



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

**Projet de fin d'études en vue d'obtention du diplôme d'état en
Hydraulique**

Sujet

**ORGANISATION DE LA CONSTRUCTION D'UN
BARRAGE EN BCR
BARRAGE DE KOUDIAT ACERDOUNE**

Proposé par : Mr B. Bouyge

Etudié par : Melle Chirine AISSAOUI

**Dirigé par : Mr B. Bouyge
Mr Y. Mouloudi**

Année Universitaire 2003/2004

الملخص :

الإسمنت المكثف بالملاسة يستعمل لبناء السدود لأنه يسمح إقتصاد في تكلفة السد و في حجم مواد البناء المستعملة. للحصول على سد متوازن و لا يسمح بمرور الماء, تنضيم بناء السد ضروري يستلزم إمكانيات بشرية و مادية و خاصة نهنية كبيرة سندرسها في الوثيقة التالية.

Résumé: Le Béton Compacté au Rouleau (BCR) est un matériau qui par définition est mis en œuvre à ces élevées et en couches minces. Ce matériau est utilisé pour la construction des barrages car il est économique et engendre des délais de constructions plus courts. Pour recouvrir un BCR avant qu'il ne fasse prise, il faut mettre en place tous les moyens qui permettent d'optimiser son utilisation. L'organisation d'un chantier de barrage en BCR et du processus de sa réalisation doivent être particulièrement soignés. Les installations adaptées au chantier et les caractéristiques finales du BCR satisfaisant les spécifications techniques du marché.

Abstract: Roller Compacted Concrete (RCC) may be considered for application where no-slump concrete can be transported and placed. RCC dam construction is economically competitive with other construction methods thanks to its thin layer's placing.

For many dam projects, the use of RCC may allow a more economical layout of project features such as an over-the-crest spillway as opposed to a side channel spillway for a comparable embankment dam. Structures designed in a manner similar to those using conventional concrete can be constructed using RCC with many of the same characteristics. It is also possible to design structures requiring less demanding performance, consequently making them more economical.

Mots clés: Béton, formulation, compactage, rouleaux compacteurs, barrage, organisation.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

CHAPITRE I LE PROJET BKA

1	Présentation du projet.....	1
2	Présentation du site.....	2
2.1.	<i>Géologie du site du barrage</i>	2
2.2.	<i>Hydrologie du site du barrage</i>	2
2.2.1.	Bassin versant	2
2.2.2.	Précipitation, évaporation.....	2
2.2.3.	Apports.....	3
2.2.4.	Sédimentologie	5
2.2.5.	Détermination des débits de crue.....	5
2.3	<i>Matériaux de construction</i>	7
3	Caractéristiques de l'ouvrage	8
3.1.	<i>Barrage poids en BCR</i>	8
3.1.1.	Dimensions de l'ouvrage.....	8
3.1.2.	Pont route.....	9
3.1.3.	Galeries intérieures et en rocher	9
3.1.4.	Evacuateur de crues (cf. Annexe I – Plan AH0408).....	10
3.1.4.	Dérivation provisoire, vidange de fond, prise d'eau.....	11
3.2.	<i>Dispositif d'injection et de drainage</i> (cf. Annexe I – Plan AH0421).....	11
3.2.1.	Injections.....	11
3.2.2.	Drainage.....	12
3.3	<i>Dispositif d'auscultation</i> (cf. Annexe I – Plan AH0418).....	13
4.	Justification du type de barrage adopté	15
4.1.	<i>Types de BCR pour les barrages</i>	15
4.2.	<i>Caractéristiques techniques majeures de la solution BCR</i>	15
4.3.	<i>Comparaison des deux solutions BCR/Enrochement</i>	16

CHAPITRE II LE MATERIAU BCR

1	Historique.....	17
2	Le matériau BCR.....	19

2.1. Généralités sur les constituants du BCR 20

2.2. Choix des dosages..... 21

3 Formulation d'un BCR pour le barrage de Koudiat Acedoune23

3.1 Composition granulométrique du BCR..... 24

3.2 Résultats des essais en laboratoire..... 24

CHAPITRE III ORGANISATION DE LA CONSTRUCTION

1 Préparation du chantier28

2 Méthodes BCR30

3 Planning des travaux31

4 Cadence et volumes de réalisation.....32

5 Fabrication du BCR.....34

6 Transport et Mise en place du BCR.....35

7 Compactage37

8 Cure du BCR.....39

9 Joints de reprise40

10 Joints de contraction.....42

11 Parements du barrage44

12 Galeries dans le corps du barrage45

13 Température de mise en place du BCR46

CONCLUSION

INTRODUCTION

Depuis quelques années, l'utilisation des bétons compactés au rouleau (BCR) est devenue de plus en plus fréquente dans la construction des barrages. Le barrage de Koudiat Acerdoune sera le deuxième barrage en BCR réalisé en Algérie après celui de Beni Haroun dont la construction a été achevée en l'an 2000.

Les BCR se distinguent des bétons conventionnels par leur affaissement nul, leur proportion importante de granulats et leur faible dosage en liant. Ce type de matériau ayant une apparence très sèche, sa densification requiert quelques passages d'un rouleau vibrant avec et sans vibration, selon les résistances que l'on veut obtenir.

Pour acquérir le maximum d'informations sur la construction de ce barrage, j'ai effectué un stage de deux mois au sein de l'entreprise RAZEL, sur le chantier du barrage de Koudiat Acerdoune. Durant cette période j'ai eu l'occasion de rencontrer des personnes qui ont une certaine expérience dans le domaine des barrages en BCR qui m'ont guidée dans mon travail et ont élargi mes connaissances dans ce domaine.

Dans la première partie de mon mémoire, je présente le projet du barrage de Koudiat Acerdoune. Tout en justifiant le choix d'un barrage en BCR plutôt qu'un barrage en enrochement préalablement choisi.

La deuxième partie consiste en une présentation du Béton Compacté au Rouleau, et des essais de formulation du BCR qui pourrait satisfaire les prescriptions techniques du projet en matière de résistance et maniabilité.

Dans la troisième partie, je présente un travail qui doit être fait avant le début de la mise en place du BCR, c'est à dire décomposer la construction de ce barrage en tâches, en proposant les installations à employer et les méthodologies à suivre pour celles qui peuvent présenter des singularités.

Le but principal de ce travail est de montrer l'avantage d'utiliser le Béton Compacté au Rouleau pour un barrage, en faisant ressortir le fait que la construction d'un barrage en BCR est un processus industrialisé où il faut définir les performances d'une chaîne de fabrication et de mise en œuvre nécessaires pour garantir un seuil de qualité minimale en tout point du barrage.

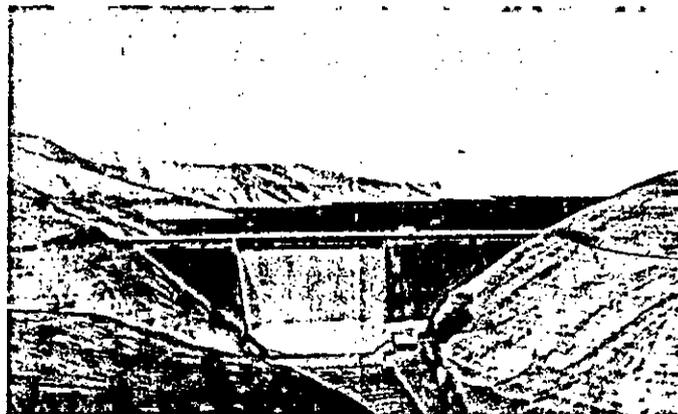
1 Présentation du projet

Le site du barrage de Koudiat Acerdoune est situé sur l'oued Isser, à 15 km au sud de la ville de Lakhdaria et à environ 80 km au Sud-Est d'Alger. En participant au complexe des grands transferts d'eau dans le bassin de l'Algérois, le barrage de Koudiat Acerdoune, d'une capacité de 640 millions de mètres cubes, permettra la régularisation annuelle de 170 millions de mètres cubes destinés au transfert vers la retenue de Keddara pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation de la plaine de la Mitidja en plus de l'irrigation des périmètres du bas-Isser.

Le barrage de Koudiat Acerdoune est un barrage poids, rectiligne en béton compacté au rouleau (BCR), s'appuyant sur une fondation rocheuse schisto-marneuse. Avec une hauteur de 121 m, 440 m de longueur et 8 m de largeur de crête, il sera l'un des vingt plus hauts barrages en BCR réalisés dans le monde à ce jour et le deuxième en Algérie après celui de Beni Haroun.

Le barrage comprend :

- Un évacuateur de crues, intégré dans la partie centrale du barrage, d'une largeur utile de 136 m et constitué d'un déversoir à seuil libre, d'un coursier suivant la pente du corps du barrage et d'une cuillère ;
- Une vidange de fond, construite dans l'un des deux pertuis en béton armé réalisés en rive gauche et servant de dérivation durant les travaux ;
- Une tour de prise, s'appuyant sur le parement amont du barrage, à l'aplomb du second pertuis.



1 Présentation du site

2.1. Géologie du site du barrage

Le site du barrage de Koudiat Acerdoune se trouve dans le cours moyen de l'oued Isser, à 9 km au sud de Lakhdaria entre les affluents Melah et Djemaa.

En cet endroit, la vallée de l'oued Isser franchit, en direction N-S, un resserrement formé par deux collines présentant des pentes assez raides.

La colline en rive gauche culmine à 433 m, tandis que la colline en rive droite culmine à plus de 500 m d'altitude.

Le site est constitué essentiellement de schistes marneux fracturés et altérés sur une épaisseur variable recouverts d'alluvions récentes ou anciennes dans la vallée et de colluvions sur les appuis.

La rive gauche est formée de schistes marneux bruns visibles sur les pistes d'accès au versant Nord de Koudiat Acerdoune. La roche est extrêmement fissurée avec des zones de cisaillement ouvertes ou remplies soit d'argiles, soit de filons de calcite et de quartz. Sur la rive droite, plus raide, les pistes d'accès laissent voir des schistes marneux bruns profondément altérés.

Au niveau de l'oued on remarque des schistes marneux de couleur gris-brun qui sont moins altérés.

2.2. Hydrologie du site du barrage

2.2.1. Bassin versant

Le bassin de l'oued Isser présente une superficie totale de 2790 km². La longueur de l'oued en amont du barrage est de 122 km présentant une pente moyenne de 1.13%.

2.2.2. Précipitation, évaporation

Les précipitations annuelles moyennes varient entre 450 mm sur la moitié amont du bassin jusqu'à 1000 mm sur les chaînes montagneuses qui limitent le bassin versant vers le Nord-Ouest.

La précipitation moyenne pondérée sur le bassin est de 565 mm.

L'évaporation annuelle moyenne sur la retenue peut être estimée à 1260 mm.

Quant à la température moyenne annuelle sur le site du barrage, elle est de 16°C.

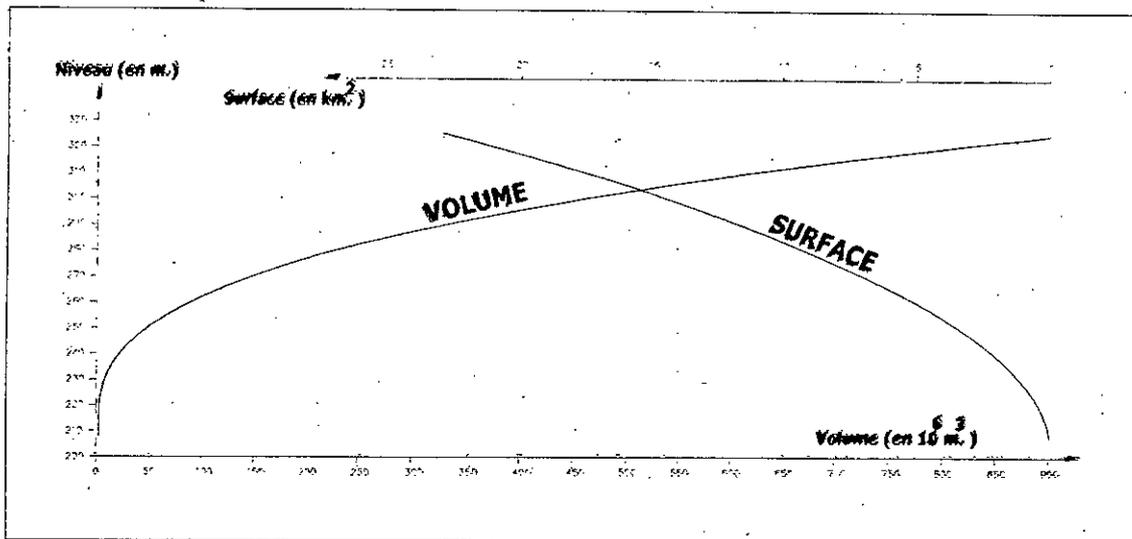


Figure 1: Courbe Aires-Volumes

2.2.3. Apports

Les apports au site du barrage ont été évalués à partir des relevés obtenus à la station hydrométrique de Pont de la Traille, en incorporant la relation entre les superficies des deux bassins versants et la relation entre les pluviométries annuelles moyennes par l'utilisation d'un coefficient de transposition. L'apport moyen a été estimé à 211 Mm³/an pour la période de 1945/1946 à 1989/1990.

La distribution des apports au long des années sont représentés dans le Tableau 1, on remarque que leur distribution est assez irrégulière, avec des débits inférieurs à la moyenne pendant 9.5 mois par an.

Les résultats présentés sont issus de l'étude de l'avant projet détaillé du barrage de Koudiat Acerdoune, réalisée en 1993 par le bureau d'études portugais COBA.

ANNEE	SEPT.	OCT.	NOV.	DÉC.	JANV.	FÉV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	TOTAL
1945	9,2	6,6	43,1	11,3	136,1	11,2	17,7	114,7	34,9	5,1	0,9	0,6	391,4
1946	1,5	1,1	2,4	36,4	31,0	28,9	8,4	3,8	2,5	3,1	0,9	9,6	129,6
1947	3,1	15,7	0,9	112,9	159,7	30,6	15,8	12,3	13,0	7,5	2,0	1,4	374,9
1948	2,0	15,7	4,2	3,1	62,8	22,0	32,0	50,3	98,6	9,5	2,5	1,4	304,1
1949	2,7	1,7	4,4	9,1	14,6	7,2	24,5	24,6	8,9	1,1	0,8	2,0	101,6
1950	33,2	12,7	2,1	17,5	80,0	114,2	86,5	12,4	10,8	4,8	3,7	2,5	380,4
1951	5,4	47,5	25,5	34,3	130,2	148,4	44,2	35,0	40,7	12,6	8,5	5,9	538,2
1952	20,8	5,6	6,0	21,3	53,5	15,9	99,0	20,0	13,9	6,3	2,3	5,3	269,9
1953	2,5	8,1	3,9	12,3	40,2	85,9	45,2	182,7	25,8	12,3	4,8	4,3	428,0
1954	3,3	3,4	5,6	7,3	18,4	11,4	16,1	33,2	15,3	5,3	1,9	4,5	125,7
1955	5,8	21,7	9,3	15,7	19,8	82,7	33,8	15,9	5,5	1,9	1,0	0,4	213,5
1956													0,0
1957													0,0
1958													0,0
1959													0,0
1960													0,0
1961													0,0
1962													0,0
1963													0,0
1964													0,0
1965													0,0
1966	11,7	17,1	3,3	9,7	10,4	25,7	5,9	15,4	8,9	2,9	2,0	1,8	114,8
1967	3,2	4,3	45,8	111,6	38,7	29,1	66,2	17,0	8,3	5,1	1,1	1,0	331,4
1968	0,8	0,4	2,9	30,4	18,2	9,2	30,4	20,1	7,7	9,2	7,5	0,8	137,6
1969	4,3	63,5	117,0	159,1	48,0	20,7	18,3	30,9	13,8	12,6	1,8	1,2	491,2
1970	0,9	2,5	1,3	4,1	13,5	3,8	9,4	16,7	5,1	1,3	2,5	0,6	61,7
1971	3,3	3,0	50,3	24,8	143,9	80,4	43,8	33,7	47,6	12,3	3,1	2,0	448,2
1972	14,1	8,7	2,3	38,3	67,1	121,4	80,0	56,3	15,1	6,9	1,8	1,0	413,0
1973	10,7	4,1	4,2	11,5	7,9	47,7	137,7	67,4	16,6	7,7	2,8	2,2	320,5
1974	2,4	4,9	11,0	5,3	4,4	24,8	36,0	12,3	11,1	2,0	0,9	0,6	115,7
1975	6,1	1,0	11,0	6,6	5,0	64,9	22,3	11,5	10,2	4,6	5,1	2,7	151,0
1976	5,2	6,6	7,6	11,4	10,4	6,9	3,0	5,5	3,7	1,8	0,6	1,3	64,0
1977	0,3	0,6	2,2	1,4	4,0	3,5	6,0	20,3	4,9	1,2	0,2	0,3	44,9
1978	0,2	3,0	3,5	3,2	7,6	23,9	67,9	11,1	3,3	4,2	0,4	0,1	128,4
1979	21,3	8,5	15,7	12,0	56,9	17,2	47,4	26,2	18,9	2,7	0,7	0,3	227,8
1980	1,8	0,8	2,1	36,8	17,7	17,0	8,5	7,1	3,2	6,9	2,2	2,9	107,0
1981	0,3	1,1	0,9	9,9	30,4	34,0	18,5	12,2	8,4	3,7	0,8	1,0	121,2
1982	1,1	6,0	19,8	36,8	12,4	7,7	6,5	4,6	2,5	1,0	3,7	0,6	102,7
1983	0,6	0,6	1,3	2,2	5,1	27,9	16,5	10,0	3,2	1,9	0,0	0,1	69,4
1984	0,3	13,1	1,1	17,7	12,5	8,2	32,0	6,0	4,5	0,6	0,8	1,4	98,2
1985	0,8	1,1	3,3	2,3	4,9	15,2	37,2	7,3	2,0	0,1	0,0	0,0	74,2
1986	0,0	5,1	2,8	3,9	22,0	88,8	24,0	7,8	2,3	1,4	0,6	0,1	158,8
1987	0,2	2,4	3,0	1,7	1,6	1,3	6,3	1,3	1,2	0,4	0,0	0,0	19,4
1988	0,1	0,0	0,3	40,8	6,1	4,8	5,2	5,0	9,4	2,5	2,3	2,0	78,5
1989	1,3	1,2	0,9	0,6	2,9	0,5	1,5	1,4	12,4	1,1	7,9	0,8	32,5
Moyenne	5,3	8,8	12,4	25,4	38,2	36,6	33,9	26,8	14,5	4,8	2,3	1,8	210,9

Tableau 1: Apports mensuels à Koudiat Acerdoune

2.2.4. Sédimentologie

Le volume des apports solides a été calculé à partir de prélèvements de sédiments effectués à la station de Pont de la Traille.

Le taux moyen d'érosion a ainsi été estimé à 1500 tonnes/km²/an.

Le volume du réservoir étant supérieur au triple des apports annuels en eau, la totalité des sédiments entrant dans le réservoir s'y déposeront. Ce qui a conduit à tabler sur un dépôt de sédiment de 4 Mm³/an dans la retenue, donc un volume mort de 200 Mm³ après 50 ans d'exploitation.

2.2.5. Détermination des débits de crue

La détermination des crues en fonction de leur période de retour a été réalisée par deux méthodes différentes :

- a) Une analyse fréquentielle des données disponibles à la station de Pont de la Traille, transposées au site du barrage ;
- b) Utilisation d'un modèle hydrologique de transformation pluie-ruissellement.

Les valeurs obtenues sont résumées ci-dessous :

Période de retour (années)	Q pointe (m ³ /s)	Volume crue (Mm ³)
20	1940	82
50	2470	117
100	2790	134
10000	8600	640

La crue maximale probable (CMP) est de 11300 m³/s pour un volume de 790 Mm³.

Les crues vingtenale et cinquentenale seront utilisées pour le dimensionnement des organes de dérivation et des batardeaux.

Pour les ouvrages définitifs, la crue utilisée pour leur dimensionnement sera celle qui a une période de retour de $T=10\ 000$ ans.

Les hydrogrammes de crues des périodes de retour 20 ans, 50 ans et 10000 ans et de la CMP sont représentés dans les figures 2 et 3 représentées ci-dessous.

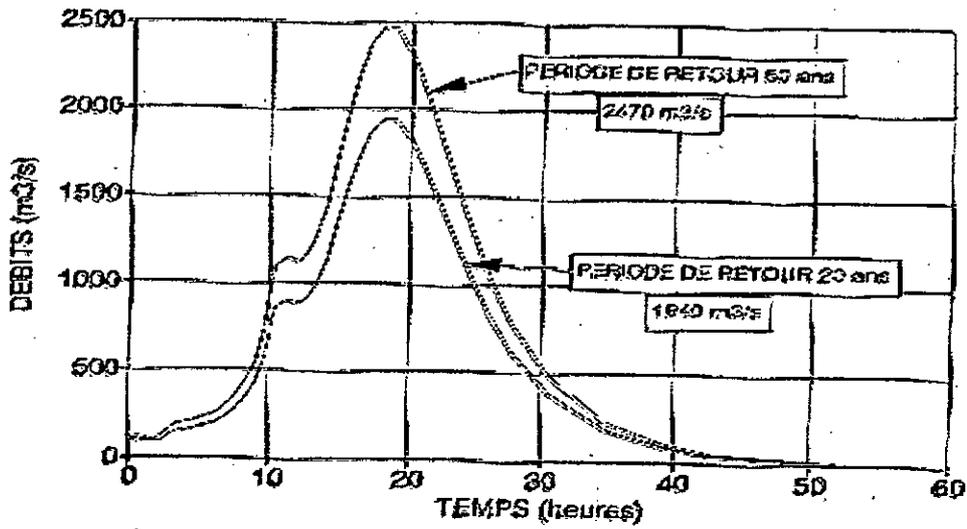


Figure 2: Hydrogrammes des crues de chantier

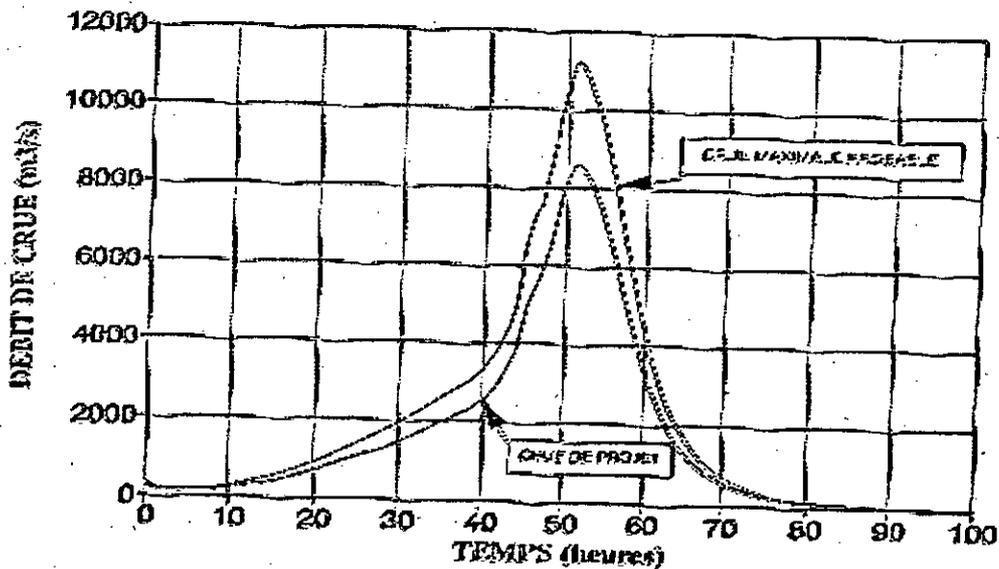


Figure 3: Hydrogrammes des Crues de projet et Maximum Probable

2.3 Matériaux de construction

Les matériaux disponibles sont essentiellement des alluvions de l'oued Isser. Il y a en tout cinq zones d'emprunt qui ont été étudiées mais qui ne seront pas forcément exploitées pour la fabrication des bétons :

2.3.1. Zone A :

Elle est située en rive gauche, à environ 1000 m à l'aval de l'axe du barrage, entre la cote 280 et 360 m.

Elle représente une surface exploitable de 170000 m² et un volume disponible d'environ 3000000 m³. Ce sont principalement des limons noirs ou jaunes parfois graveleux et des argiles parfois caillouteuses.

Les essais d'identification réalisés lors des campagnes de reconnaissances ont mis en évidence des matériaux qui sont du type CH et CL et qui ne conviennent pas pour la fabrication de granulats pour BCR et béton conventionnel.

2.3.2. Zone B :

Située à 800 m en aval de l'axe du barrage, entre les cotes 220 et 250 m, elle contient des dépôts alluviaux en terrasse récente dans une surface exploitable de 250000 m².

Ce sont principalement des limons argileux et sableux de couleur brune ayant 5 m d'épaisseur moyenne et une couche graveleuse sous-jacente d'épaisseur inconnue.

Les essais d'identification ont révélé des matériaux de type CL et quelques CH et SC-SM ne convenant pas à la fabrication de granulats pour béton conventionnel et BCR.

2.3.3. Zone C :

Située en rive droite à environ 2000 m en aval de l'axe du barrage entre les cotes 215 et 250 m, elle est composée d'environ 270000 m³ de matériaux argileux à l'Ouest et 280000 m³ de limons sablo-argileux avec des éléments grossiers à l'Est.

Les essais réalisés pendant les campagnes de reconnaissance ont révélé la présence d'argiles brunes et sables avec des galets de calcaire ou schiste. Ces matériaux présentent des caractères trop argileux pour convenir à la fabrication de granulats pour BCR et béton conventionnel.

2.3.4. Zones D1 et D2 :

Deux zones d'environ 1000000 m² d'alluvions récentes. La zone D1 est située en amont de l'axe du barrage avec une surface exploitable de 800000 m² et la zone D2 en aval avec une surface de 200000 de surface exploitable.

Dans la même zone, on trouve également la basse terrasse, qui bordé l'appui de la rive gauche du barrage constituée par des limons argilo-sableux et sablo-graveleux, reposant sur une couche de galets.

On aura donc un volume de 2700000 m³ pour la zone D1 et de 8 000 pour la zone D2 donc un volume total de 3.5 millions de m³.

D'après les analyses granulométriques, on classe les matériaux dans les catégories suivantes : GP, GW, GM, SP, SM-SC, SM, CL, CH.

La prédominance de matériaux grossiers dans cette zone permet l'utilisation de ces derniers pour la fabrication de granulats pour le BCR et le béton conventionnel recherchés.

2.3.5. Zone 1 et 2 :

Ces zones sont situées à 800 m à l'amont de l'axe du barrage en rive droite et rive gauche, entre les cotes 225 m et 275 m. Elles sont surtout constituées d'argiles brunes avec des fragments de schistes. Les matériaux, d'un volume de 1000000 m³, ne conviennent pas pour la fabrication du BCR et du béton conventionnel.

2 Caractéristiques de l'ouvrage

3.1. Barrage poids en BCR

3.1.1. Dimensions de l'ouvrage

Le barrage a une hauteur maximale sur fondation de 121 m et une longueur en crête de 440 m.

La crête du barrage, d'une largeur de 8 m, est arasée à la cote 321 m soit 1,3 m au-dessus des plus hautes eaux. Un parapet en béton haut de 1,3 m placé en amont du couronnement, conduit à une revanche totale de 2,60 m.

Le profil du barrage est le suivant:

- parement amont incliné à 0,4 H pour 1 V
- parement aval incliné à 0,5 H pour 1 V

En section courante, le parement amont du couronnement est vertical depuis la crête jusqu'à la cote 299,76.

Sous l'emprise du barrage, les excavations atteindront en moyenne 10 à 15 m en fond de vallée et en rive droite et 15 à 20 m en rive gauche.

3.1.2. Pont route

Il surmonte la crête du déversoir. Constitué de 7 travées égales de 20,60 m de portée. Formé par des poutres préfabriquées en béton précontraint, reliées par une dalle coulée sur place en béton armé.

Les piles de support ont une épaisseur maximale de 2 m et une longueur de 6,60 m.

Elles ont une hauteur moyenne de 10 m et sont ancrées à la base dans le bloc de crête du déversoir.

3.1.3. Galeries intérieures et en rocher

Quatre niveaux de galeries permettront, pendant les travaux, la réalisation et le contrôle des opérations d'injection et de drainage.

Ces galeries permettront également, en service: de collecter les eaux de drainage provenant du corps du barrage, de la fondation et des versants, de contrôler le comportement de l'ouvrage, par observation directe et au moyen des instruments d'auscultation et d'effectuer les opérations de maintenance et de réparation éventuellement nécessaires.

Les galeries sont situées à proximité du parement amont du barrage. Elles sont calées respectivement aux côtes 202.00 (niveau minimum) ; 232.20 ; 258.60 et 285.00.

3.1.4. Évacuateur de crues (cf. Annexe I – Plan AH0408)

La crue de projet retenue est la crue de période de retour $T=10000$ ans dont le débit de pointe à l'entrée de la retenue est de $8600 \text{ m}^3/\text{s}$. Le débit sortant laminé est de $7000 \text{ m}^3/\text{s}$. La totalité de la crue de projet est évacuée par un évacuateur de crue de surface à seuil libre d'une longueur utile de 136 m répartie sur 7 passes de 18.5 m séparées par des piles de 2 m de large (cf. Figure 4).

Le seuil, calé à la cote 311 m, est prolongé par un coursier raccordé à un saut de ski calé au-dessus du niveau des plus hautes eaux.

A l'aval du saut de ski, le parement du barrage également en béton conventionnel est relié dans sa partie basse à un radier en béton armé d'une longueur de 25 m. Ce radier évite l'affouillement du pied aval du barrage lors de la circulation de courants de retour provenant de l'aval en cas de débit important et également lors de passage des faibles débits transitant sur l'évacuateur.

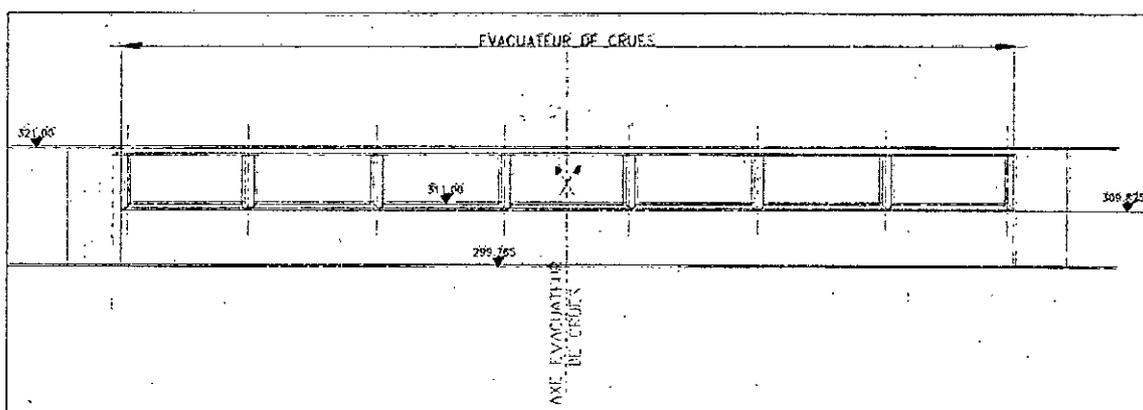


Figure 4: Vue amont de l'évacuateur de crues

3.1.4. Dérivation provisoire, vidange de fond, prise d'eau

Ces ouvrages sont regroupés en un seul ensemble. Durant les travaux, la dérivation de l'oued est assurée par deux pertuis en béton armé réalisés à ciel ouvert au pied de la rive gauche. Ces deux pertuis seront obturés après l'achèvement du barrage. L'un des deux pertuis sera équipé en vidange de fond tandis que l'autre servira au passage des conduites de prise d'eau et pour l'accès aux vannes de vidange de fond et de la prise d'eau.

L'ouvrage de vidange de fond s'appuie sur le parement amont du barrage, à l'aplomb du second pertuis.

3.2. Dispositif d'injection et de drainage(cf. Annexe I – Plan AH0421)

3.2.1. Injections

- Écran d'étanchéité

Il est prévu de réaliser sous le pied amont du barrage un voile d'étanchéité multifilaire (en principe trois files). Le voile descendra jusqu'à la cote 120,00 dans la partie centrale du barrage (ce qui correspond à des forages de 80 à 100 m à partir de la galerie de pied). Sur les rives, la profondeur des forages se réduit proportionnellement à la hauteur du barrage, jusqu'à un minimum de 40 m environ. La longueur du voile au large sera de l'ordre de 50 m.

Les forages d'injection seront en principe verticaux. Cependant, vu l'inclinaison du parement amont du barrage, le voile d'étanchéité dans son ensemble ne sera pas dans un même plan.

- Injections de consolidation de la fondation

Nécessaires sur toute la surface de la fondation, les injections de consolidation seront effectuées jusqu'à une profondeur de 15 m au maximum.

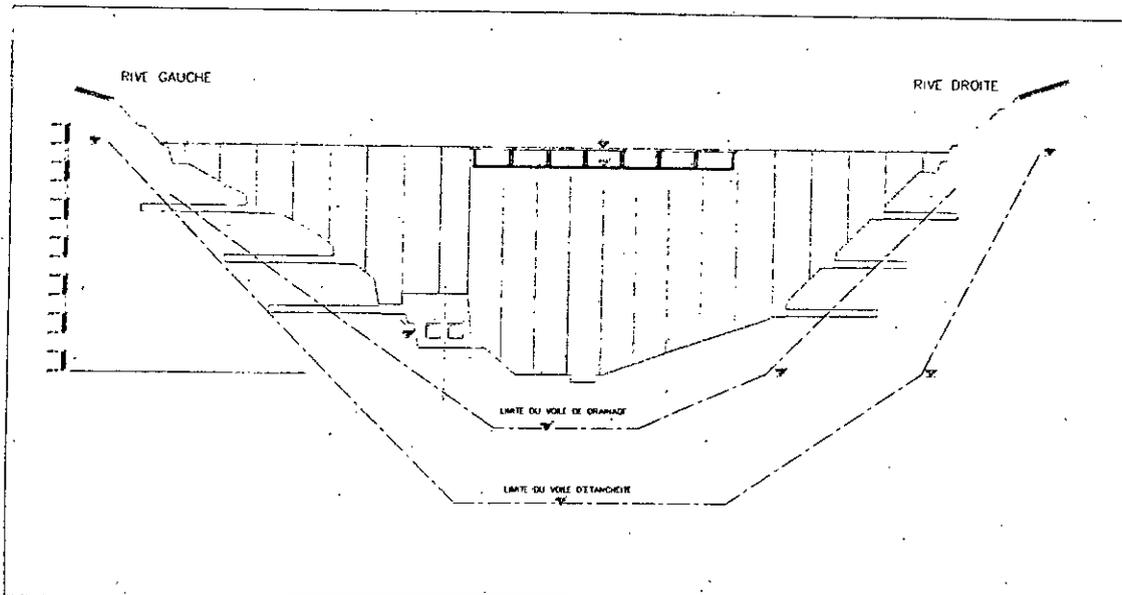


Figure 5: Voiles d'étanchéité et de drainage

3.2.2. Drainage

• Fondation et versants

Un réseau de forages drainants, d'une profondeur maximum de 30 m, sera réalisé à partir de la galerie de pied amont et des galeries en rocher. Les forages sont légèrement inclinés vers l'aval et ont un diamètre de 125 mm.

• Corps du barrage

Le corps du barrage est drainé au moyen d'un écran de drainage constitué par des forages réalisés dans le BCR sur toute la hauteur du barrage et reliant les divers niveaux de galeries.

Les forages ont un diamètre de 96 mm et sont espacés de 3 m. Ils sont réalisés:

- à partir de la crête jusqu'au niveau de la galerie de drainage supérieure. Les forages sont verticaux et à une distance de 4 m du parement amont en partie supérieure.
- à partir de chaque galerie vers la galerie immédiatement inférieure. Ces forages sont inclinés et parallèles au parement amont dont ils sont distants de 7 m environ.

Entre chaque paire de waterstops destinés à assurer l'étanchéité des joints de contraction du parement amont est placé un drain qui débouche également en crête du barrage et dans les galeries de drainage.

Ces drains sont constitués d'une réservation de 150 mm de diamètre, aménagée dans le béton au fur et à mesure de la construction du parement.

Ils permettront de tester l'efficacité des waterstops à la mise en eau du barrage. En cas de défaillance de l'un d'eux, ils draineront les joints défectueux et permettront une éventuelle intervention pour rétablir l'étanchéité du parement.

L'interface BCR-BCV de l'évacuateur de crue sera drainée par la mise en place d'un système de buses collectant les eaux d'infiltration éventuelles.

3.3 Dispositif d'auscultation (cf. Annexe I – Plan AH0418)

L'auscultation d'un barrage a pour objet de contrôler le comportement de ce dernier sous l'effet des différentes sollicitations qui interviennent au cours de sa réalisation et tout au long de son exploitation. Le dispositif d'auscultation d'un barrage en BCR est identique à celui d'un barrage en béton classique.

L'auscultation du barrage de Koudiat Acerdoune comprendra les contrôles suivants :

- Mesure des débits d'infiltration et des sous-pressions ;
- Mesure des déplacements absolus du barrage ;
- Mesure des déplacements relatifs des plots de BCR ;
- Mesure du niveau piézométrique dans la fondation du barrage ;
- Contrôle des températures dans le corps du barrage ;
- Mesure du niveau du réservoir ;
- Observations sismiques ;
- Relevés météorologiques.

3.3.1 Mesure des débits d'infiltration et des sous-pressions

Pour mesurer les débits d'infiltration, 25 déversoirs calibrés seront installés dans les caniveaux aménagés dans les galeries. La mesure des sous-pressions sera assurée par 25

points de branchement de manomètres sur les forages débouchant dans les galeries intérieures et en rocher.

3.3.2 Mesure des déplacements absolus du barrage

La mesure des déplacements absolus du barrage sera essentiellement assurée par quatre pendules directs et quatre pendules inversés, placés dans le corps du barrage. Elle sera aussi assurée par le suivi topographique de plots de nivellement installés sur la crête et des cocardes installées sur le parement aval du barrage.

3.3.3 Mesure des déplacements relatifs des plots de BCR

Les déplacements relatifs des plots de BCR de part et d'autre des joints de contraction seront mesurés à l'aide de déformètres, placés en 70 points distribués en crête du barrage.

3.3.4 Mesure du niveau piézométrique dans la fondation du barrage

Pour la mesure du niveau piézométrique dans la fondation du barrage, deux types de piézomètres sont prévus. Les piézomètres aveugles placés au fond des forages et les piézomètres directs.

3.3.5 Contrôle de la température dans le corps du barrage

Dans le but de contrôler l'évolution des températures dans le corps du barrage en BCR pendant sa construction, un ensemble de 130 thermomètres seront distribués à intervalles réguliers dans le corps du barrage.

3.3.6 Mesure du niveau du réservoir

En vue d'une lecture directe du niveau d'eau dans le barrage, une échelle limnimétrique sera installée sur la tour de prise.

3.3.7 Observations sismiques

Une station d'observation sismique est prévue en rive gauche, elle sera installée dans le prolongement de l'axe du barrage. Cette station permettra l'enregistrement automatique des éventuels séismes tout en mesurant leurs amplitudes et leurs fréquences de vibration.

3.3.8 Relevés météorologiques

Une installation météorologique est prévue, dans le but d'effectuer les différents relevés tel que : la vitesse du vent, les précipitations, l'humidité, l'évaporation...etc.

4. Justification du type de barrage adopté

Les progrès réalisés dans la technique du béton compacté au rouleau durant la dernière décennie a permis d'envisager la réalisation d'un barrage en BCR à Koudiat Acerdoune à la place d'une solution enrochement initialement prévue.

4.1. Types de BCR pour les barrages

On peut distinguer trois types principaux de BCR :

- Le barrage en BCR pauvre en pâte (<100 kg/m³) ;
- Le barrage en BCR de moyenne teneur en pâte (De 100 à 150 kg/m³);
- Le barrage en BCR riche en liant utilisé pour les grands barrages (>150 kg/m³).

4.2. Caractéristiques techniques majeures de la solution BCR

La solution en béton compacté au rouleau présente les avantages suivants :

- La possibilité de regrouper dans le barrage tous les ouvrages annexes, contrairement aux barrages en enrochement ;
- En particulier pour l'évacuateur de crues, l'économie d'un ouvrage séparé d'une grande ampleur comportant un grand volume d'excavation ;
- Une certaine indépendance par rapport aux saisons et aux aléas hydrologiques : une submersion éventuelle du chantier par une crue imprévue au aurait des conséquences limitées ;
- Un délai de réalisation particulièrement court, caractéristique de la technique BCR ;
- Une extension limitée du chantier car les granulats pour béton seront extraits des alluvions de l'oued à proximité du site.

4.3. Comparaison des deux solutions BCR/Enrochement

Il y a au départ un avantage marqué pour la solution BCR en ce qui concerne des délais global de réalisation, qui est de 50 mois pour la solution enrochement et de 35 mois pour la solution BCR.

Pour la solution barrage en enrochement, il y a une forte dépendance des travaux par rapport aux saisons où il faut maintenir une brèche dans le corps du barrage pour l'évacuation des crues. Par contre, pour la solution barrage en BCR, sa réalisation en béton est plus souple, ce qui permet l'évacuation des crues avec une plus grande sécurité puisque le parement amont est réalisé au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

La maîtrise des délais de réalisation pour le barrage en BCR est plus facile, parce qu'une fois entamé, le bétonnage pourra se poursuivre sans interruption. Quant à la solution enrochement, la dépendance par rapport aux saisons risquait d'entraîner un retard d'une année sur les délais de réalisation prévus.

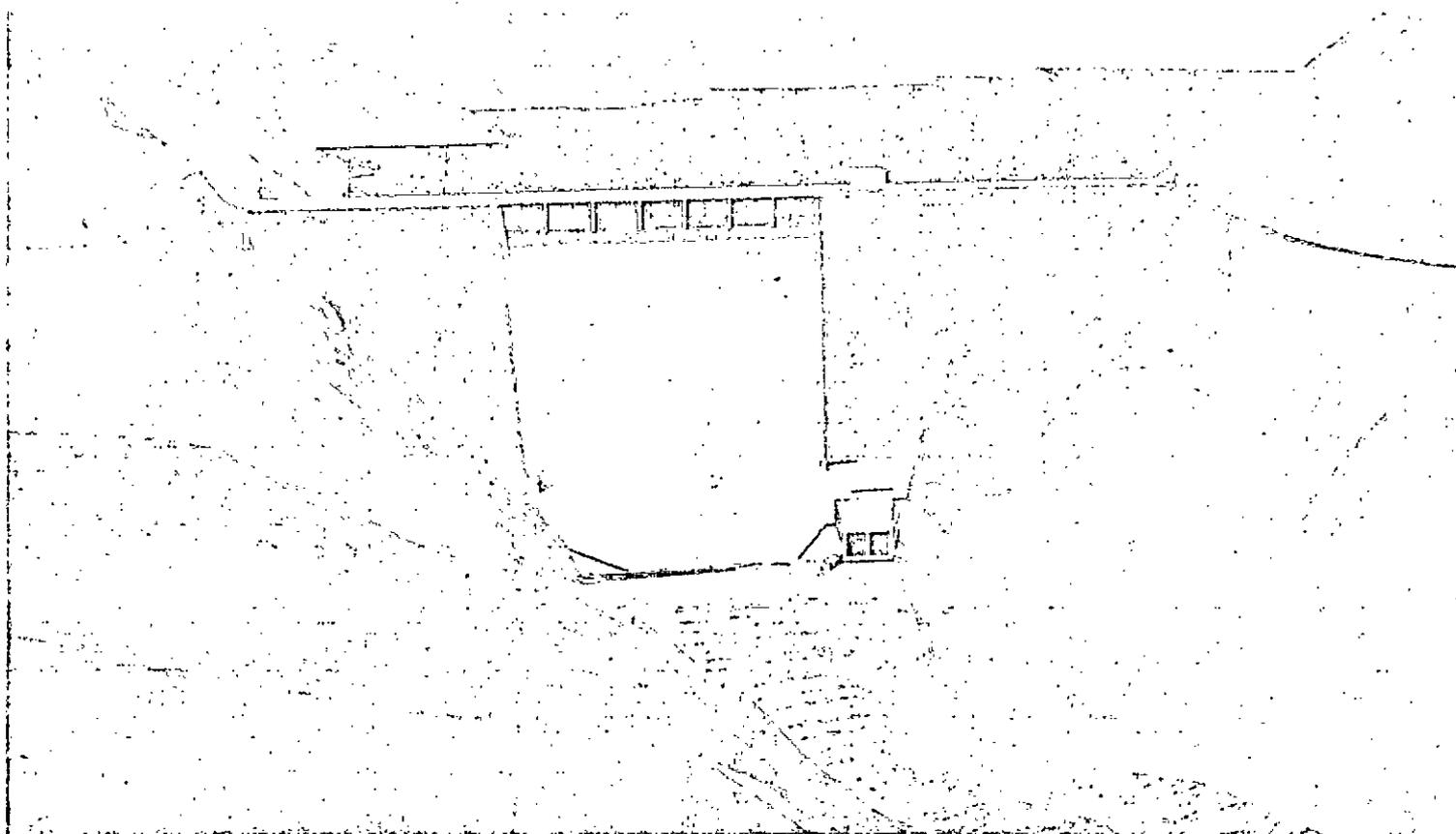
En plus de la différence des délais globaux d'exécution, l'utilisation d'une grande quantité d'explosifs pour la réalisation d'un barrage en enrochements était une réelle contrainte. L'exploitation des enrochements nécessitait environ 2500 tonnes d'explosifs pour la solution enrochements. Par contre, la solution BCR n'exige qu'environ 25 tonnes d'explosifs car les agrégats pour la formulation du BCR proviennent du traitement d'alluvions de l'oued. Donc une économie de 90% de la quantité nécessaire pour le barrage en enrochements. Ce qui est préférable, étant donnée la situation sécuritaire en Algérie, l'approvisionnement en explosifs aurait rencontré des problèmes.

L'un des autres avantages de la solution BCR est de pouvoir concentrer dans une structure unique en béton l'ensemble des fonctions qui devaient, dans la solution en enrochements, être réparties entre les différents ouvrages annexes. L'évacuateur de crues est situé sur le barrage ; la dérivation de la rivière est plus courte et la tour de prise construite sur le parement amont, ce qui rend le barrage moins sensible aux charges sismiques.

Toutes ces considérations ont amené à choisir un barrage en BCR plutôt qu'en enrochement pour le projet de Koudiat Acerdoune.

CHAPITRE II

LE MATERIAU BCR



1 Historique

Avant la seconde guerre mondiale et dans la période qui a suivi, presque la moitié des barrages construits dans le monde étaient des barrages en béton conventionnel.

La méthode traditionnelle de construction des barrages poids classique repose sur le bétonnage d'une série de plots séparés par des joints de retrait (contraction). Cette méthode présente l'avantage d'éviter les fissures d'origine thermique, par contre, le matériel compliqué nécessaire au refroidissement par tuyaux et aux injections des joints la rendent moins économique que la méthode traditionnelle de construction des barrages en remblai. Un autre inconvénient des barrages en béton est la faible mécanisation du travail, contrairement à la construction des barrages en remblai, ce qui demande beaucoup plus d'heure de main d'œuvre.

Quant aux barrages en remblai, ils présentent inconvénients liés à leur structure, par rapport aux barrages en béton, le principal étant le manque de résistance de leurs matériaux aux déversement de l'ouvrage.

Entre 1961 et 1970, seuls 23% des barrages construits l'ont été en béton . Ceci est dû essentiellement aux progrès enregistrés en mécanique des sols et en matière d'engins de terrassement et de la construction de barrages sur des sites où les conditions de fondations sont peu favorables.

A partir des années 1960, les spécialistes de différents pays ont imaginé des procédés qui permettaient des économies substantielles. L'idée d'utiliser des rouleaux vibrants lourds, avec une énergie beaucoup plus élevée que celle des aiguilles vibrantes traditionnelles, est à la base de la venue au monde du béton compacté au rouleau (BCR).

La première réalisation d'un barrage en béton compacté au rouleau a été réalisée au Japon, en 1980, au barrage de Shimajigawa où 317000 m³ de béton ont été mis en place et compactés. Ce barrage présentait un béton de même qualité que celle des barrages en béton, d'importantes économies ainsi qu'une exécution des travaux plus rapide.

Récemment, dans divers pays, de nombreux barrages en béton compacté au rouleau ont été construits, car comparés aux deux types de barrages cités précédemment, les barrages en BCR ont à la fois les avantages de la construction rapide et économique des barrages en remblai et les qualités liées à la structure des barrages en béton classique.

L'intérêt porté aux barrages en BCR a augmenté pour plusieurs raisons, la plus importante étant la construction rapide et économique. Vue l'augmentation du coût de construction des barrages en béton par rapport aux barrages en remblai, des études sur le béton compacté au rouleau ont été effectuées ce qui a conduit à un matériau qui permet d'avoir un béton de bonne qualité avec les avantages de construction de ceux en remblai. L'évolution de la technique du BCR au cours des quinze dernières années permet la réalisation d'ouvrages de grande hauteur (supérieure à 100 m) tout en garantissant une étanchéité et stabilité semblables à celles des barrages en béton classique.

Quelques barrages en BCR sont cités dans le Tableau 1 avec des fiches récapitulatives de quelques barrages en BCR en Annexe III.

Nom du barrage	Pays	Hauteur (m)	Année d'achèvement
<i>Shimajigawa</i>	Japon	89	1980
<i>Willow Creek</i>	USA	52	1982
<i>Winchester</i>	USA	21	1984
<i>Galesville</i>	USA	38	1985
<i>Zaaihock</i>	Afrique du Sud	50	1986
<i>Upper stillwater</i>	USA	87	1987
<i>Olivette</i>	France	35	1988
<i>Elk Creek</i>	USA	76	1988
<i>Panjiakou</i>	Chine	25	1989
<i>Asahi Ogawa</i>	Japon	84	1989
<i>Hervas</i>	Espagne	33	1990
<i>Aoulouz</i>	Maroc	79	1990
<i>Shiromizugawa</i>	Japon	55	1990
<i>La Puebla de Cazella</i>	Espagne	74	1991
<i>Riou</i>	France	22	1991
<i>Trigomil</i>	Mexique	100	1992
<i>Sahigawa</i>	Japon	104	1992
<i>Yantan</i>	Chine	111	1992
<i>Sakaigawa</i>	Japon	115	1992
<i>Petit Saut</i>	France	47	1993
<i>Cenza</i>	Espagne	49	1993
<i>Kodama</i>	Japon	102	1993

<i>Aeava</i>	Brésil	79	1994
<i>Shanzai</i>	Chine	65	1994
<i>Chiya</i>	Japon	98	1995
<i>Satsunaigawa</i>	Japon	114	1995
<i>Pangue</i>	Chili	113	1996
<i>Hiyochi</i>	Japon	70	1996
<i>Wangyao</i>	Chine	83	1997
<i>Kazunogawa</i>	Japon	105	1997
<i>Bouhada</i>	Maroc	60	1998
<i>Gassan</i>	Japon	123	1998
<i>Bab Louta</i>	Maroc	54	1999
<i>Jiangya</i>	Chine	131	1999
<i>Beni Haroun</i>	Algérie	106	2000
<i>Origawa</i>	Japon	114	2000
<i>Porce</i>	Colombie	123	2000
<i>R'Mil</i>	Tunisie	18	2001
<i>Shapan</i>	Chine	129	2001
<i>Tannur</i>	Jordanie	60	2001
<i>Mae Suai</i>	Thaïlande	59	2002
<i>Bureiskaya</i>	Russie	136	2002
<i>Sidi Said</i>	Maroc	120	2002
<i>Raclo</i>	Chili	150	2003
<i>Takizawa</i>	Japon	140	2003
<i>Tha Dan</i>	Thaïlande	95	2003

Tableau 1: Quelques barrages en BCR

A ce jour, plus de 250 barrages en BCR ont été construits ou sont en cours de construction dans le monde.

2 Le matériau BCR

Par rapport au béton classique, le BCR a une consistance, une granulométrie et un dosage en liant qui lui permettent de supporter le passage d'un rouleau vibrant au cours de son compactage. Constitué de différentes classes de granulats, faiblement dosé en liant (par rapport au béton conventionnel) avec une teneur en eau qui dépend de la granulométrie et du volume de liant ; le BCR doit être choisi de sorte à ce que l'ouvrage soit stable et étanche.

2.1. Généralités sur les constituants du BCR

➤ Les granulats

Le facteur le plus important à considérer lors du choix de la forme et provenance des gros granulats est la ségrégation. Les BCR à faible teneur en liant ont une plus forte tendance à la ségrégation car un fort dosage en liant permet d'obtenir un mélange cohérent qui ne ségrège pas. Le bon choix du diamètre maximum (D_{max}) des granulats permet aussi d'éviter ce problème. En général, plus la dimension maximale est faible, moins il y aura de ségrégation. Il a aussi été constaté que les granulats concassés réduisaient la tendance à la ségrégation comparés aux granulats roulés.

Dans les barrages en BCR déjà réalisés, les D_{max} varient entre 40 et 150 mm mais les granulats les plus utilisés ont un D_{max} compris entre 40 et 63 mm.

Des granulats fins sont indispensables pour remplir les vides inter granulaires. Leur granulométrie influe sur le dosage en eau et en liant nécessaires pour obtenir une meilleure mise en œuvre du BCR. Elle influe aussi sur le nombre de passes minimal du rouleau vibrant nécessaire à la bonne consolidation d'une couche de BCR. Généralement la teneur en granulats fins est diminuée avec l'augmentation du D_{max} .

➤ Les liants

Le choix des liants (Ciment + Laitier ou Pouzzolanes) se base sur leur faible exothermie. Ils doivent rester stables en présence de l'eau de la retenue. La compatibilité des ciments avec les éléments fins, rajoutés ou contenus dans les granulats, doit être soigneusement étudiée.

Les ciments utilisés doivent être à faible chaleur d'hydratation par rapport au ciment Portland ordinaire. Les liants les plus utilisés dans les barrages en BCR sont soit les ciments ASTM Type II (Ciment à faible chaleur d'hydratation), Type IP (Ciment Portland + pouzzolanes) ou Type IS (Ciment Portland + Laitier de haut fourneaux). L'évolution des résistances pour ces liants à faible chaleur d'hydratation est généralement plus faible que pour le ciment Portland aux jeunes ages. Elles sont plus élevées aux ages plus avancés.

Pour diminuer la teneur en liant et réduire la chaleur d'hydratation, des éléments fins sont introduits. Ces éléments sont généralement des cendres volantes à faible teneur en chaux surtout quand leur proportion dans le liant est importante.

➤ Les pouzzolanes

L'introduction d'éléments fins surtout s'il sont de nature pouzzolanique, permet de diminuer la teneur en ciment et d'augmenter le volume de pâte intergranulaire.

L'excès de fines après que les vides intergranulaires soient remplis peut baisser la maniabilité du BCR car la demande en eau augmente et la résistance diminue. C'est pour cette raison que la nature des fines doit être bien choisie, par exemple, des fines argileuses peuvent conduire à un mélange collant, difficile à malaxer et à compacter. Généralement, les fines utilisées sont des cendres volantes vue leur forme sphérique qui donne à la pâte une grande plasticité et permet de réduire la teneur en eau du mélange. Ces cendres volantes permettent aussi la diminution de la chaleur d'hydratation car en les introduisant, on diminue le dosage en ciment.

➤ Eau de gâchage

La teneur en eau influe sur la résistance en compression du béton, car s'il n'y a pas assez d'eau, il n'y aura pas assez de pâte pour combler les vides intergranulaires. Si le volume de pâte est trop faible, l'air restera occlus et réduira la résistance en compression du BCR. S'il y a un excès de pâte, ceci peut augmenter la résistance et la maniabilité du BCR donc un coût de production trop élevé. Le dosage en eau est donc choisi de sorte à avoir la densité maximale durant le compactage. En résumé la quantité d'eau optimale est celle qui correspond à un volume de pâte qui comble les vides sous un effort de compactage donné.

2.2. Choix des dosages

Le choix idéal de la composition d'un BCR repose sur la détermination de la formulation la moins coûteuse qui permettent de respecter les prescriptions techniques relatives à la résistance, la densité et la perméabilité du matériau. Le BCR nécessite un mélange qui ne se tasse pas de façon excessive sous l'effet des rouleaux vibrants, avec un volume de pâte et une granulométrie permettant une consolidation satisfaisante.

➤ Résistance mécanique

Mesurée sur des éprouvettes cylindriques ou cubiques, la résistance à la compression du BCR dépend de la qualité et la granulométrie des granulats, du dosage en liant et en eau et du degré de compactage. Cette résistance de projet est exigée par les prescriptions techniques, déterminée sur la base des contraintes de compression, de traction, de cisaillement et des conditions de charge.

La formulation du BCR se fera de façon à obtenir une marge sur cette dernière. La résistance en compression est considérée comme étant le meilleur moyen de mesurer la qualité et l'uniformité du BCR.

➤ Densité

La densité est définie comme masse par volume de l'unité et est déterminée d'après. La densité du BCR dépend de l'origine des matériaux et de la densité globale et le degré de compactage. Les valeurs typiques de densité pour un barrage en BCR varient de 2.3 à 2.4 t/m³. Le manque d'air occlus et la quantité d'eau inférieure dans le BCR résulte en une légère plus haute densité quand comparé au béton conventionnel composé des même agrégats.

Pour quelques projets dans les régions sismiques, la densité joue un rôle considérable dans dessin structurel et sur coût.

➤ Perméabilité

L'une des principales préoccupations d'un projeteur de barrages est de garantir une bonne étanchéité de l'ouvrage. Le facteur qui définit la perméabilité globale in-situ d'un BCR, qui varie entre 10^{-6} et 10^{-10} m/s, est son dosage en liant. Lorsque le masque d'étanchéité est mis en place sur le parement amont, pour réduire les percolations à travers le BCR, le problème de l'étanchéité ne se pose pas même si le BCR est à faible dosage en ciment.

Le point faible d'un barrage BCR du point de vue étanchéité se trouve au niveau des joints de reprise, un traitement spécial doit être appliqué à ces-dernières. Ces traitements de reprises seront cités plus loin.

➤ Maniabilité

La maniabilité d'un BCR est différente de celle d'un béton classique. Le béton frais doit être suffisamment sec pour que le matériel lourd puisse se déplacer sans difficultés, mais il doit avoir une maniabilité suffisante de sorte que la pâte de ciment puisse remplir les vides intergranulaires et que le béton puisse être correctement compacté.

Cette maniabilité est contrôlée en mesurant le temps que met la pâte de ciment pour venir à la surface dans l'essai VeBe sur table vibrante. Elle est très influencée par la teneur en pâte du mélange et la teneur en granulats fins.

Les BCR de maniabilité convenable, permettant d'assurer un bon compactage et une bonne liaison entre couches, ont généralement un temps VeBe compris entre 5 et 30 secondes.

3 Formulation d'un BCR pour le barrage de Koudiat Acerdoune

Durant la phase d'avant projet des de nombreuses formulations de BCR ont été étudiées au laboratoire du chantier.

Le BCR du barrage de Koudiat Acerdoune sera composé de 3 classes granulaires d'une dimension maximale de 50 mm, d'un ciment à faible chaleur d'hydratation (ASTM Type II) et de cendres volantes provenant de la centrale thermique de Spezia en Italie. Les courbes granulométriques devront avoir un aspect régulier prouvant la présence de toutes tailles de granulats, pour cela l'ajout de fines sera nécessaire.

Le but de ces formulations préliminaires est d'identifier des matériaux rentrant dans la composition du BCR. Comme pour un béton conventionnel les paramètres tels que la densité, l'absorption, la granulométrie des différentes classes de granulats sont essentiels à l'élaboration d'une formule. L'identification des liants (ciment et cendres volantes) est également nécessaire, ne serait-ce que pour respecter les prescriptions techniques du marché.

Ces essais en laboratoire ont pour but :

- de former le personnel du laboratoire aux essais relatifs au contrôle du BCR ;
- de tester les modes opératoires ;

- d'avoir une idée de la maniabilité et des résistances que l'on peut espérer obtenir avec les granulats du site et l'ajout d'un sable fillérisé extérieur ;
- d'apprécier l'évolution granulométrique du futur BCR sous différentes procédures d'essai ;
- de juger de la variation du rapport ciment/cendres volantes sur les caractéristiques mécaniques du BCR (traction par fendage et compression simple).

3.1 Composition granulométrique du BCR

Le BCR étudié lors des études préliminaires de formulation est composé des fractions granulométriques suivantes :

- Fine argileuses naturelles du site ;
- Sable fillérisé 0/2 ;
- Sable 0/5 ;
- Gravillon 5/20 ;
- Gravillon 20/50 ;

Ces études de formulation tentent de définir un dosage optimum du BCR qui permette d'obtenir la résistance en compression prescrite dans le marché tout en garantissant une bonne maniabilité pour une mise en place aisée. Le BCR du barrage de Koudiat Acerdoune, contiendra une forte proportion en granulats, 86% du volume total du matériau, et un faible dosage en liant, 170 kg/m³.

Les pourcentages de chaque fraction sont les suivants :

Formule avec filler calcaire		Formule avec fines argileuses	
Sable fillérisé 0/2	11,40 %	Fines argileuses	5,60 %
Sable 0/5	30,40 %	Sable 0/5	37,10 %
Gravillon 5/20	30,40 %	Gravillon 5/20	29,10 %
Gravillon 20/50	27,90 %	Gravillon 20/50	28,20 %

3.2 Résultats des essais en laboratoire

Les caractéristiques mécaniques demandées sont très élevées par rapport aux barrages BCR existants. Ces caractéristiques obligent à avoir une approche du BCR comme un béton conventionnel.

Des essais de maniabilité et de résistance ont été réalisés sur des BCR, la maniabilité visée a été fixée entre 18 et 20 secondes (Temps VeBe) en partant du principe qu'il faut minimiser la ségrégation. L'essai VeBe (cf. Figure 1) a pour objectif de définir la maniabilité et la densité d'un échantillon de BCR. Le temps VeBe est défini comme le temps écoulé entre le début de la vibration et l'instant où la laitance remplit totalement l'espace annulaire entre le bord du disque et le bord du moule.

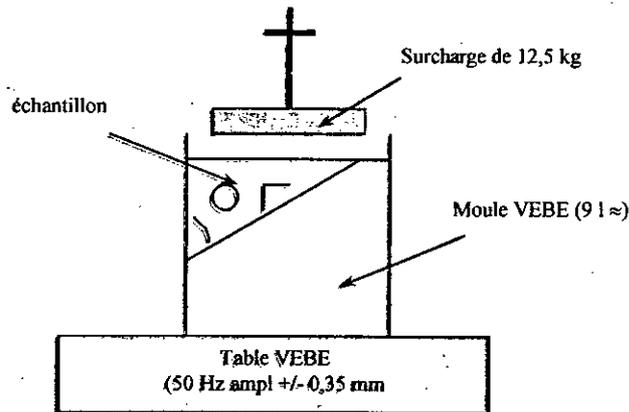


Figure 1: Essai VeBe

Les BCR testés sont dosés à 170 kg/m^3 de liant avec différentes proportions de ciment et de cendres volantes. Le dosage en eau pour les formules avec les fines argileuses augmente par rapport à celui des formules avec filler calcaire. Les différentes formulations étudiées sont représentées dans le Tableau 2.

Les résultats des essais VeBe montrent que les BCR contenant un filler calcaire conservent longtemps une maniabilité à peu près constante, ce qui est représenté un gain de temps au niveau du chantier au moment de la mise en œuvre.

Dosage		Filler	Eff liant	teneur en eau totale	teneur en eau efficace	Eau absorbée (L/m ³)	Temps VeBe moyen	Densité VeBe moyenne
Ciment	Cendres Volantes							
110	60	filler calcaire	0,79	8,0%	6,1%	43,7	21	2,38
90	80	filler calcaire	0,79	8,1%	6,1%	43,5	16	2,38
70	100	filler calcaire	0,79	8,1%	6,1%	43,4	19	2,36
70	100	fines argileuses	0,9	9,3%	7,1%	46,2	18	2,32
110	60	fines argileuses	0,9	9,2%	7,1%	46,5	17	2,35
90	80	fines argileuses	0,87	9,0%	6,8%	46,7	18	2,36

Tableau 2: Formulations de BCR étudiées

Quant aux essais de résistance, ils ont révélé une difficulté à obtenir les résistances contractuelles avec les dosages prescrits qui sont de 11 MPa à 28 jours et de 19 MPa à 90 jours. Les résistances obtenues par écrasement des éprouvettes de BCR sont représentées dans le Tableau 3.

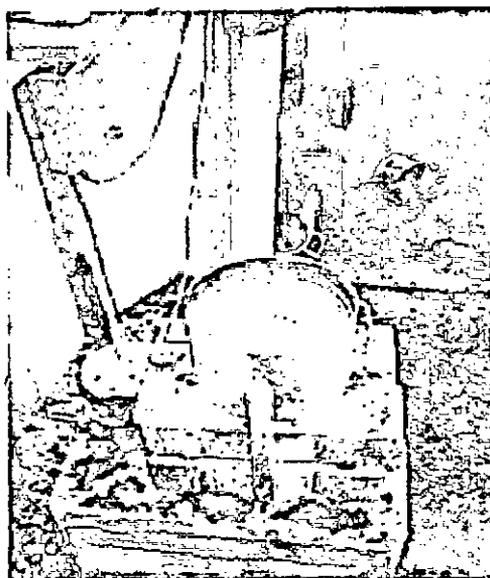
Dosage (kg/m ³)	cencre	60	80	100	60	80	100
	ciment	110	90	70	110	90	70
fillers calcaire		oui	oui	oui	non	non	non
Fines argileuses		non	non	non	oui	oui	oui
Eff/liant		0,79	0,79	0,79	0,9	0,87	0,9
Résistance à 14 jours (MPa)	traction	1	0,5	-	-	-	-
	compression	7,9	5,1	3,5	4,6	3,5	2,7
Résistance à 28 jours (MPa) (table vibrante)	traction	1	0,9	-	-	0,8	-
	compression	10,1	6,6	4,6	3,9	6,4	4,5
Résistance à 28 jours (MPa) (marteau kangoo)	traction	-	0,8	-	-	-	-
	compression	-	6,3	-	-	4,5	-
Résistance à 50 jours (MPa)	traction	1,6	1,1	0,8	-	0,5	0,7
	compression	12,1	7,8	6,8	5,1	7,4	6,4

Tableau 3: Résultats des écrasements des éprouvettes

En terme de maniabilité, l'utilisation de fines argileuses du site provoque une chute importante de maniabilité de l'ordre de 30 secondes. Par contre, le BCR contenant un filler calcaire est moins affecté par cette baisse, ce qui est très important pour une bonne mise en place du BCR. Pour ce qui est de la résistance à la compression à 28 jours, les essais ont montré qu'on ne pouvait pas atteindre la valeur prescrite, les résistances obtenues avec des fines argileuses sont nettement plus faibles que celles obtenues pour une composition avec filler calcaire. La formulation idéale pour le barrage de Koudiat Acerdoune n'a pas encore été déterminée. Pour cela il faudrait chercher des dosages en liant qui permettent d'obtenir les résistances exigées avec une meilleur qualité de granulats.



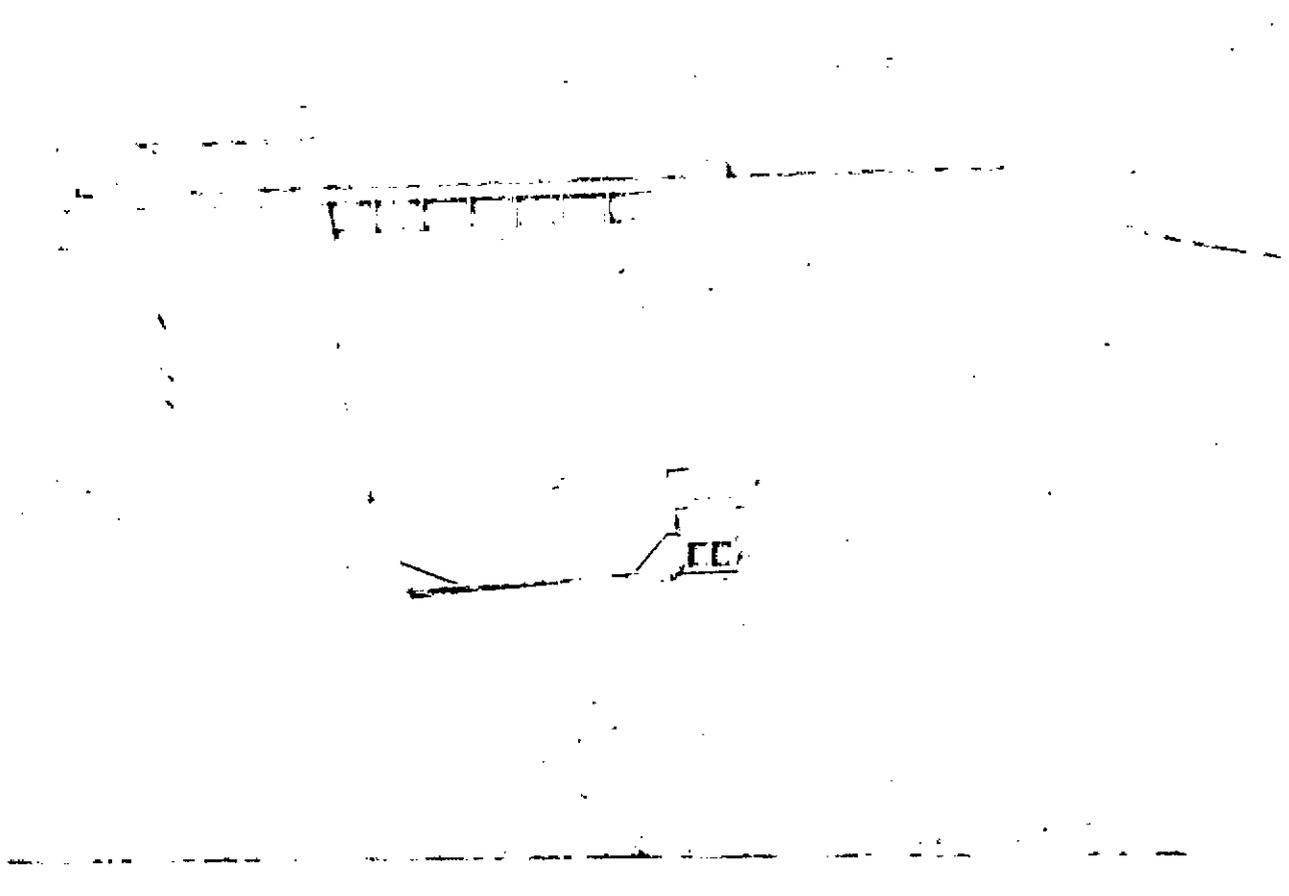
Photo 1: Essai VeBe – Mode opératoire



CHAPITRE III

ORGANISATION DE LA

CONSTRUCTION



1 Préparation du chantier

Une entreprise de travaux publics doit organiser ses activités dans des lieux et conditions qu'elle ne choisit pas et qui, dans le cas de la construction d'un barrage, ne sont jamais les mêmes. Le chantier d'un grand barrage mobilise un énorme potentiel en matériel, emploi environ mille personnes et ceci durant plusieurs années.

Pour organiser un chantier pareil, il faut d'abord mettre en place les potentiels humain, technique et matériel qui permettent d'y faire face, exécuter l'ouvrage dans les meilleures conditions techniques et financières, gérer le chantier sur les plans administratif et comptable, créer un bon climat humain sur le chantier tout en respectant les délais d'exécution. Tout ceci résume l'objectif de la direction technique du chantier.

L'un des principes directeurs d'une bonne organisation d'un chantier de barrage est de bien définir les tâches qui aboutissent à la construction de l'ouvrage. Il faut préparer minutieusement et décortiquer chaque tâche se déroulant sur le chantier, c'est pour cela que l'équipe de la direction technique travaille à la réalisation de l'ouvrage bien avant le démarrage des travaux sur le terrain, avec la participation savante et créative des ingénieurs du bureau d'études et du bureau des Méthodes.

Le bureau des Méthodes est souvent implanté sur le chantier, il dépend directement du service technique qui est lui-même dépendant de la direction du chantier. Les ingénieurs de ce service doivent recueillir sur le site différents renseignements : Ressources en main d'œuvre, ressources en matériaux, sites de carrières éventuelles...etc. Il faudrait aussi qu'ils étudient les accès au chantier et éventuellement améliorer les accès existants. Ils s'occupent aussi de définir les installations d'alimentation en eau et électricité, d'évacuation des eaux usées et déchets en plus de trouver des solutions pour les problèmes de circulation du personnel et du matériel sur chantier.

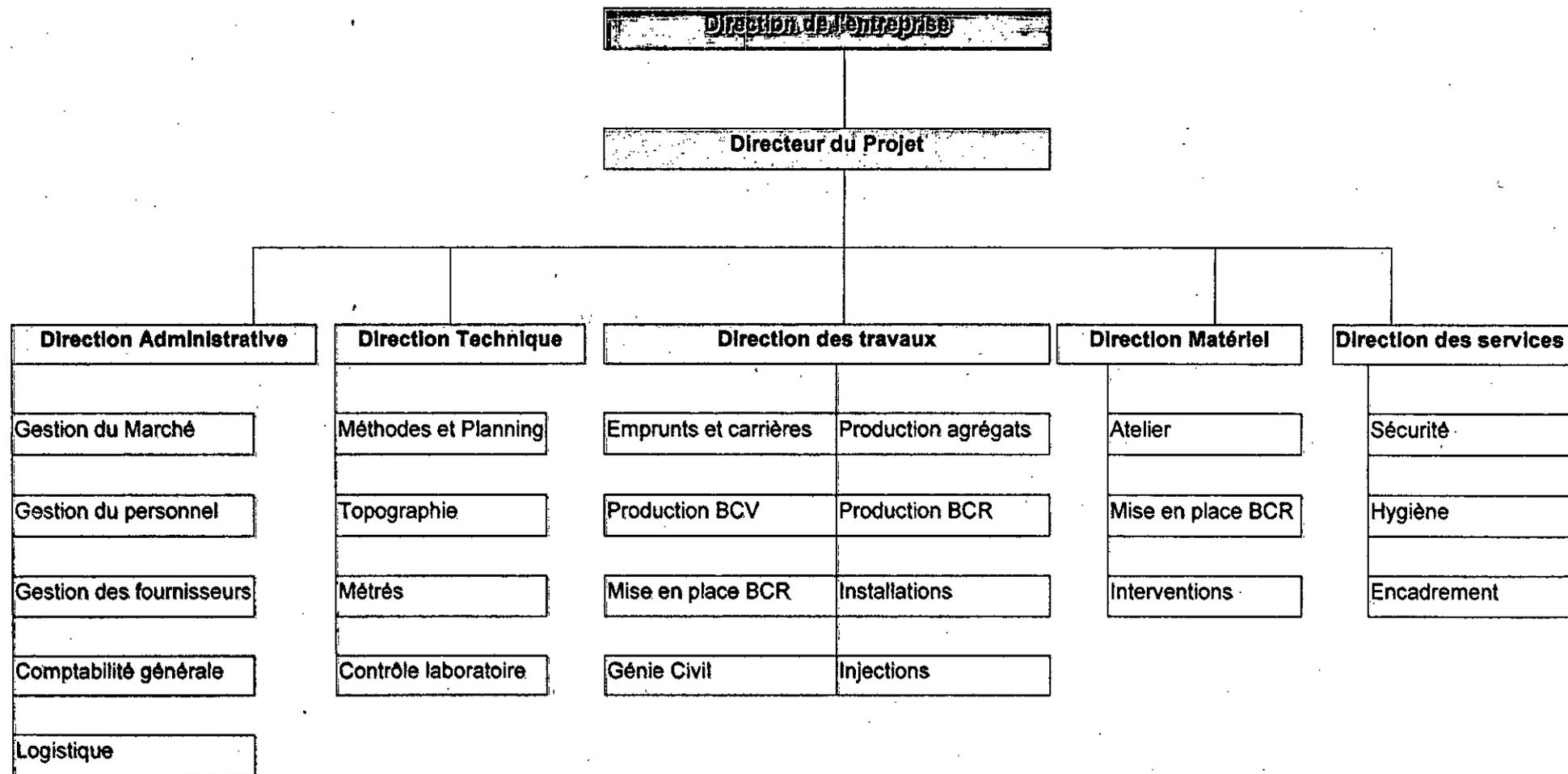
Le rôle du service Méthodes est tout d'abord de maîtriser les obligations du cahier des prescriptions techniques pour pouvoir les exploiter durant la réalisation et proposer d'autres solutions et méthodologies si possible. Ensuite il est nécessaire de définir toutes les tâches à exécuter au cours des travaux, les durées de ces dernières, les ordonnancer pour construire un

planning général des travaux qui sera affiné et décomposé au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

Un phasage des travaux est établi en fonction des problèmes éventuels qui peuvent survenir au cours de la réalisation. Il permet de construire des plannings partiels à partir du planning général, ces plannings concernent une seule activité (différents ouvrages annexes par exemple). Une méthodologie de travail est ensuite proposée pour chacune des tâches qui compose ces plannings en tenant compte des ressources, des prescriptions techniques, des délais d'exécution et des contraintes éventuellement rencontrées sur chantier.

Avec toutes les études faites par le bureau des Méthodes, la direction technique, avec l'aide d'experts dans chaque domaine, pourra effectuer un suivi des travaux et dessiner les plans d'installation du chantier qui consiste à implanter les ouvrages à construire, les voies d'accès intérieures au chantier à créer et l'emplacement des installations fixes. Ces plans permettent d'éviter retards dans les délais d'exécution et le bon déroulement des travaux.

Organigramme 1: Organisation du Chantier



1 Méthodes BCR

L'organisation de la construction du barrage commence d'abord par l'établissement de méthodologie d'exécution et de mise en place concernant les différentes phases du projet et le décomposant en plusieurs étapes. Ces méthodologies s'inspirent des différents barrages en BCR construit auparavant, des prescriptions techniques du marché, des multiples ouvrages édités et des normes établies. Le principe est de noter tout ce qui doit être fait, prévoir et organiser la tâche étudiée tout en citant les moyens humain et matériel nécessaires au bon déroulement de cette tâche et en prévoyant les problèmes qui peuvent survenir aux cours de l'exécution.

Les notes de méthodes traitent plusieurs problèmes qui peuvent ralentir la cadence de réalisation. A titre d'exemple, on peut citer les méthodes qui suivent :

- Besoins d'accès au chantier ;
- Les essais de formulation ;
- Les installations de chantier ;
- Les Galeries dans le corps du barrage ;
- BCV ;
- BCR ...etc.

Le présent mémoire ne traitera que les méthodologies concernant le BCR, c'est à dire les différentes étapes qui composent la mise en place du BCR, leur déroulement, les points d'arrêt s'il y en a, les différents procédés possibles ...etc. Les méthodes étudiées sont celles qui peuvent poser problème, elles sont mentionnées ci-dessous :

- Cadences et volumes de réalisation ;
- Livraison du BCR sur le barrage ;
- Préparation et traitement des surfaces de BCR ;
- Mise en place et compactage du BCR ;
- Contrôle du compactage et de la maniabilité ;
- Joints de reprise ;
- Joints de contraction ;
- Cure du BCR ;

- Maîtrise de la température de mise en oeuvre ;

Toutes ces méthodes seront illustrées dans ce qui suit et complétées par les différentes installations nécessaires à la fabrication du BCR telles que la centrale BCR les installations de traitement des matériaux.

3 Planning des travaux

Les délais de réalisation du projet de Koudiat Acerdoune ont été proposés par l'entreprise et fixés à 35 mois soit 1050 jours. Avant le début des travaux un planning général est établi, décrivant toutes les tâches à réaliser, il est revu tous les trois mois suivant les changements ou les retards dus à des imprévus rencontrés sur le chantier. Ce planning dépend aussi du régime hydrique de l'Oued Isser et de ses affluents.

Un phasage des travaux a été effectué, divisant ces-derniers en trois phases. La première phase comporte plusieurs tâches qui sont :

- La préparation du chantier ;
- La mobilisation du matériel ;
- Les reconnaissances géotechniques complémentaires ;
- Installations industrielles de chantier ;
- Pistes de chantier ;
- Une partie des pertuis de dérivation ;
- Terrassement des rives.

La deuxième phase des travaux consistera en la réalisation des :

- Pertuis de dérivation ;
- Terrassement du lit de l'oued Isser ;
- Batardeaux amont et aval ;
- Préparation des stocks d'agrégats ;
- Réalisation des galeries d'injection ;
- Injections de consolidation ;
- Réalisation du corps du barrage et de l'évacuateur de crues.

La troisième phase des travaux comportera les tâches à réaliser qui suivent :

- Achèvement des injections de consolidation ;
- Achèvement du corps du barrage ;
- Achèvement du corps du barrage et de l'évacuateur de crues ;
- Construction de la tour de prise ;
- Placement de l'équipement électrique et mécanique.

Ce planning permettra de suivre les travaux de près et de garantir une bonne organisation du chantier, en évitant tous les problèmes résultants de la dépendance de certaines tâches. Il permet aussi d'optimiser la construction de l'ouvrage en prévoyant toutes les étapes des travaux, leurs durées et leur interdépendance.

4 Cadence et volumes de réalisation

La construction d'un barrage en BCR doit se faire à cadence élevée en évitant tout arrêt ou interruption. Pour ce faire, des installations de chantier importantes sont installées et utilisées de la façon la plus continue possible. Pour optimiser la construction d'un tel ouvrage, il faut concevoir un matériau à grande maniabilité et à mise en place rapide et ceci ne correspond pas forcément au minimum de volume de BCR pour le corps du barrage.

Le volume de BCR prévu pour le barrage de Koudiat Acerdoune est d'environ 1180000 m³. Le barrage a été divisé en trois zones principales de mise en oeuvre. La première, qui est centrale, se situe entre les plots 8 et 18 et qui cerne l'évacuateur de crues. D'une longueur de 203.65 m, sa largeur varie entre 80 m à la base et 8 m au sommet. Elle couvre une surface moyenne de 16000 m².

Les deux autres sont latérales et se situent de part et d'autre de l'évacuateur de crues. Trois levées (une levée est composée de quatre couches de 30 cm) de BCR seront placées d'abord en zone centrale; puis en zones latérales sur la même hauteur (3.60 m) et éventuellement avec un décalage inversé.

Les terrassiers auront donc le temps d'effectuer toutes les opérations de traitement des rives et de nettoyage sans gêner le rythme de mise en place du BCR. Ils pourront aussi préparer les rochers des deux zones latérales aux injections de consolidation.

La zone latérale gauche est comprise entre les plots 1 et 7. Sa longueur varie entre 0 et 130.35 m et sa largeur entre 77 et 8 m, pour une surface moyenne de 2800 m². Quant à la zone

latérale droite, elle est comprise entre les plots 19 et 23. D'une longueur allant de 0 à 90 m et de largeur de 77 à 9 m, pour une surface moyenne de 1900 m².

$$\frac{1200}{0.3}$$

Ce phasage conduira à une cadence moyenne de 1200 m²/h soit 360 m³/h. Donc un volume moyen de 7200 m³/jour à raison de 20 h travaillées par jour.

$$\frac{360}{20} = 7200$$

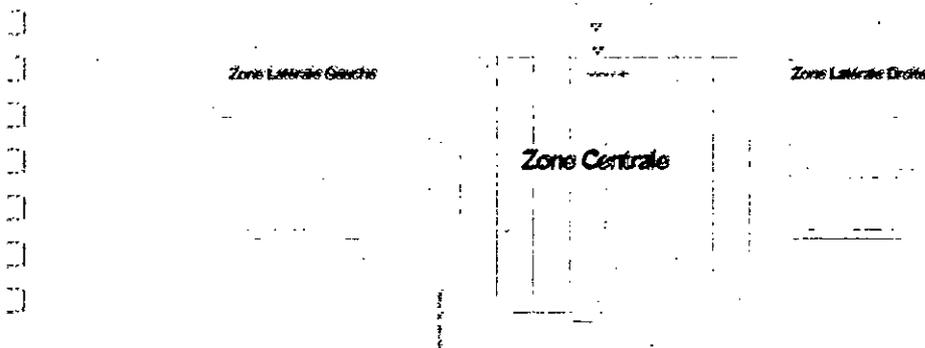


Figure 1: Phasage de la mise en place

En ce qui concerne les volumes de BCR à mettre en place, ils ont été estimés à partir d'un modèle en trois dimensions du barrage. Pour prévoir à l'avance les quantités de BCR dont on aura besoin, la prévision de ces quantités est faite tous les trois mètres sur la hauteur du barrage en tenant compte des singularités qui peuvent présenter des points d'arrêt. Ces quantités sont données au niveau de l'Annexe I.

Des métrés similaires sont établis pour les volumes de BCV, les longueurs et surfaces de coffrages et les quantités de mortier concernant les joints froids (cf. joints de reprise). Ces métrés sont essentiels pour garantir la continuité de la mise en place du BCR et prévoir les productions de bétons à chaque phase de la construction.

En les combinant avec le phasage cité ci-dessus, ces métrés permettront de prévoir les quantités de BCR à mettre en place tout en maîtrisant les délais de réalisation.

5 Fabrication du BCR

Les matériaux qui serviront à la fabrication du BCR seront transportés des zones d'emprunts, sous forme de tout-venant, vers la station de criblage et de traitement au moyen de camions, directement déchargés dans deux trémies de stockage. Après traitement, les matériaux seront triés en trois classes granulaires (0-5 mm, 5-20 mm, 20-50 mm) formant des tas. Ces granulats seront transportés jusqu'à la centrale BCR par un tapis d'une longueur atteignant les 75 m. Pour mener à bien la production de BCR, la station de traitement aura une capacité de 1000 t/h.

Le dimensionnement de la centrale BCR a été fait afin qu'elle puisse produire la quantité de BCR nécessaire à la mise en œuvre de la couche la plus importante c'est à dire une surface de 14 000 m², en moins de 24 h.

Placé en amont du corps du barrage, à l'intérieur de la cuvette à la cote 270, la centrale BCR est distante d'environ 200 m de l'axe du barrage

D'une capacité théorique de 500 m³/h donc une production nominale de 450 m³/h soit un volume de 1000 t/h, la centrale travaillera en continu autour d'un malaxeur spécial BCR et comprendra les éléments suivants :

- 3 Casiers de stockage des agrégats d'une autonomie de 6.4 h alimentés par un tapis provenant directement de la station de traitement des agrégats. Ces casiers ont les capacités suivantes :

- Sable 0-5 mm : 1200 m³
- Gravillon 5-20 mm : 700 m³
- Gravillon 20-50 mm : 700 m³

- Trois tapis transporteurs pour les agrégats
- 2 silos de stockage pour ciment ;
- 2 silos de stockage pour cendres volantes ;
- 1 Trémie de réception pour les agrégats;
- Malaxage : 2 malaxeurs d'une capacité théorique de 250 m³/h chacun;
- Circuit de dosage d'eau ;
- Un tapis collecteur à la sortie ;

- Cabine de contrôle et de conduite.

Pour respecter les spécifications techniques du projet, il a été prévu un système de refroidissement de l'eau de gâchage du béton, cette eau pourra être refroidie jusqu'à une température de 4°C. Ce dispositif pourra éventuellement être modifié, d'autres idées ont été proposées et sont en cours d'étude.

6 Transport et Mise en place du BCR

Le transport par camions est généralement le moyen le plus utilisé pour transporter le BCR. Pour le barrage de Koudiat Acerdoune, un système de tapis transporteurs type ROTEC sera utilisé pour le transport de la centrale BCR jusqu'à l'emplacement du bétonnage. Ce système de transport est en général utilisé lorsqu'on a une quantité de BCR à mettre en œuvre qui dépasse les 500000 m³. A l'extrémité des tapis transporteurs, une trémie de stockage provisoire, garantissant une continuité de production, d'une capacité de 30 m³ est envisageable, le matériau ne devra pas y être conservé durant plus de dix minutes. Le dernier maillon de cette chaîne de transport est un crawler placer qui amènera le BCR sur l'endroit de sa mise en place.



Photo 1: Convoyeur ROTEC sur des barrages en BCR

L'utilisation de tapis transporteurs jusqu'au barrage présente l'avantage d'une souplesse satisfaisante, et permet de réduire les routes de transport jusqu'au barrage. En plus de cet avantage, ce système permet d'éviter tout risque de pollution du BCR par des éléments extérieurs entraînés par les roues de camions ce qui nécessiterait un entretien supplémentaire des couches de BCR et des installations de nettoyage des pneus.

La capacité de transport de ce système dépend essentiellement des pentes des tapis, la production maximale prévue sera supérieure à 500 m³/h.

Le transport démarre dans un tapis collecteur fixe d'une largeur de 75 cm et de 155 m de long, installé à la sortie de la centrale BCR, celui-ci alimente deux tapis transporteurs mobiles d'une largeur de 75 cm et de longueurs respectives de 122 m et 70 m. Ces deux tapis ont une vitesse qui peut aller jusqu'à 4.5 m/s et une capacité maximale, qui varie selon leurs pentes, qui peut aller jusqu'à 13 m³/min. Le dernier tapis est relié à un tapis d'une longueur de 42 m et de la même largeur, qui alimente le crawler placer. Ce crawler placer est utilisé pour répartir le BCR sur le barrage, il a une grande flexibilité de mouvements, c'est le dernier élément du système ROTEC.

La capacité du crawler placer est de 20.5 m³/min avec un balancement de 360° et une mobilité sur la verticale qui jusqu'à 20° ; le crawler placer a un rayon de couverture de 65 m ce qui représente une surface de 13000 m². Ce qui permettra de couvrir toute la zone centrale prévue d'après le phasage cité ci-dessus. Pour les deux zones latérales, le BCR y sera amené par des camions directement chargés à partir du crawler placer au niveau de la zone centrale.

Ce système de tapis transporteurs ROTEC permettra de mettre en place le BCR tout en limitant les risques de ségrégation qui peuvent être engendrés par le transport au moyen de camions lors du déchargement. Donc le moyen le plus fiable pour ce qui est de la qualité finale du BCR.

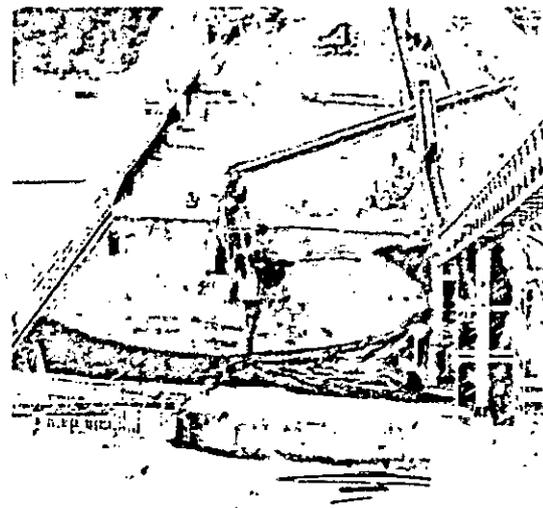
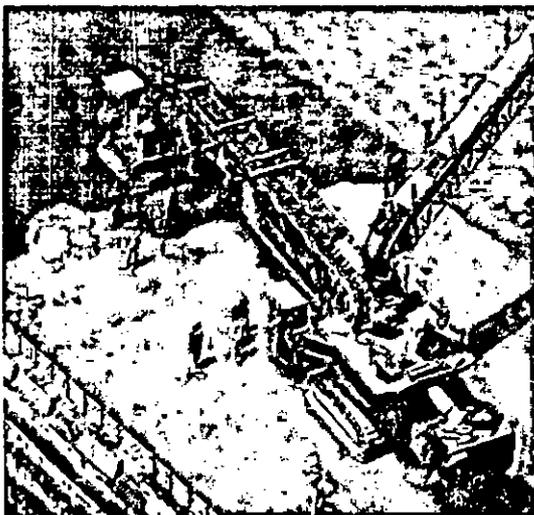


Photo 2: Crawler Placer

7 Compactage

A sa sortie de la centrale, le BCR se présentera comme un sol très caillouteux et légèrement humide.

Après l'arrivée du BCR sur l'endroit de sa mise en place, des bulldozers sont utilisés pour son épandage et pour mélanger les éléments qui auraient subi une ségrégation. Ensuite le BCR est compacté le plus tôt possible après son épandage, en général dans un délai de 10 à 45 minutes. Le compactage se fait au moyen de rouleaux vibrants automoteurs lourds de 15 tonnes partout où cela sera possible. Dans les zones d'obstacles, à proximité des parements et des galeries, des petits rouleaux vibrant de 2 tonnes, plus maniables, seront utilisés mais pour compacter des couches moins épaisses de 20 cm. Là où les petits compacteurs ne pourront pas être utilisés, le compactage sera fait au moyen de plaques vibrantes par couche de 10 cm.

Trois compacteurs lourds sont prévus pour cette opération, dont un réservé en cas de défaillance de l'un des deux autres ; deux petits compacteurs et une plaque vibrante. Le BCR sera compacté uniformément sur toute la surface, le nombre de passes sera défini lors des planches d'essai du BCR. En général ce nombre est compris entre 6 et 8 passes, tel qu'une passe représente un aller simple du rouleau compacteur. La première passe sera réalisée sans vibration, la fermeture de la couche se fera également en mode statique tandis que le reste des passes sera exécuté en dynamique. L'expérience montre qu'il ne faut jamais dépasser une vitesse de 2.5 km/h pour le compactage d'un BCR et les spécifications du projet limitent la vitesse à 2 km/h.

Les compacteurs ont un rayon d'influence supérieur à l'épaisseur de la couche (>30cm), la couche inférieure sera donc recompactée partiellement ce qui permettra d'avoir une meilleure adhérence entre les deux couches. Ces compacteurs travaillent en bandes longitudinales de rive en rive. Pour assurer un compactage homogène de tout le volume de la couche, les bandes se recouvrent partiellement.

Un bon compactage permettra d'obtenir des surface sans discontinuités et sans ondulations, il permettra d'atteindre la densité optimale qui est voisine des 2.4 t/m³ qui sera contrôlée en permanence à l'aide d'une sonde nucléaire monotige du type « Troxler », dès la fin du compactage. Le Troxler permet d'obtenir une valeur moyenne de la densité et de la teneur en eau du BCR.

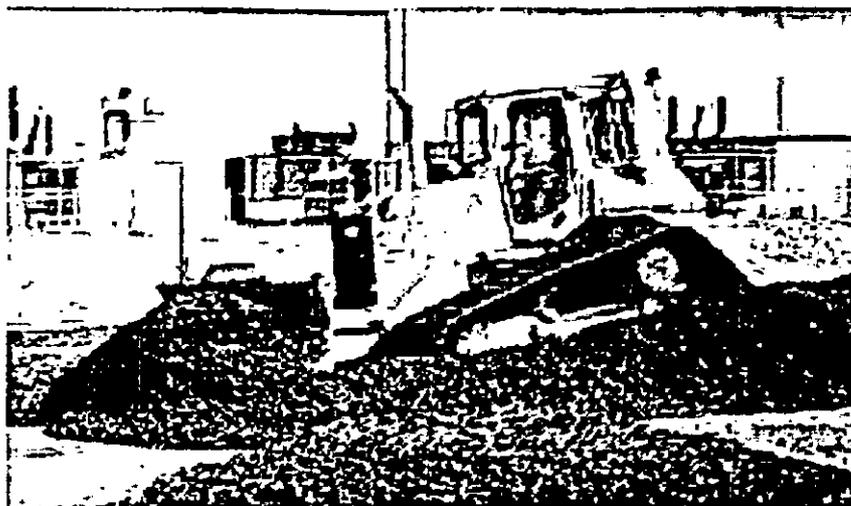


Photo 3: Epannage du BCR

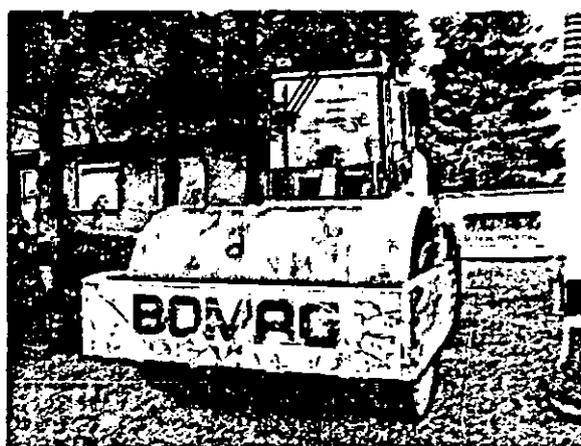


Photo 4: Compacteur lourd

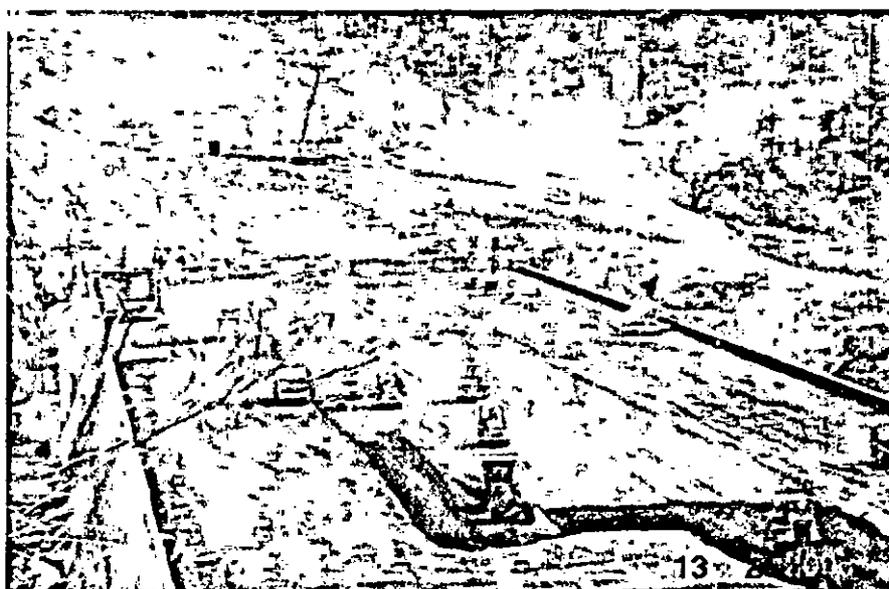


Photo 5: Compactage du BCR (Barrage de Tha Dan)

8 Cure du BCR

Après le compactage d'une couche de BCR, la surface de cette dernière doit être maintenue humide avant la mise en place de la couche suivante pour assurer une bonne adhérence entre les deux couches et pour éviter les fissurations d'origine thermique. Cette cure permet de limiter les élévations de température dues à l'ensoleillement des couches compactées et de compenser les pertes d'eau par évaporation dans le BCR.

Dans le cas du barrage de Koudiat Acerdoune, la méthode utilisée pour la cure du BCR sera la brumisation au lieu des moyens traditionnels d'arrosage habituellement utilisés. Aucun produit de cure à part l'eau ne sera appliqué. La brumisation évite les dégradations et pollutions des surfaces exposées par des circulations d'engins pour l'arrosage à l'aide de camions citerne.

Le principe de cette méthode est de créer une atmosphère saturée en eau au-dessus des surfaces compactées, en créant un nuage de gouttelettes d'eau ultrafines. Des brumisateurs sur rampes sont placés sur les parements amont et aval. Ces rampes seront déplacées au fur et à mesure de la montée du barrage. L'eau est envoyée à très forte pression dans ces brumisateurs, les gouttelettes pulvérisées restent ainsi en suspension dans l'air et il se crée un brouillard qui assure une ambiance humide au-dessus des couches de BCR.

En plus du fait d'avoir une atmosphère saturée en humidité, la brumisation permet de diminuer la température du milieu. En effet, l'évaporation de l'eau consomme de l'énergie, cette énergie est prise sur le milieu ambiant ce qui entraîne une chute de température qui peut atteindre les 8°C. Les brumisateurs utilisés sont en plastique mais il en existe en métal, plus ou moins sophistiqués et certainement plus chers.

Habituellement utilisée en irrigation, cette méthode est certainement la plus fiable et la moins compliquée pour assurer la cure du BCR.



Photo 6: Brumiseur

9 Joint de reprise

L'étanchéité d'un barrage en BCR dépend presque entièrement de la qualité des joints de reprise. Un joint de reprise, appelé aussi reprise, est un joint horizontal qui sépare deux levées successives de BCR, il peut subir ou pas un traitement spécial suivant des conditions discutées ci-dessous. Les reprises peuvent présenter une plus forte perméabilité donc des points faibles dans le corps du barrage. Mais ce problème ne se pose pas dans le barrage de Koudiat Acerdoune, car l'étanchéité horizontale est assurée en grande partie par le parement amont en BCV.

On peut distinguer deux types de reprises dans notre cas :

- Les reprises chaudes qui correspondent à un recouvrement de la couche sous-jacente avant la prise de celle-ci ;
- Les reprises froides dans le cas d'arrêts de la mise en place du BCR, elles nécessitent un traitement spécial et le recouvrement de la couche sous-jacente se fait après la prise de celle-ci.

La surface d'une couche doit être parfaitement propre avant la mise en place de la couche suivante, dans le cas contraire un lavage à l'eau à faible pression (0.5 à 2 MPa) sera indispensable. Le délai de recouvrement sera de l'ordre de 10 h environs, il sera définitivement fixé lors de l'exécution des planches d'essais. Au-delà de ce temps, il ne sera plus possible de réaliser une reprise chaude.

Si la dernière couche de BCR compactée fait prise, on sera dans le cas d'une reprise froide. Les reprises froides doivent être limitées au maximum, car elles nécessitent un traitement spécial qui réduisent la cadence de réalisation donc augmente le prix total du projet. Après le nettoyage de la surface de la couche compactée par jet d'air et d'eau sous très forte pression (40 à 50 MPa), les débris et impuretés seront évacués à l'aide d'un camion aspirateur on devra mettre en place un mortier de liaison sur une épaisseur 2 cm au maximum. Le mortier sera placé à l'amont du barrage à une distance de 4.5 m du parement amont. La mise en place de mortier sur toute la surface de la couche est à éviter car l'eau du mortier peut être absorbée par la couche sous-jacente avant recouvrement, et provoquer des détériorations de cette dernière (cf. Annexe I - Plan AH0409). La levée suivante devra être

mise en place avant que le mortier n'ait commencé sa prise c'est-à-dire dans les 45 minutes qui suivent son compactage.

En suivant toutes ces recommandations, le barrage devrait avoir une étanchéité au moins semblable à celle d'un barrage en béton classique.



Photo 7: Camion aspirateur



Photo 8: Nettoyage à l'eau sous pression

10 Joints de contraction

Les joints de contractions verticaux, appelés aussi joints de retrait, sont réalisés dans le but de maîtriser le retrait du béton et d'éviter les fissurations dans le corps du barrage. Le barrage est découpé en plots séparés par ces joints de contraction. Les joints sont placés à chaque rupture prononcée du terrain de fondation. La distance entre ces joints est 20 m de part et d'autre de l'évacuateur de crues, et de 18.5 m tout le long de celui-ci.

Les méthodes qui sont, en général, utilisées pour la réalisation de ces joints sont les suivantes :

- Constituer le joint au moyen d'une plaque vibrante qui sera abandonnée entre les deux plots. Mais cette méthode présente l'inconvénient de permettre la circulation de l'eau de l'amont à l'aval donc nécessitera un renforcement de l'étanchéité au niveau du parement amont ;
- Mettre en place le BCR contre des coffrages pour matérialiser le joint mais ceci serait moins pratique étant donnée la longueur des joints ;
- Découper le joint à l'aide d'une plaque vibrante portée par une tractopelle, une feuille de polyane sera abandonnée à l'intérieur du joint pour éviter le collage des lèvres du joint.

La méthode retenue est la dernière car plus simple et plus rapide que les deux autres. Le découpage du joint se fera sur toute la largeur de la couche et sur les 2/3 de l'épaisseur. Après l'introduction de la feuille de polyane, un passage final au rouleau sans vibration sera utile pour serrer correctement la zone découpée, et pour la fermeture de la couche.

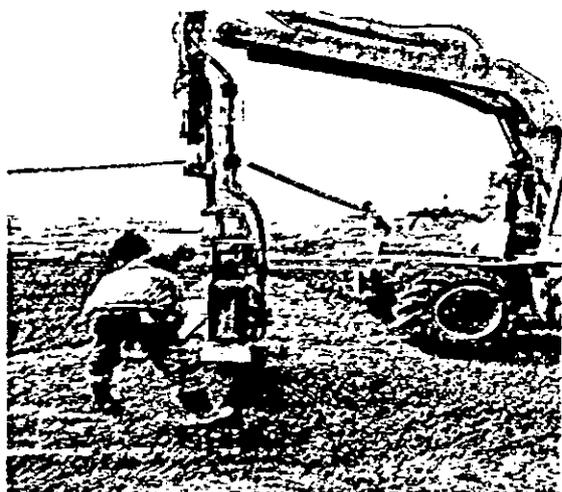


Photo 9: Découpage d'un joint de contraction

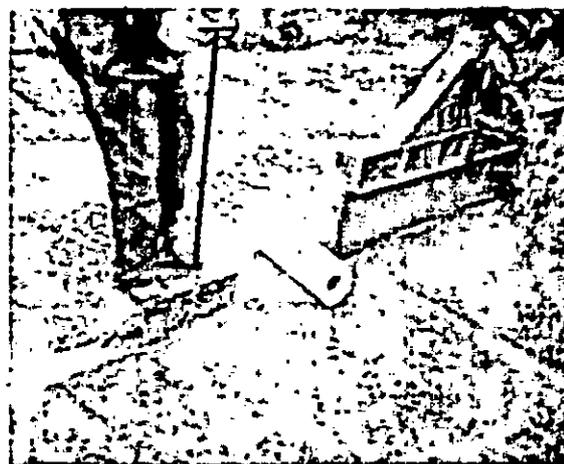


Photo 10: Mise en place d'une feuille de polyane

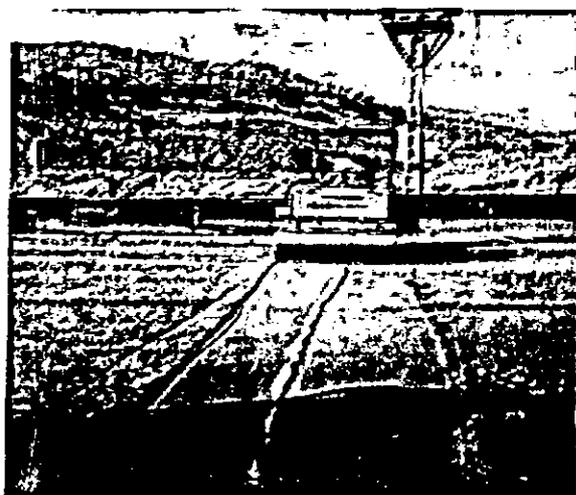


Photo 11: Compactage sur un joint de contraction

11 Parements du barrage

Les parements du barrage seront réalisés en BCV pour permettre l'éventuelle mise en place d'armatures, l'amélioration de l'étanchéité et de l'aspect extérieur des parements.

Le parement amont sera réalisé en BCV placé contre un coffrage auto-grimpant. Le BCV et le BCR seront montés simultanément. Les opérations au niveau de ce parement suivront les étapes suivantes :

- Mise en place du BCR jusqu'à une distance d'un mètre du coffrage ;
- Fermeture de la couche au rouleau ;
- Mise en place du BCV contre le coffrage ;
- Vibration du BCV ;
- Compactage du BCR en débordant sur la partie en BCV ;

Pour ce qui est du parement aval ; le BCR et le BCV seront également exécutés de façon simultanée mais ceci ne concerne que les zones non déversantes. Pour les zones déversantes, le BCR sera mis en place contre un coffrage en escalier de 1.20 m de haut, relevés tous les 1.20 m au moyen d'une grue mobile. Le BCV sera réalisé plus tard lors de la montée de l'évacuateur de crues. Quant aux zones non déversantes, elles seront réalisées à l'aide d'éléments préfabriqués en « L » superposés (cf. Figure 8) et stabilisés par des tiges d'encrage. Ces éléments serviront en même temps à coffrer le BCR.

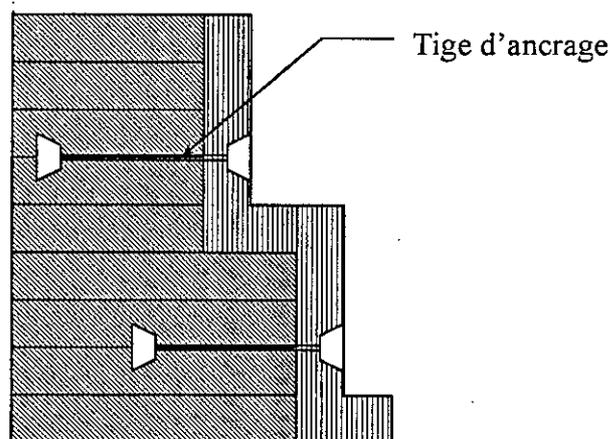


Figure 8: Coffrage du parement aval

12 Galeries dans le corps du barrage

Les galeries dans la masse du BCR sont au nombre de trois, elles sont respectivement situées aux niveaux 232.20, 258.60 et 285.00. D'une hauteur de 3.30 m et d'une largeur de 3.00 m (cf. Figure 9), ces galeries seront réalisées au fur et à mesure de la montée du BCR.

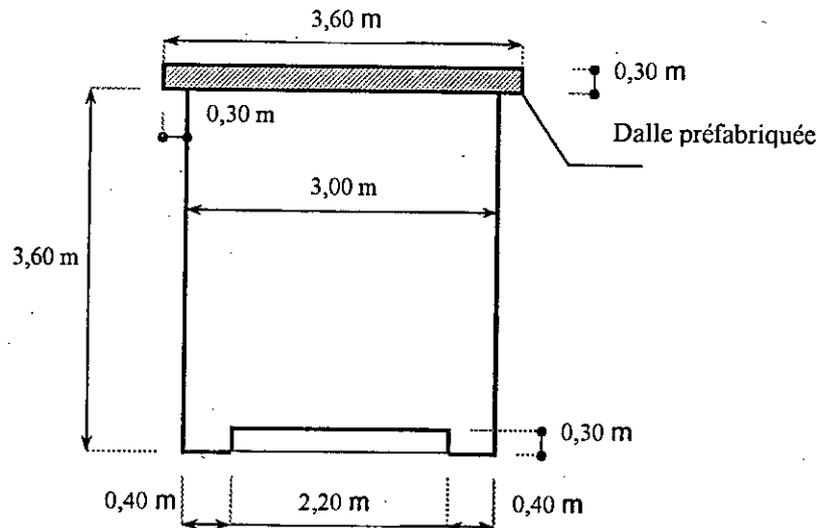


Figure 9: Coupe type des galeries

Ces galeries seront coffrées avec des panneaux plans, leur toits étant réalisés en dalles préfabriquées en BCR de 30 cm d'épaisseur. La hauteur de ces panneaux correspondra à la hauteur des galeries augmentée de la profondeur des caniveaux de drainage. Ils seront mis en place sur la première couche de la levée de BCR et maintenus pendant toute la durée de montée de cette levée.

Une fois la levée achevée, les panneaux seront démontés et les dalles préfabriquées seront placées (cf. Figure 10).

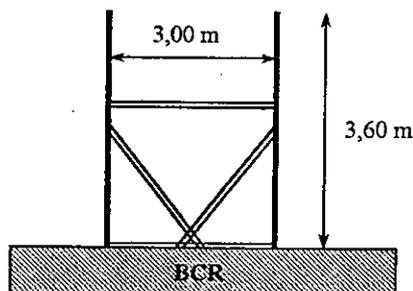


Figure 10: Coffrage des galeries

13 Température de mise en place du BCR

L'organisation de toutes ces opérations est extrêmement soignée, mais les conditions climatiques peuvent retarder la mise en place et engendrer une augmentation des délais de réalisation. La température de mise en place est limitée à 25°C par les spécification du marché. Au-delà de cette température, il y aura arrêt de la mise en place du BCR. La température du BCR augmente entre sa sortie de la centrale et son arrivée sur le barrage. Pour minimiser ces augmentations, la série de procédures suivante a été proposée :

- Humidification des granulats sur stocks à l'aide d'asperseurs ;
- Humidification du BCR régale ;
- Cure en excès pour réduire la température ambiante ;
- Réfrigération de l'eau de gâchage qui permettra la réduction de la température du BCR ;
- Arrêt de la mise en place aux heures chaudes de la journée ;

Ces solutions sont les plus couramment utilisées et n'ont pas de coûts élevés. Deux autres procédures ont été proposées pour les périodes les plus chaudes, mais elles sont toujours en cours d'études car elles sont plutôt coûteuses. Pour contrôler la température du matériau, des systèmes de refroidissement du BCR ont été utilisés pour le barrage de Beni Haroun et ont donné un résultat satisfaisant. Ces deux systèmes sont les suivants :

- Un système de refroidissement des granulats lors de leur acheminement vers la centrale au moyen du tapis transporteur. Ce système pourra baisser la température des granulats jusqu'à 8°C.
- Une fabrique de paillettes de glace avec des silos pour les emmagasiner. L'incorporation de ces paillettes dans les malaxeurs en substitution d'une partie de l'eau de gâchage. Ceci permettra de baisser la température du BCR d'au moins 5°.

Si le projet de ces deux systèmes est accepté, le seul problème qui puisse se présenter, lors de la construction de ce barrage en BCR, sera résolu.

CONCLUSION

L'organisation du chantier du barrage de Koudiat Acerdoune est très importante pour la qualité finale du barrage en matière de stabilité et d'étanchéité. A ce stade du projet, le BCR qui sera utilisé n'a toujours pas été défini, étant donné que les alluvions de l'oued déjà testés n'ont pas permis d'atteindre les résistances prescrites dans le marché. Concernant l'organisation de la construction, les méthodologies proposées et les installations étudiées peuvent être modifiés d'un moment à un autre, ceci est plus probable après le début de la mise en place du BCR.

Si toutes les opérations prévues et les plannings sont revues régulièrement et respectées dans la mesure du possible, et si les conditions climatiques ne sont pas extrêmes, le barrage de Koudiat Acerdoune devrait être achevée vers la fin de l'année 2006.

LE BARRAGE DE BENI HAROUN

1. Description du barrage

Le barrage de Beni Haroun est un barrage en BCR, le premier en Algérie ; du type poids rectiligne reposant sur une fondation rocheuse calcaire. Il forme une retenue d'une capacité maximale de 963 Mm^3 pour une surface de retenue de 39 km^2 . La partie BCR du barrage représente un volume de 1400000 m^3 pour une longueur de crête de 710 m , une hauteur de 118 m et un volume de béton conventionnel de 300000 m^3 .

L'évacuateur de crues est un déversoir à seuil libre avec saut de ski prévu pour évacuer une crue de $13230 \text{ m}^3/\text{s}$ en crue décennale. Celui-ci est intégré dans la partie centrale du corps du barrage. Sa longueur est de 124 m répartie en 6 passes surmontées par un pont route. Le seuil de l'évacuateur est prolongé par un coursier raccordé à un saut de ski, calé au-dessus du niveau des plus hautes eaux.

Le barrage a une hauteur maximale de 106 m et une longueur en crête de 710 m . La crête du barrage d'une largeur de 8 m est arasée à la cote 216.30 m , ce qui laisse une revanche de 1.5 m au-dessus des plus hautes eaux.

Le profil du barrage est formé d'un parement amont vertical et d'un parement aval incliné à 0.8 H pour 1 V . En section courante, au-dessus de la cote 196 m , le parement aval change de pente, ce qui facilite l'exécution de la crête et permet l'installation d'une voie de circulation.

Le fond de vallée est élargi en entaillant la rive droite sur une centaine de mètres afin d'assurer une bonne assise de la zone du barrage concernée par l'évacuateur de crues et la vidange de fond.

La conception du barrage et de ses ouvrages annexes a été dictée par le souci :

- De diminuer les quantités de béton conventionnel ;
- De garantir une bonne continuité du chantier ;
- De concentrer le plus possible les ouvrages nécessitant l'usage d'un béton conventionnel.

Trois galeries réparties sur trois niveaux et situées à proximité du parement amont du barrage permettent le contrôle des opérations d'injection et de drainage dans le corps du barrage et dans la fondation. Ces galeries sont calées respectivement aux cotes 100 m, 140 m et 175 m, elles sont implantées à l'aval de la zone de traitement au mortier des surfaces de reprise du BCR. Elles se prolongent dans les appuis sur une distance variant de 70 à 150 m.

Le système de galerie permet également de contrôler le comportement de l'ouvrage et d'effectuer les opérations de maintenance et de réparation éventuellement nécessaires. Il permettra également de collecter les eaux de drainage provenant du corps du barrage, de la fondation et des versants.

Sous le barrage, l'écran d'étanchéité est constitué d'un rideau d'injection multifilaire, composé de trois files d'une profondeur variant de 60 à 100 m. Des injections de consolidation du rocher de fondation sont effectuées sur toute l'emprise du barrage sur une profondeur de 8 m et suivant une maille carrée de 4m de coté.

Un rideau de drainage d'une profondeur maximum de 40 m est réalisé à partir de la galerie de pied amont.

Durant la construction, la dérivation de l'Oued El Kebir a été assurée par les deux pertuis de dérivation.

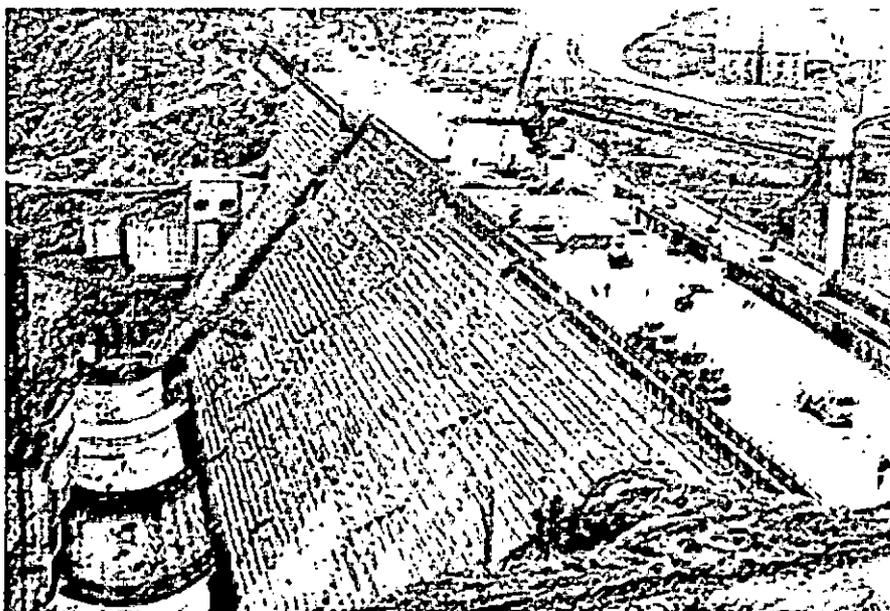


Photo 1: Barrage de BENI HAROUN en construction

2. Installations du BCR

a) Matériaux pour BCR :

Les zones d'emprunt sont situées à la confluence des Oued Rhumel – Oued Endja, à environ 4 km à l'amont du barrage.

Les granulats sont produits à l'amont du barrage par une station de criblage concassage dont la capacité était de 500 t/h. La centrale produisait 5 classes d'agrégats qui étaient transportés par camions de la zone de stockage à la tête de la centrale BCR. Avant le démarrage du BCR, la centrale avait produit 1/3 de la consommation prévue pour l'exécution du barrage.

b) Fabrication du BCR :

Le barrage devait être terminé dans un délai de 16 mois, pour un volume de 1 400 000 m³ à mettre en place. Pour cela, la centrale de fabrication du BCR était composée des installations suivantes :

- 2 centrales de production de 250 m³/h chacune ;
- 4 silos de ciment d'une capacité de 500 m³ ;
- 4 silos de cendres de 1000 m³ ;
- 5 trémies de réception des granulats de 35 m³ ;
- 4 silos de sable de 500 m³ ;
- 3 silos pour les granulats de 2000 m³ ;
- Une centrale de refroidissement des granulats avec deux bandes transporteuses de 800 m de long se terminant par deux cribleurs de 12 m²;
- 2 stations de fabrication de paillettes de glace d'une capacité de 90 t/j;
- 1 installation de stockage des cendres volantes de 8000 m³;
- 1 installation de stockage de ciment de 4000 m³.

Les granulats qui étaient stockés au niveau des silos, étaient acheminés séparément par tapis transporteurs à travers un tunnel de refroidissement et de lavage aboutissant à l'unité de mesure où aboutissait le sable qui arrivait directement des silos. Après pesage, le tout partait directement vers la centrale de malaxage où se faisait le dosage en ciment, en eau et en

cendres volantes. En cas de nécessité, des paillettes de glace étaient rajoutées, sur le tapis des agrégats entre l'unité de mesure et la centrale de malaxage.

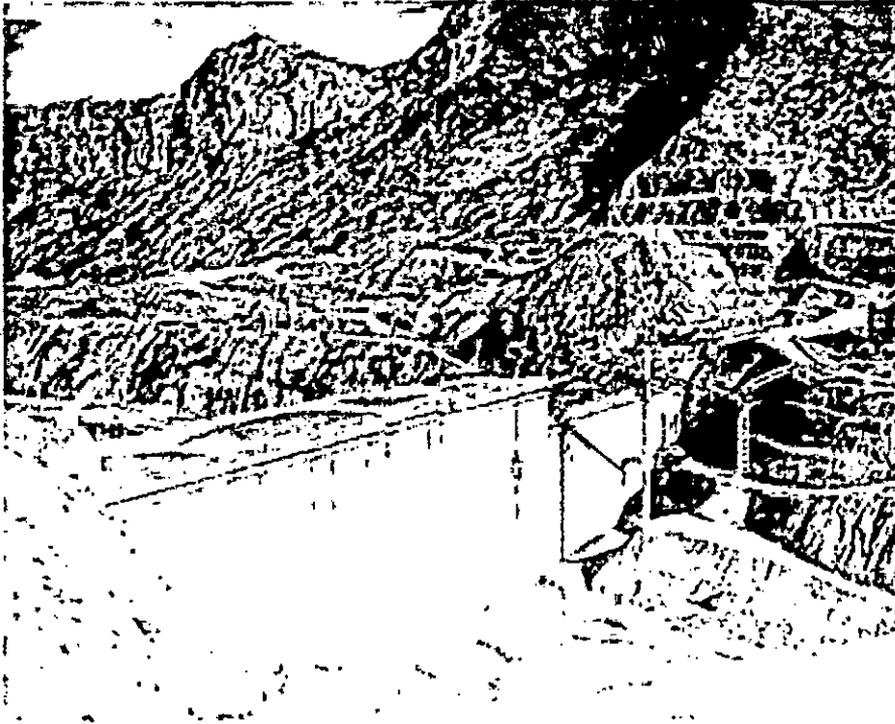


Photo 2: Aperçu des tapis convoyeurs

c) Transport du BCR :

Le BCR a été transporté de la centrale BCR jusqu'au barrage par deux types de tapis convoyeurs :

- Convoyeur de 24 pouces :

Ce convoyeur comprenait une trémie de 8 m³ avec un régulateur de débit, se terminant par un distributeur télescopique qui déversait le BCR dans des camions Dumper de 35 tonnes. Sa production oscillait entre 2100 à 2500 m³/j.

- Convoyeur de 36 pouces :

C'était un convoyeur ROTEC composé d'un collecteur à la sortie des malaxeurs et de trois sections de différentes longueurs, la dernière section étant à niveau variable, il se terminait par un distributeur télescopique.

Sa capacité de transport était de 500 m³/h, semblable à celle de la centrale BCR.

L'utilisation de ces convoyeurs à grande vitesse est généralement considérée comme la solution la plus économique dès que le volume à mettre en œuvre avoisine les 500 000 m³.

d) Mise en œuvre du BCR :

Après nettoyage de la fondation à l'air et à l'eau sous pression, on égalisait la surface en remplissant avec du BCR pour permettre la mise en place de la première couche de BCR sur un lit de mortier.

Quand la mise en place du BCR a commencé, le chantier fonctionnait 24h/24h et 7j/7j, comprenant 120 ouvriers, le matériel mobilisé était le suivant :

- 3 camions Dumper de 35 tonnes chacun (1 de réserve);
- 3 bulldozers D4 pour l'épandage (1 de réserve);
- 3 compacteurs vibrants lourds;
- 2 petits compacteurs;
- 4 rétro-chargeurs, 1 équipé d'un vibro-fonceur et 2 d'une aiguille vibrante pour le BCV et 1 pour le nettoyage;
- 1 camion aspirateur;
- 1 camion citerne pour l'eau à pression;
- 3 sur-presseurs d'eau de 10 bars;
- 1 dame sauteuse;
- 2 grues pneumatiques;
- Des aiguilles vibrantes manuelles.

A partir du convoyeur télescopique, le BCR chargé sur les Dumpers, transporté jusqu'au point de déversement où se faisait l'épandage par bulldozers en bande de 8 m.

Le compactage se faisait à l'aide des deux rouleaux en huit passes, dont deux sans vibrations, dès que la zone d'épandage atteignait une surface comprise entre 300 et 500 m².

Les joints transversaux de contraction étaient réalisés à l'aide d'un chargeur équipé d'un vibro-fonceur. Après le découpage du joint, un film polymère était mis en place. Ces joints compactés ensuite à l'aide des petits rouleaux vibrants en 10 passes.

Chaque couche compactée du BCR était maintenue humide par des camions arroseurs et des lances à eau manipulées manuellement.

Un contrôle était fait en vue d'éliminer les zones de ségrégation ou les parties endommagées pour pouvoir placer la couche suivante.

Pour ce qui est des joints horizontaux, il y en avait deux sortes : chauds et froids. Les joints froids étaient réalisés lorsque le temps de mise en place d'une couche sur une couche antérieure dépassait le double du temps de recouvrement déterminé par les planches d'essais. Le principe des joints froids était de mettre une couche de mortier de liaison entre deux couches de BCR.

Quant aux joints chauds, des couches de 30 cm d'épaisseur ont été réalisées sans mortier de liaison jusqu'à la cote 175 m. À partir de cette cote, un mortier de liaison a été utilisé sur une largeur de 45 m à partir du parement amont.

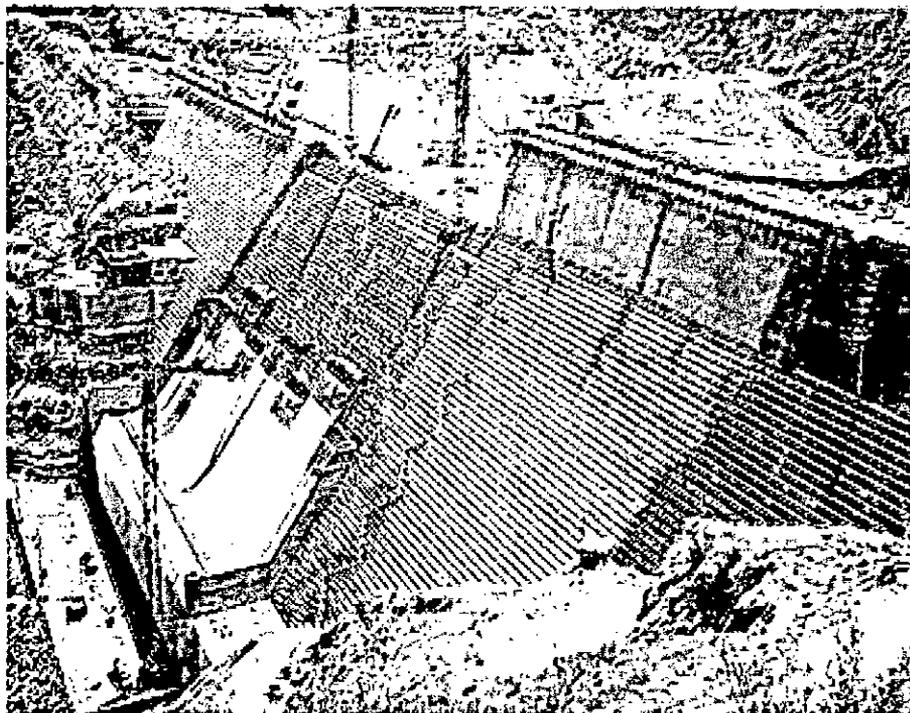


Photo 3: Barrage de BENI HAROUN en construction

3. Principales étapes de la réalisation

<u>Installations</u>	<u>Date de réalisation</u>
Revêtement des galeries	Avril-98
Dérivation de l'Oued	Avril-98
Silos ciment/cendres	Juin-98
Station de production BCV	Juillet-98
Usine de préparation BCR	Septembre-98
Convoyeur ROTEC	Décembre-98
Galeries de drainage au niveau 100	Décembre-98
Galeries souterraines de drainage	Février-99
Batardeau	Mars-99
Planche d'essai BCR	Juin-99
Barrage BCR	Août-99

Début des travaux : Octobre 1998

Fin des travaux du BCR : Juin 2000

Fin des travaux du barrage : Fin 2000

Cadence mensuelle moyenne du BCR : 75 000 m³

Meilleur avancement mensuel : 150 000 m³

Cadence maximale journalière : 8 850 m³

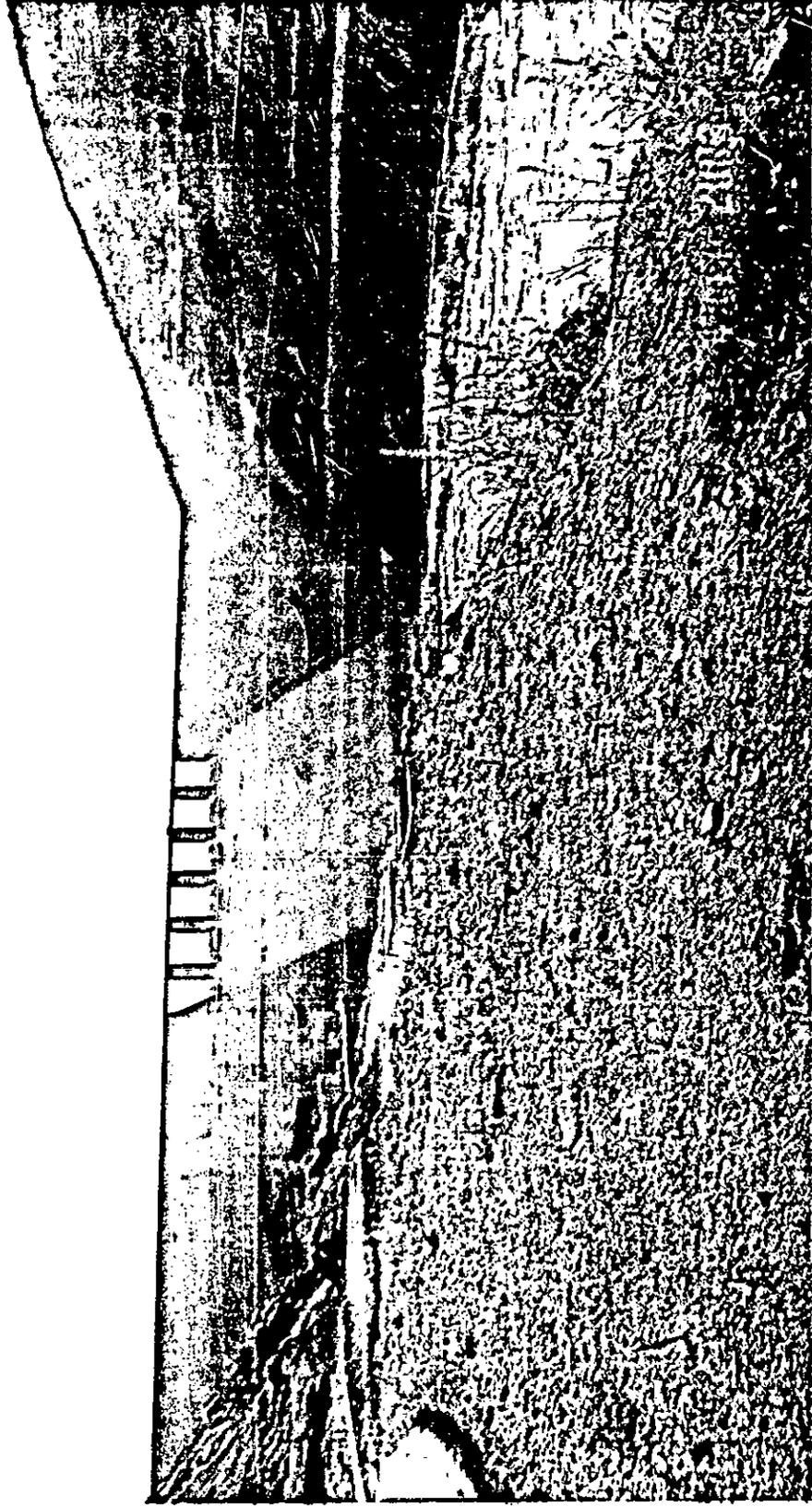
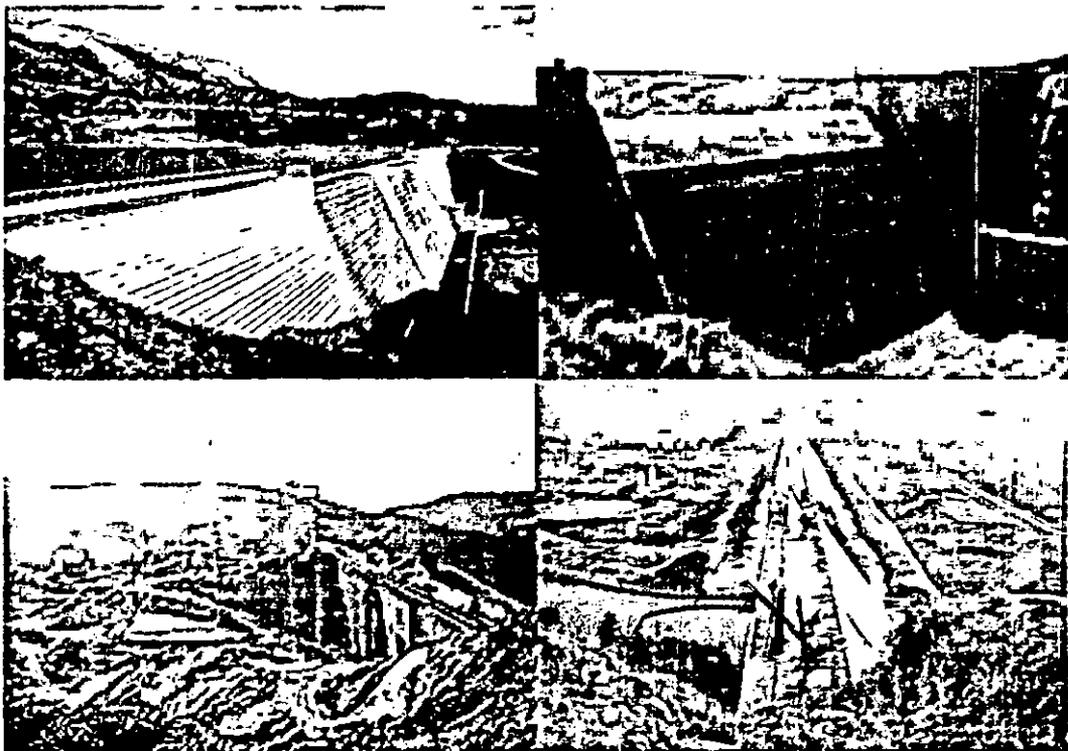


Photo 4: Barrage de BENI HAROUNE terminé

ANNEXE III

AUTRES BARRAGES EN BCR DANS LE MONDE



Le Barrage de Tha Dan en Thaïlande

Le barrage de Tha Dan est l'un des plus grands barrages réalisés en BCR. Il forme un lac de retenue d'une capacité maximale de 224 Mm³ pour une surface de 4.9 km². Le volume total de BCR est de 5 Mm³ pour une longueur de crête de 2500 m et une hauteur de 95 m. Le déversement de 1600 m³/s est assuré par un évacuateur de crues déversoir en saut de ski.

Le parement amont du barrage est en béton extrudé d'une épaisseur de 60 cm, la liaison entre le béton extrudé et le BCR est en BCV armé à forte teneur en liant d'une épaisseur de 40 cm. Dans le BCV, des joints waterstops sont placés tout les 40 m, à 90 cm du parement amont. Un drain est creusé à 40 cm de celui-ci et l'épaisseur de BCV passe de 40 cm à 1.2 m au niveau des joints. Les joints de contraction sont faits au moyen d'une plaque métallique recouverte d'une feuille en PVC.

L'eau de la rivière a été détournée pendant la construction vers la vidange de fond et ceci pendant toute la durée de la construction. Les galeries ont été réalisées par des coffrages intérieurs dans le BCR puis ont été recouvertes de béton préfabriqué.

Le BCR utilisé avait une résistance à la compression à 90 jours de 156 MPa, composé de :

Eau libre	115 l
Ciment	90 kg
Cendres Volantes	100 kg
Sable concassé <5mm	673 kg
Gravier 5/16 mm	497 kg
Gravier 16/32 mm	355 kg
Gravier 32/63	568 kg

Les couches de BCR avaient une épaisseur de 30 cm. Les reprises chaudes ont été traitées avec nettoyage au moyen d'air sous une pression 7 MPa. Les reprises froides ont été traitées au jet d'air plus dépôt d'une couche de mortier dosé à 350 kg/m³. La production du BCR a été assurée par deux centrales à béton d'une capacité de 250 m³/h. Le transport du béton sur le chantier a été accompli par des camions et le compactage par des compacteurs lourds en 8 passes.

Le Barrage de La Touche Poupard en France

Le barrage de la Touche Poupard est un barrage BCR de petite taille. Il forme un lac de retenue d'une capacité maximale de 15 Mm^3 pour une surface de retenue de 145 ha. La partie en BCR a un volume de 34000 m^3 pour une longueur de crête de 200 m et une hauteur de 36.5 m. Le déversoir est un déversoir à marche prévu pour évacuer une crue de projet de $126 \text{ m}^3/\text{s}$ soit une crue cinquiennale.

L'étanchéité est réalisée par le masque amont qui est vertical. Le procédé retenu est celui d'un parement amont en BCV armé de 50 cm d'épaisseur complété pour plus d'étanchéité par un traitement au mortier des joints du BCR sur 3 m en aval de ce masque.

Des joints de contactations étaient réalisés tous les 20 m environ au moyen d'une plaque de PVC alvéolaire maintenue dans la masse de BCR et qui créait les plans de faiblesse désirés. Au niveau du masque amont. Un rideau de drainage est placé à 3m du parement pour assurer un rabattement des infiltrations vers la galerie de drainage.

Etant donnée la faible valeur de débit à évacuer pour la crue cinquiennale, l'évacuateur de crues est un évacuateur en marches d'escalier large de 33m, présentant un profil général Creager. Les marches ont une hauteur de 60 cm et sont réalisées en BCV dosé à 350 kg/m^3 , armées et ancrées au massif de BCR. La galerie de drainage est comprise dans le massif de BCV du parement amont, ce qui permet d'éviter de faire une galerie directement dans le BCR.

La prise d'eau est effectuée par une tour demie – cylindrique collée au parement amont. Cette. La vidange de fond permet d'évacuer $18 \text{ m}^3/\text{s}$ sous la retenue normale, elle se trouve dans un massif en BVC au pied du barrage et se termine par un jet creux.

Le BCR choisi n'a pas la qualité souhaité en étanchéité et sa résistance souhaitée atteignait 9 MPa à 2 jours et sa densité $2,45 \text{ t/m}^3$. Voici donc sa composition :

Granulats 20/63 mm	26.2%	642 kg
Granulats 6/20 mm	24.2 %	593 kg
Granulats 2/6 mm	9.6 %	235 kg
Sable 0/2 mm	22.5%	551 kg

Sable alluvial 0/3 mm	13%	318 kg
Barlac (laitier + cendres)	4.4 %	108 kg
Eau	5%	122 l

Le BCR a été placé par couches de 30 cm d'épaisseur. La région de placement n'ayant rien de caniculaire, il semble qu'aucune précaution n'ait été utilisée pour refroidir le BCR avant placement. Le temps de prise était supérieur à 24 h, et cette limite a été choisie pour discerner les reprises chaudes des froides. Les reprises chaudes ne bénéficiaient d'aucun traitement particulier. Les reprises froides étaient nettoyées à l'air sous pression, puis on rependait une couche de mortier dosée à 350 kg/m³ de Barlac avant de placer la nouvelle levée de BCR.

Le BCR était produit par une centrale à béton continue d'une capacité de 350 t/h pourvue d'une trémie tampon d'une capacité de 25 m³. Le relief accidenté a fait choisir une méthode de transport du BCR par convoyeurs à bande ayant un débit de 900 m³/j. Ce convoyeur déversait son contenu dans un camion qui en assurait l'épandage sur la zone souhaitée. La compaction était effectuée par 8 passes d'un rouleau vibrant lourd.



Photo 1: Barrage de La Touche Poupard

La Digue de col de Tichi Haf en Algérie

La Digue de col de Tichi Haf est un ouvrage en BCR de taille relativement modeste, construit en association à un barrage voûte principal. La digue de colle est elle-même séparée en deux parties distinctes : l'évacuateur de crues (de type seuil déversant et bassin de dissipation) et la digue à proprement parler. La digue a au total une longueur de crête de 300 m pour une hauteur de 25 m. Le déversoir a une largeur de 85m pour évacuer une crue maximale de projet de 4600 m³/s.

L'étanchéité est réalisée par un masque amont. Le parement amont est en BCV armé monté en sapin de Noël d'une épaisseur de 1m minimum (contractuellement 70 cm mais l'entrepreneur l'a élargi pour pouvoir le vibrer plus facilement) et ayant un fruit de 0,3/1 jusqu'à la cote 296,5 puis vertical au dessus. Deux plots successifs en BCR sont reliés par un waterstop se trouvant dans le BCV. A l'aval de ce waterstop se trouve un drain. Les joints de contractions sont réalisés à l'aide d'une plaque de polystyrène de 20 mm d'épaisseur que l'on place avant le réglage du BCR, et qui reste à l'intérieur après la compaction.

Le BCR qui constitue la digue n'a pas de rôle d'étanchéité, son dosage en liant est donc assez faible. Sa résistance à 28 jours doit être supérieure à 8 MPa et sa densité supérieure à 2,4 t.m⁻³. Ses caractéristiques de dosage sont donc :

Ciment	100 kg
Fines	215 kg
Sables 0,1/1	500 kg

Le BCR a été placé en couches de 30 cm d'épaisseurs, et sa température de pose devait être inférieure à 25 °C. La température extérieure ne devait pas être inférieure à 5°C pour que le placement du BCR puisse être effectué.

La production du BCR est effectuée par une centrale automatique de 60 m³.h⁻¹. Le BCR est alors transporté par un convoyeur large de 60 cm puis par camion (à vérifier, les deux versions sont rapportées).

Une reprise au mortier a toujours été effectuée entre deux couches de BCR car la vitesse de bétonnage était très faible.

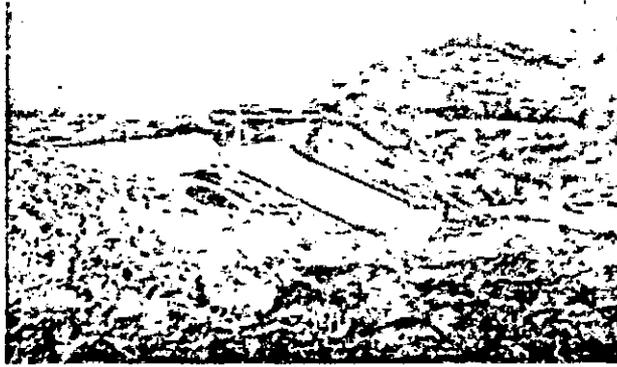


Photo 2: Barrage de Tichi Haf

Le barrage de Tannur en Jordanie

Le barrage de Tannur est situé en Jordanie, à 150 km au Sud de la capitale Amman, dans une vallée profonde débouchant sur la Mer Morte. Il s'agit d'un barrage poids en BCR, de 60 m de hauteur.

Le parement amont du barrage est à 3 pentes (0.6H/1V, 0.3H/1V, vertical) tandis que le parement aval est à deux pentes (0.5H/1V puis vertical). La tour de prise et la vidange de fond sont situées respectivement en rive gauche et rive droite. L'évacuateur de crues est à seuil libre sur une grande partie de l'ouvrage et se prolonge par des marches de 1.20 m de hauteur et un bassin de dissipation de 35 m de long.

La formule qui a été retenue pour le BCR du barrage de Tannur comprenait des granulats dont le diamètre maximal était de 50mm, 43% de sable et 175 kg de liant (125 ciment+ 50 Cendres Volantes). Les principales caractéristiques de ce BCR ont été une densité supérieure à 2.4 et une résistance en compression à 90 jour de plus de 24 MPa.

La mise en place du BCR s'est faite 6 jours par semaine, à raison de deux postes par jour. La cadence maximale atteinte était de 180 m³/h soit 2700 m³/jour. La cadence moyenne était de 1700 m³/jour.

La construction du barrage a commencé en Janvier 1999 et s'est achevée vers la fin 2001. La mise en place du BCR s'est déroulée entre Janvier 1999 et fin décembre 2000.

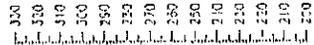
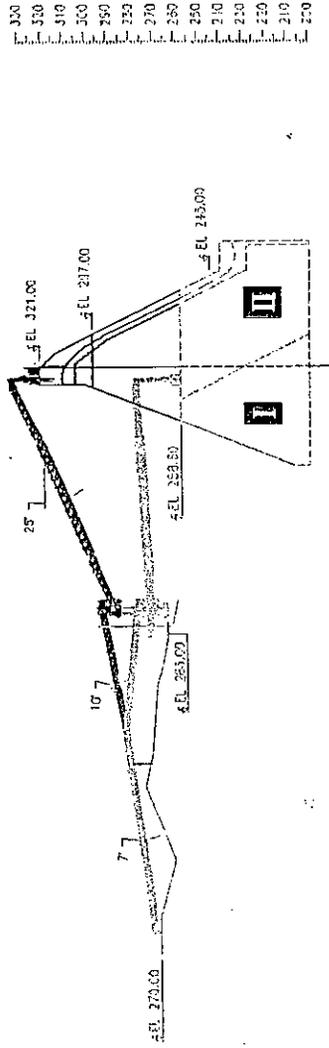
Bibliographie

- « Les barrages en terre compactée », G. Post, P. Londe, Editions Gauthier Villards, 1953.
- « Sols et Fondation », Technologie des méthodes de construction Tome 1, Editions EME, 1976.
- « Les bétons », Technologie des méthodes de construction Tome 3, Editions EME, 1980.
- « Le compactage », G. Arquie, Editions Eyrolles, 1982.
- « Organisation Pratique des Chantiers », Tome 1, Editions EME, 1987.
- « Organisation Pratique des Chantiers », Tome 2, Editions EME, 1987.
- « Techniques nouvelles de construction », Bulletin CIGB n° 63, 1988.
- « Roller compacted concrete dams », Bulletin CIGB n° 75, 1989.
- « Pratique du PERT », P. Sicard, Editions Dunod, 1990.
- « Le béton compacté au rouleau », Projet BACRA, Presses de L'ENPC 1996.
- « Roller Compacted Concrete », American Concrete Institute Committee n° 207, Chicago, 1997.
- « Nouveau guide du béton et de ses constituants », G. Dreux, Editions Eyrolles, 1998.
- « Propriétés des bétons », Adam M. Neville, Editions Eyrolles, 2000.
- « Roller compacted concrete dams », Bulletin CIGB n° 126, 2003.

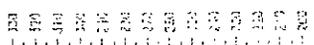
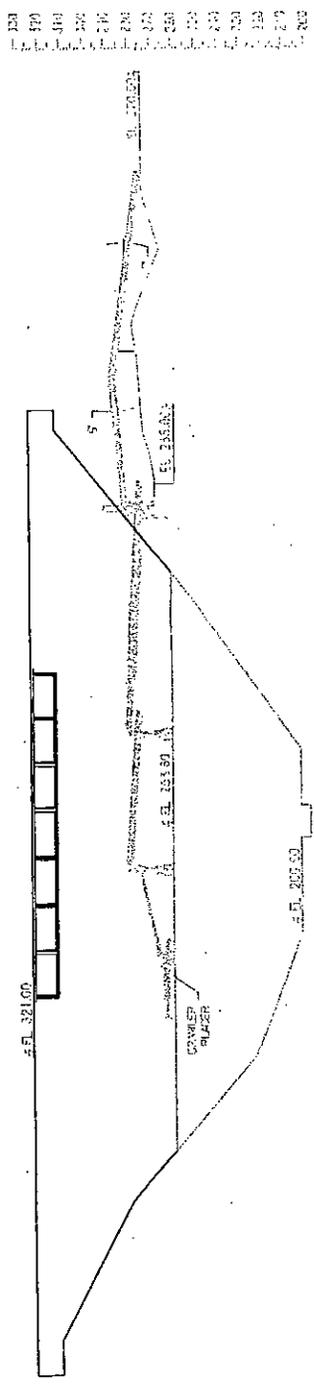
Articles sur les barrages en BCR

- « *Le barrage des Olivettes sur la Peyne (Hérault)* », Travaux, juillet-août 1988.
- « *Innovations et acquis dans la réalisation de barrages de moyenne importance* », Travaux, mai 1991.
- « *Le barrage du Riou (Hautes-Alpes)* », Travaux, mai 1991.
- « *Le projet du barrage de Serre-De-La-Fare (Haute-Loire)* », Travaux, mai 1991.
- « *Roller compacted concrete dam of conception, Honduras* », S. Baccini, F. Ercoli, Idrotecnica N°2, Mars-Avril 1991.

- « *Thermal analysis of RCC dams* », C. Fasseo, R. Vitaliani, *Idrotecnica* N° 2, Mars-Avril 1991.
- « *Le béton compacté au rouleau du barrage du Petit-Saut* », *Travaux*, juin 1993.
- « *Réalisation d'un remblai en BCR : Barrage de Petit Saut* », Rapport de fin de chantier, 1993.
- « *Le barrage de la Touche-Poupard sur le Cambon (Deux-Sèvres)* », *Travaux*, octobre 1994.
- « *Le barrage du Sep en béton compacté au rouleau* », *Travaux*, octobre 1994.
- « *Rapport d'évaluation du projet BACARA* », P. Habib, 1995.
- « *Roller Compacted Concrete* », U.S. Army Corps of Engineers, 1995.
- « *Le barrage du Riou en béton compacté au rouleau* », *Travaux*, janvier 1997.
- « *Thermal Studies of Mass Concrete Structures* », U.S. Army Corps of Engineers, 1997.
- « *Grout Enriched RCC : A history and future* », B. Forbes, *International Water Power & Dam Construction*, 1999.
- « *Le barrage de Tannur en Jordanie* », B. Bouyge, 2000.
- « *Roller Compacted Concrete Dams* », U.S. Army Corps of Engineers, 2000.
- « *15 years of experience in RCC dam construction* », B. Bouyge, 2002.
- « *Grout Enriched Roller Compacted Concrete* », James E. McDonald, HPM&S, 2002.
- « *Saluda dam mix design program* », C. Rizzo, L. Gaekel, 2002.
- « *RCC dam construction state of the art in 2003* », B. Bouyge, 2003.
- « *Study of arch concrete dams constructed by RCC method* », N. Nilipour, 2003.
- « *Using Sloped Layers to improve RCC dam construction* », B. Forbes, 2003.
- « *RCC Arch dams: Temperature control and design of joints* », B. Zhu, *Journal of International Water Power & Dam Construction*, Août 2003.



ETAPE 3 - COTE 258.60 A COTE 321.00



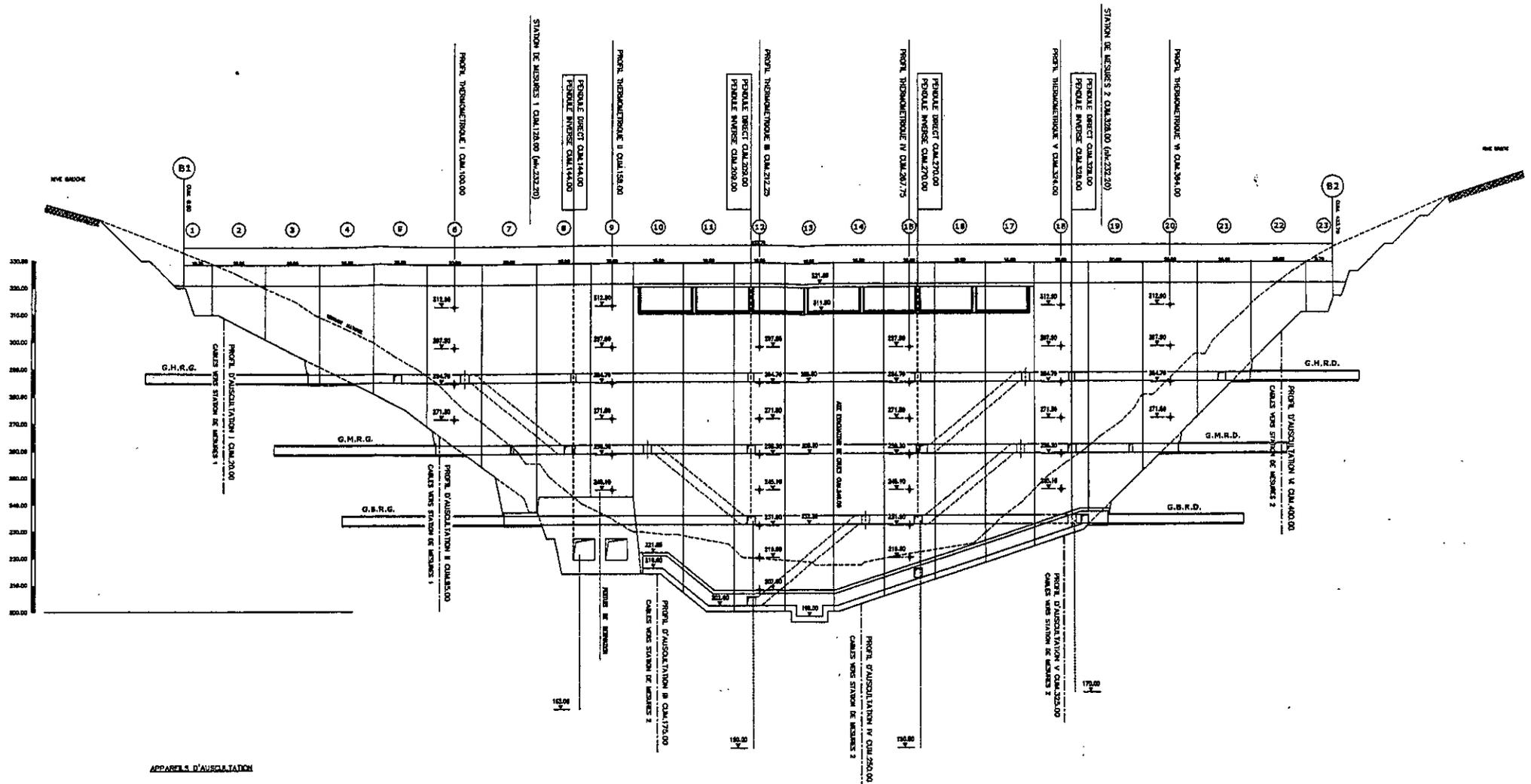
ETAPE 3 - COTE 258.60 A COTE 321.00



ANNEXE I

PLANS D'AMENAGEMENT





COUPE LONGITUDINALE RIVE GAUCHE - RIVE DROITE

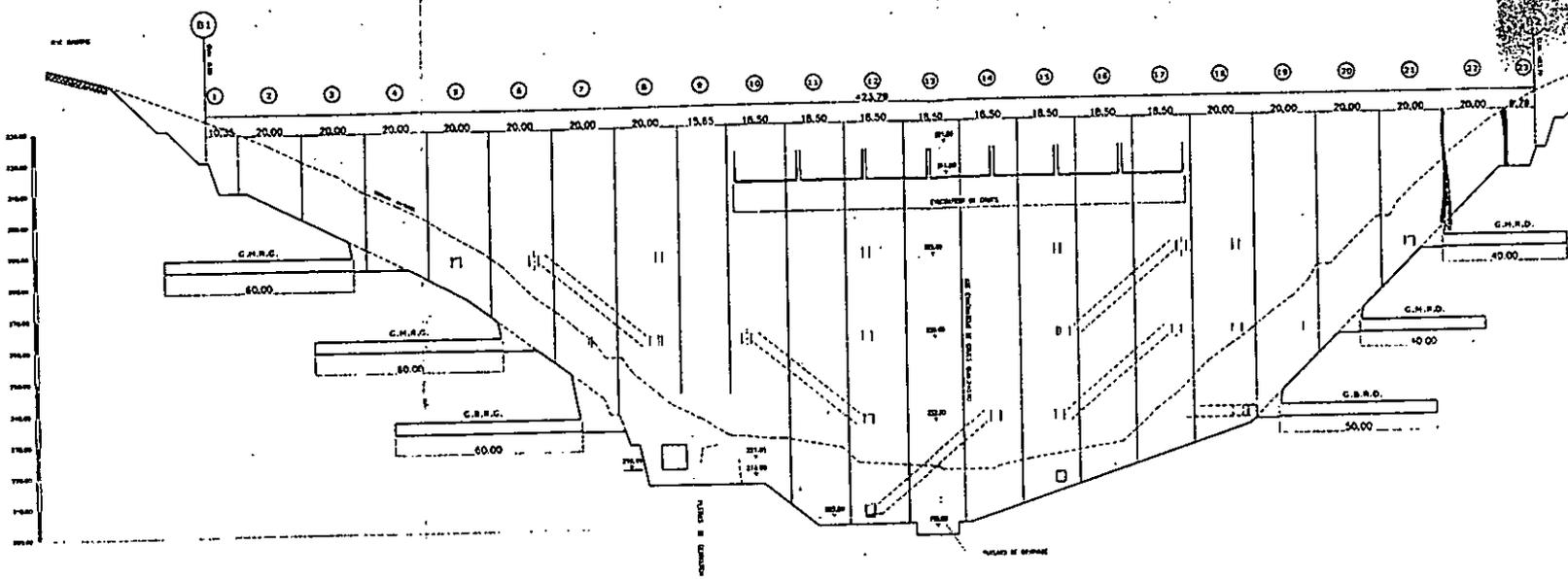
APPAREILS D'AUSCULTATION

Appareil	Nombre	Localisation
Pendule direct	4	CUI.144.00/208.00/270.00/328.00
Pendule inverse	4	CUI.144.00/208.00/270.00/328.00
Station de lecture des pendules	22	16 pour les cotes, 6 pour les inverses
Dilatimètre à 2 dimensions	70	Au droit des joints de construction sur la arête du barrage et dans les galeries du barrage
Repère topo	58	Sur le parement aval 35 cotes et blocares sur 2 niveaux Sur la route de arête 23 repères de nivellement
Cellule piézométrique	25	Dans la fondation du barrage
Dilatimètre en canal	25	Dans les galeries inférieures du barrage et en rocher
Point de branchement des manomètres	25	A partir des galeries inférieures du barrage et en rocher
Prise de pression	15	A partir des galeries inférieures du barrage et en rocher
Piézomètre ouvert	12	A l'aval du barrage
Thermomètre	129	Dans le massif du B.C.R.
Station d'observation visuelle	1	Sur la rive gauche

REV.	DATE	DESIGN.	APPR.	REVISIONS
1	15/02	DAI	LM	ELT
2	15/02	DAI	LM	ELT
3	15/02	DAI	LM	ELT
4	15/02	DAI	LM	ELT
5	15/02	DAI	LM	ELT
6	15/02	DAI	LM	ELT
7	15/02	DAI	LM	ELT
8	15/02	DAI	LM	ELT
9	15/02	DAI	LM	ELT
10	15/02	DAI	LM	ELT
11	15/02	DAI	LM	ELT
12	15/02	DAI	LM	ELT
13	15/02	DAI	LM	ELT
14	15/02	DAI	LM	ELT
15	15/02	DAI	LM	ELT
16	15/02	DAI	LM	ELT
17	15/02	DAI	LM	ELT
18	15/02	DAI	LM	ELT
19	15/02	DAI	LM	ELT
20	15/02	DAI	LM	ELT
21	15/02	DAI	LM	ELT
22	15/02	DAI	LM	ELT
23	15/02	DAI	LM	ELT
24	15/02	DAI	LM	ELT
25	15/02	DAI	LM	ELT
26	15/02	DAI	LM	ELT
27	15/02	DAI	LM	ELT
28	15/02	DAI	LM	ELT
29	15/02	DAI	LM	ELT
30	15/02	DAI	LM	ELT
31	15/02	DAI	LM	ELT
32	15/02	DAI	LM	ELT
33	15/02	DAI	LM	ELT
34	15/02	DAI	LM	ELT
35	15/02	DAI	LM	ELT
36	15/02	DAI	LM	ELT
37	15/02	DAI	LM	ELT
38	15/02	DAI	LM	ELT
39	15/02	DAI	LM	ELT
40	15/02	DAI	LM	ELT
41	15/02	DAI	LM	ELT
42	15/02	DAI	LM	ELT
43	15/02	DAI	LM	ELT
44	15/02	DAI	LM	ELT
45	15/02	DAI	LM	ELT
46	15/02	DAI	LM	ELT
47	15/02	DAI	LM	ELT
48	15/02	DAI	LM	ELT
49	15/02	DAI	LM	ELT
50	15/02	DAI	LM	ELT
51	15/02	DAI	LM	ELT
52	15/02	DAI	LM	ELT
53	15/02	DAI	LM	ELT
54	15/02	DAI	LM	ELT
55	15/02	DAI	LM	ELT
56	15/02	DAI	LM	ELT
57	15/02	DAI	LM	ELT
58	15/02	DAI	LM	ELT
59	15/02	DAI	LM	ELT
60	15/02	DAI	LM	ELT
61	15/02	DAI	LM	ELT
62	15/02	DAI	LM	ELT
63	15/02	DAI	LM	ELT
64	15/02	DAI	LM	ELT
65	15/02	DAI	LM	ELT
66	15/02	DAI	LM	ELT
67	15/02	DAI	LM	ELT
68	15/02	DAI	LM	ELT
69	15/02	DAI	LM	ELT
70	15/02	DAI	LM	ELT
71	15/02	DAI	LM	ELT
72	15/02	DAI	LM	ELT
73	15/02	DAI	LM	ELT
74	15/02	DAI	LM	ELT
75	15/02	DAI	LM	ELT
76	15/02	DAI	LM	ELT
77	15/02	DAI	LM	ELT
78	15/02	DAI	LM	ELT
79	15/02	DAI	LM	ELT
80	15/02	DAI	LM	ELT
81	15/02	DAI	LM	ELT
82	15/02	DAI	LM	ELT
83	15/02	DAI	LM	ELT
84	15/02	DAI	LM	ELT
85	15/02	DAI	LM	ELT
86	15/02	DAI	LM	ELT
87	15/02	DAI	LM	ELT
88	15/02	DAI	LM	ELT
89	15/02	DAI	LM	ELT
90	15/02	DAI	LM	ELT
91	15/02	DAI	LM	ELT
92	15/02	DAI	LM	ELT
93	15/02	DAI	LM	ELT
94	15/02	DAI	LM	ELT
95	15/02	DAI	LM	ELT
96	15/02	DAI	LM	ELT
97	15/02	DAI	LM	ELT
98	15/02	DAI	LM	ELT
99	15/02	DAI	LM	ELT
100	15/02	DAI	LM	ELT

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
 MINISTERE DES RESSOURCES EN EAU
 BARRAGE DE KOUDIAT ACERDOUNE
 PLAN D'APPEL D'OFFRE
 BARRAGE B.C.R.
 AUSCULTATION
 PROFIL LONGITUDINAL RIVE GAUCHE - RIVE DROITE

Troctebel Engineering
 15, rue de la République
 31000 TOULOUSE
 Tel: 05-61-773171
 Fax: 05-61-773180



COUPE LONGITUDINALE DANS L'AXE DU BARRAGE
 (en 1/2000)

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS BARRAGE DE KOUDIAT ACERDOUNE PLAN CAPPET BARRAGE BARRAGE B.C.R. COUPE LONGITUDINALE RIVE GAUCHE - RIVE DROITE					
Tractebel Ingénierie			1997-1998 1999-2000 2001-2002 2003-2004 2005-2006 2007-2008 2009-2010 2011-2012 2013-2014 2015-2016 2017-2018 2019-2020 2021-2022 2023-2024 2025-2026 2027-2028 2029-2030		

ANNEXE II

LE BARRAGE DE BENI HAROUN

