durant les travaux. Et face aux sollicitations de glissement et de renversement, il convient de le pré-contraindre par câbles ancrés dans le rocher de fondation et suite aux axes suivants :

- Des caractéristiques géotechniques du rocher de fondation.
- De la stabilité de la zone de l'ancien glissement rive gauche.
- De la sécurité que l'on peut atteindre des tirants d'ancrage précontraints nécessaires pour assurer la stabilité.

- Du nombre de ces tirants d'ancrage en regard du poids propre du barrage et de la possibilité de les placer dans le corps de l'ouvrage.

En définitive 111 tirants d'ancrage de 515 t de tension utile sont prévus qui peuvent atteindre une profondeur de 50 m environ sous le barrage.

La surélévation est mise à profit pour augmenter le débit nominal de l'évacuateur de crues de 1200 à 2000 m³/s en se basant sur les dernières études hydrologiques de l'oued Saf-Saf. La sécurité de l'ouvrage s'en trouve donc augmentée par rapport à celle du barrage existant.

Le relèvement de la cote de retenue normale nécessite de renforcer et de compléter l'ancien voile d'étanchéité et le réseau de drainage.

Enfin, l'envasement de la tour de prise d'eau et de vidange de fond existante et les futures conditions d'exploitation conduisent à réaliser une nouvelle tour. Elle sera disposée à l'entrée d'une des deux anciennes galeries de dérivation provisoire en rive droite.

La conception du projet de la surélévation a demandé des études et reconnaissances approfondies, tout particulièrement en ce qui concerne la géologie et la mise au point des tirants de précontrainte.

Les travaux de surélévation ont débuté en janvier 1970 pour être achevés au printemps 1974, pour porter sa capacité à 32 hm³.

En conclusion de ces études, une surélévation de 12.70 m est retenue, la cote de retenue normale étant portée de 184.30 à 197 NGA.

Les considérations qui ont guidé ce choix ressortent de l'examen :

- des caractéristiques géotechniques du rocher de fondation.
- de la stabilité de la zone de l'ancien glissement rive gauche.
- de la sécurité que l'on peut attendre des tirants d'ancrage précontraints nécessaires pour assurer la stabilité.
- du nombre de ces tirants d'ancrage en regard du poids propre du barrage et de la possibilité de les placer dans le corps de l'ouvrage.

4.3. Dimensions principales

Les dimensions principales de l'ouvrage après surélévation tirées du document d'avant-projet de Bonnard et Gardel sont présentées dans le tableau suivant :

Hauteur au-dessus du terrain naturel	42 m
Hauteur maximale sur fond de fouilles	69 m
Longueur développée en crête	240 m
Épaisseur à la base dans l'axe	43 m
Volume du corps du barrage	234 000 m ³

Tableau 1.4. Dimensions principales du barrage des Zardézas

4.4. Les ouvrages hydrauliques

Les ouvrages hydrauliques comprennent les organes suivants:

- un évacuateur en partie centrale du barrage, comportant cinq passes de largeur totale 59 mètres et équipées de vannes secteurs, d'une capacité maximale de 2 000 m³/s sous la RN (197,00 NGA); le seuil de l'évacuateur est calé à la cote 190,50.
- une vidange de fond de capacité 100 m³/s sous la RN, composée d'un pertuis blindé équipé en amont d'un batardeau, et en aval de deux vannes murales (vanne de garde et vanne de réglage).
- une tour de prise équipée de trois pertuis étagés, restituant les eaux dans une conduite métallique pour l'AEP (capacité de 0,8 m³/s) et une conduite métallique pour l'irrigation (capacité de 7 m³/s).
- quatre vannettes de dévasement sur les quatre piles de la partie déversante.

5. Conditions de fondation du barrage

Les figures suivantes, extraites de l'interprétation des sondages réalisés en 1962, représentent une élévation géologique au droit du parement amont du barrage, au droit de la crête et au droit du pied aval (ISL Ingénierie. 2006).

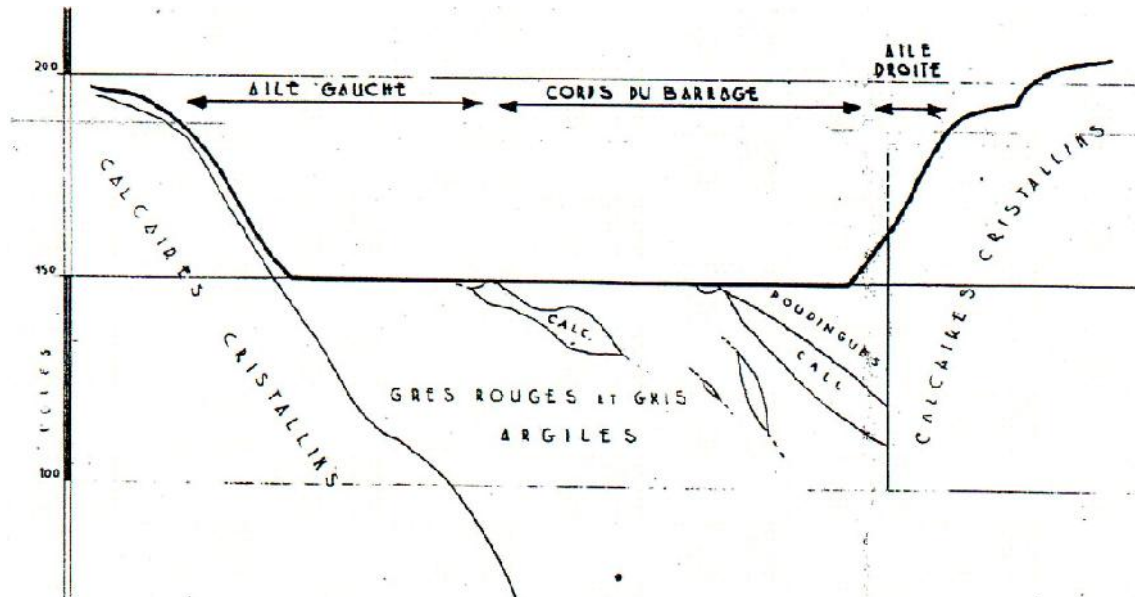


Figure 9.4. Élévation géologique à l'amont du barrage

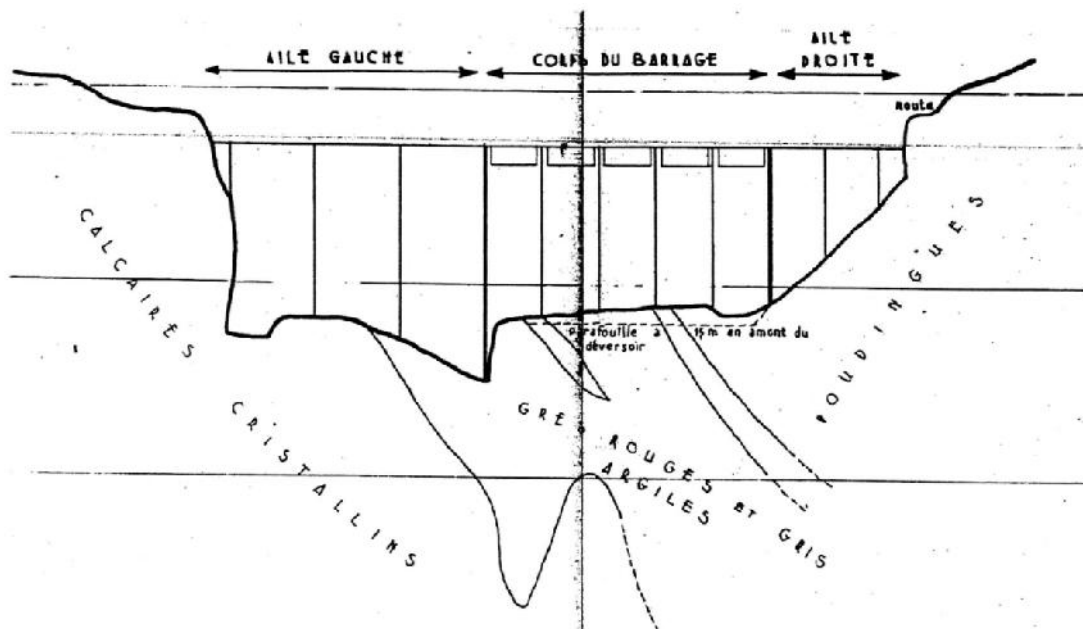


Figure 10.4. Élévation géologique centrale

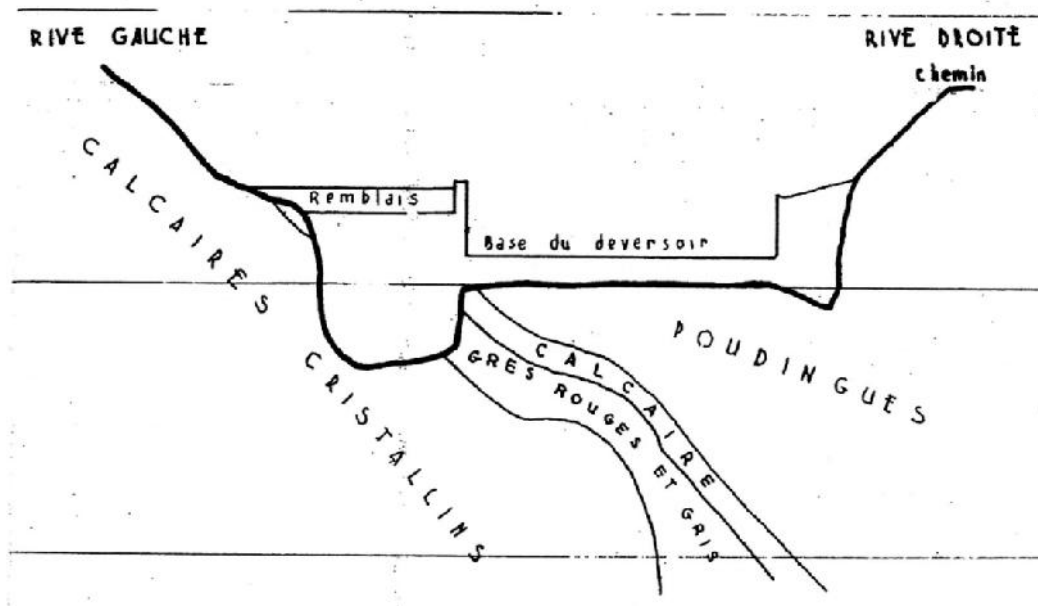


Figure 11.4. Élévation géologique aval

Ces coupes permettent de définir trois zones dans lesquelles les conditions de fondation du barrage sont relativement homogènes:

- l'aile et l'appui rive droite, constitués par une masse des calcaires plongeant sous une grande masse de congglomérats compacts.
- la partie centrale, plus complexe, constituée d'un mélange de grès, d'argilites et de poudingues.
- l'aile et l'appui rive gauche, constitués principalement de calcaires, avec une partie amont reposant sur les grès rouges.

Il est clair que l'aménagement est situé dans un contexte géologique très difficile en sachant que les grès rouges constituent des roches d'assez médiocre qualité.

6. Capacité de la retenue et envasement

La retenue avait une capacité de 30 Hm³ à la cote de retenue normale (197,00 NGA) au moment du projet de surélévation.

La retenue a fait l'objet d'un levé bathymétrique en janvier 2004. La figure suivante représente les courbes cote surface capacité de la retenue d'après ce levé (ISL Ingénierie, 2006):

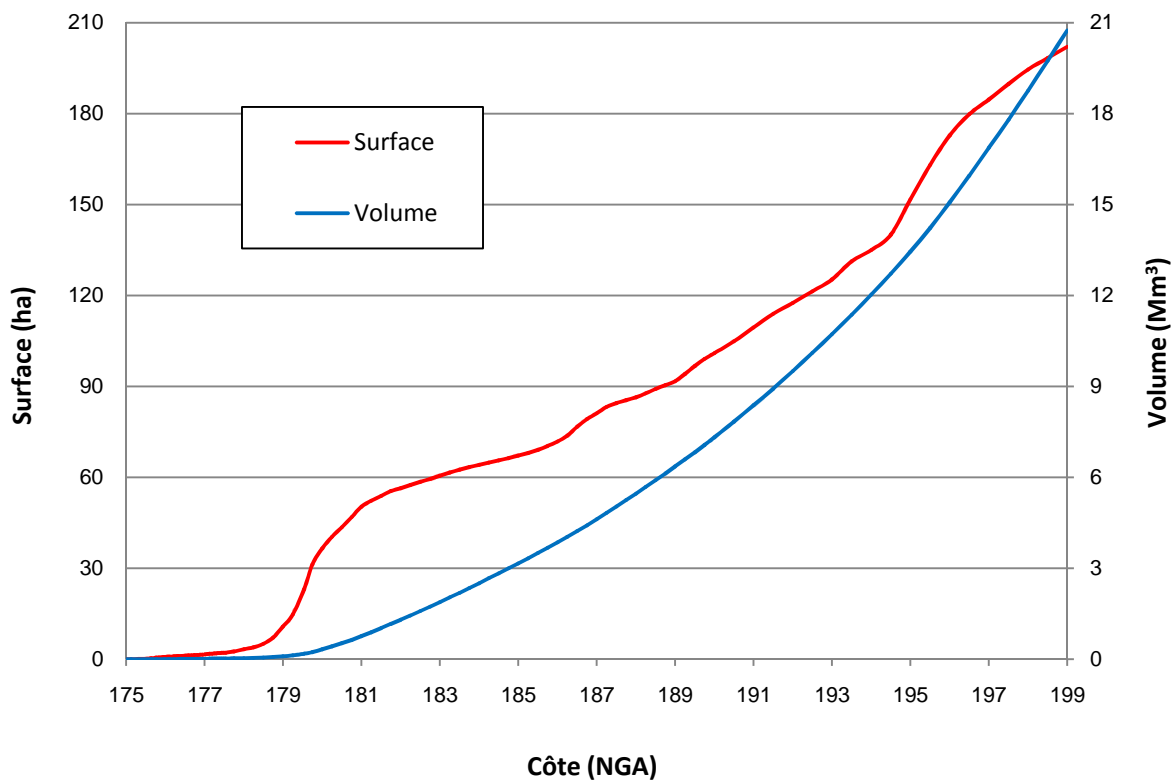


Figure 12.4. Courbe hauteur-surface-capacité de la retenue en janvier 2004

Selon ce levé bathymétrique :

- La retenue est totalement envasée jusqu'à la cote 175 NGA; soit près de 25 m au-dessus de fond initial de l'Oued.
- La capacité actuelle de la retenue est limitée à 18,1 Mm³ sous la cote de retenue normale (197,00 NGA).

7. Niveaux d'exploitation

Une fois les travaux de surélévation du barrage des Zardézas achevés une exploitation nominale du barrage sous la cote de la retenue normale 197 NGA a permis de régulariser un volume d'environ 30.10^6 m^3 . Cependant, au fil des années de sérieux problèmes ont apparu et affecté le fonctionnement optimal de l'ouvrage. On cite essentiellement, les défaillances d'ouvrages d'évacuation et l'état critique d'envasement qui guette la sécurité du barrage, qui s'ajoutent aux problèmes de fondation mentionnés précédemment. (Touati B. 2010).

En 1990 et suite aux analyses de stabilité réalisées par le bureau d'étude Bonard e Gradel, il a été décidé d'exploiter le plan d'eau de la retenue des Zardézas à seulement 194 NGA, et ce afin d'assurer la sécurité de l'ouvrage. Ainsi le volume régularisé en cette période qui était de 20.10^6 m^3 s'est trouvé réduit à environ 10.10^6 m^3 , une diminution faite au détriment de l'approvisionnement de la population de la ville de Skikda et du périmètre du Saf-Saf.

Dans la pratique, cette consigne n'est pas respectée, et le plan d'eau a dépassé à plusieurs reprises la cote 196 NGA.

8. Analyse de sécurité de l'ouvrage

L'analyse de risque de cet aménagement a été réalisée par la société d'ingénierie ISL ingénierie dans le cadre de confortement des grands barrages Algériens en exploitations. (ISL Ingénierie. 2006).

Les analyses réalisées en ce qui concerne la stabilité de l'ouvrage révèlent que la sécurité du barrage de Zardezas sous la cote de retenue normale 197 NGA est faible, et inférieure aux règles de l'art actuelles. Elle peut être cependant considérée comme marginalement acceptable. Les conclusions sont similaires pour un plan d'eau atteignant la cote de crête 199 NGA, cette cote correspond en théorie à l'évacuation d'un débit d'environ $3200 \text{ m}^3/\text{s}$.

Par contre en cas d'occurrence du séisme SMD (séisme maximal de dimensionnement) de magnitude de 6.4 selon l'échelle de Richter, les conditions de stabilité sont jugées inacceptables. Un séisme d'une telle ampleur conduirait à un déplacement irréversible du barrage sur sa fondation incompatible avec le maintien de l'intégrité de la structure.

Selon cette analyse, le mode de défaillance le plus pertinent est un glissement du barrage sur sa fondation, en particulier pour les plots fondés en partie ou en totalité sur les grès rouges, ce qui correspond aux plots 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 et 13 de la digue.

Conclusion

La description de la vallée de l'oued Saf-Saf présentée dans la première partie de ce chapitre, a permis de mettre en évidence la complexité de la topographie du tronçon étudié, une complexité qui va influencer le choix quant aux outils de prévision de l'onde de rupture du barrage des Zardezas, elle a également permis de constater qu'il existe plusieurs centres urbains qui peuvent être touchés par une éventuelle rupture du barrage des Zardezas.

La description du barrage des Zardezas présentée en détaille dans la deuxième partie a permis de donner un bref aperçu historique de l'ouvrage. En fait, le barrage des Zardézas est considéré comme un ouvrage monumental et un oeuvre exceptionnelle, il représente un symbole de la volonté et de la ténacité des hommes à vaincre une variété de difficultés notamment celles liées à la forte activité hydro-sédimentaire dans la région.

Selon les analyses de risques présentées en fin du chapitre le scénario de rupture le plus pertinent est un glissement du barrage sur sa fondation pour les plots fondés sur les grès rouges, causé par la concomitance d'une crue rare avoisinant les $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ - $3200 \text{ m}^3/\text{s}$ et un séisme dont la magnitude a été bien précisée.